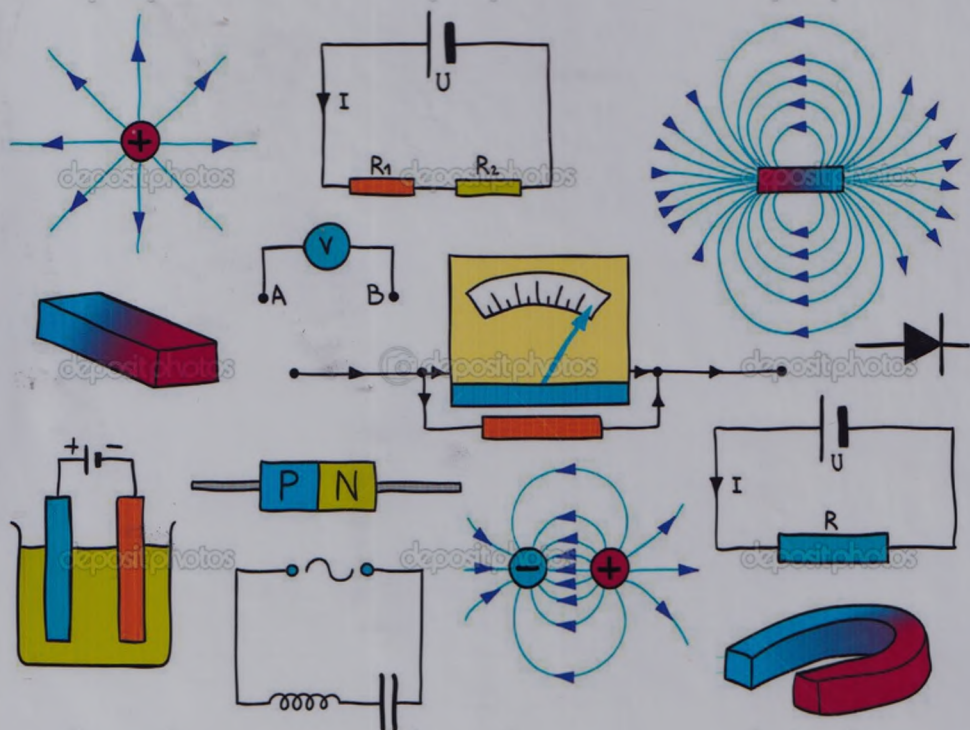


N.A.NURMATOV, G'T.RAXMONOV, R.ALIMOV,
O.Z.SULTONOV, I.X.XAMIDJONOV

ELEKTR VA MAGNETIZM



22.33

2050_

E-45

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI**

**N.A. NURMATOV, G.T. RAXMONOV,
R. ALIMOV, O.Z. SULTONOV, I.X. XAMIDJONOV**

ELEKTR VA MAGNETIZM FANIDAN PRAKTIKUM

Uslubiy qo'llanma

**Toshkent
"Innovatsiya-Ziyo"
2021**

UDK: 817.2
BBK: 29.136
N 54

N.A.Nurmatov

Elektr va magnetizm fanidan praktikum/ G'.T.Raxmonov, R.Alimov, O.Z.Sultonov, I.X.Xamidjonov/ uslubiy qo'llanma. Toshkent: "Innovatsiya-Ziyo", 2021, 176 b.

Ushbu uslubiy qo'llanma Fizika fakultetining fizika, astronomiya va tibbiyot fizikasi ta'lim yo'nalishlari talabalariga mo'ljallangan bo'lib, unda umumiy fizikaning "Elektr va magnetizm" bo'limiga oid 14 laboratoriya ishlarini o'z ichiga oladi. Uslubiy qo'llanma bakalavriat ta'limi yo'nalishlari davlat ta'lim standartlari talablari asosida tayyorlangan.

Данное учебное пособие является частью курса общей физики по направлению «Электричество и магнетизм» и предназначено для студентов физического факультета по специальностям физика, астрономия и физическая биомедицина. Пособие подготовлено на основе государственных образовательных стандартов для бакалавриата и может быть использовано в качестве учебника по этим специальностям.

This textbook is part of the course of general physics in the direction of "Electricity and Magnetism" and is intended for students of the Faculty of Physics in the specialties of physics, astronomy and physical biomedicine. The manual has been prepared on the basis of state educational standards for undergraduate studies and can be used as a textbook for these specialties.

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti Ilmiy-metodik kengashi tomonidan nashrga tavsiya etilgan.

ISBN 978-9943-7258-7-4

**N.A.Nurmatov va boshq., 2021.
© "Innovatsiya-Ziyo", 2021.**

4190/1

SO'Z BOSHI

O'zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentyabrda tasdiqlangan "Ta'lim to'g'risida"gi Qonuni va O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021 yil 19 martdagi "Fizika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-5032-sonli va 2019 yil 17 iyundagi "2019-2023 yillarda Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universitetida talab yuqori bo'lgan malakali kadrlar tayyorlash tizimini tubdan takomillashtirish va ilmiy salohiyatini rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-4358-sonli Qarorlari hamda 2019 yil 8 oktyabrdagi "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepciyasini tasdiqlash to'g'risida"gi PF-5847-sonli Farmonidagi ustuvor yo'nalishlar mazmunidan kelib chiqqan holda Respublikamiz oliy ta'lim muassasalarida Fizika, Astronomiya va Tibbiyot fizikasi ta'lim yo'nalishlari bo'yicha tayyorlanayotgan yuqori malakali kadrlarning kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni talab qiladi.

Respublikamizdagi oliy ta'lim muassasalarida Fizika, Astronomiya va Tibbiyot fizikasi ta'lim yo'nalishlari bo'yicha ta'lim olayotgan talabalarning egallagan nazariy bilimlarini hozirgi zamon yutuqlarini hisobga olgan laboratoriya ishlari bilan mustahkamlash uchun o'zbek tilida va lotin alifbosida yozilgan uslubiy va o'quv qo'llanmalar etishmaydi. Ushbu uslubiy qo'llanma yuqoridagi muammoni hal etishga qaratilgan. Mazkur "Elektr va magnetizm fanidan fizpraktikum" uslubiy qo'llanmada laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etish va laboratoriya ishlarini bajarish tartibi batafsil yozilgan. Uslubiy qo'llanmada 14 ta laboratoriya ishlari to'liq bayon qilingan. Ushbu uslubiy qo'llanmaga kiritilgan ayrim laboratoriya ishlari professor I.Bo'riboev va docent R.Karimovlar tomonidan nashr etilgan "Elektr va magnetizmdan fizpraktikum" o'quv qo'llanmasidan olingan bo'lib, laboratoriya ishlari zamon talabidan kelib chiqib, takomillashtirilgan hamda yangi

adabiyotlar va nazorat savollari bilan to'ldirilgan. Ushbu uslubiy qo'llanmaga kiritilgan 7 ta laboratoriya ishlari xorijdan olib kelingan yangi laboratoriya ishlari bo'lib, laboratoriya ishlarini bajarish uchun zarur bo'lgan asbob – uskunalar, mavzu bo'yicha nazariy bilimlar, laboratoriya ishlarini bajarish tartibi, natijalarni qayta ishlash usullari, tajriba natijalarni hisoblash va talabalar bilimini baholash uchun nazorat savollari bilan to'ldirilgan.

Uslubiy qo'llanmaning so'ngi qismida nazariy materiallar, elektr o'lchov asboblari va ularning hatoliklari, ampermetr va voltmeter yordamida qarshiliklarni o'lchash, shunt va qo'shimcha qarshiliklarni tanlash, potenciometrik ulash, tajribada olingan natijalarni turli matematik usullarda hisoblash to'liq bayon qilingan. Laboratoriya ishlarini qo'yish, ta'mirlash, saqlash va o'quv jarayoniga tadbiq etishda qatnashgan umumiy fizika kafedrasining professor-o'qituvchilari va hodimlariga mualliflar o'z minnatdorchiligini bildiradi.

Mualliflar uslubiy qo'llanmaning sifatini yaxshilash bo'yicha bildirilgan fikr va mulohazalarni quyidagi manzilga yuborishlarni iltimos qiladi. Toshkent shahri. Talabalar shaharchasi. O'zMU. Fizika fakulteti. Umumiy fizika kafedrası.

1. NAZARIY MATERIALLAR

1. VAKUUMDA O'ZGARMAS ELEKTR MAYDONI. KULON QONUNI. GAUSSNING ELEKTROSATIK TEOREMASI

Elektr zaryadi – elektromagnit maydon manbai va ta'sir etish obyekti.

Elektromagnit maydon – zaryadlar orasidagi ta'sirning moddiy tashuvchisi. Elektromagnit maydon tushunchasi yaqindan ta'sir etish konsepsiyasiga mos keladi.

Zarrachaning elektr zaryadi – zarrachaga xos bo'lgan sifat bo'lib, uning elektromagnit ta'sirini xarakterlaydi.

Elementar zaryad – zaryadning eng kichik, bo'linmas qismi bo'lib, SI sistemasida $e \approx 1,60 \cdot 10^{-19}$ C ga teng.

Elektron – elementar manfiy elektr zaryadning stabil (bo'linmas) bo'lgan moddiy tashuvchisi.

Proton – elementar musbat elektr zaryadning moddiy tashuvchisi.

Elektr zaryadining saqlanish qonuni: izolyatsiyalangan sistemani tashkil qilgan barcha jismlardagi zaryadlarning algebrak yig'indisi vaqt o'tishi bilan o'zgarmay qoladi.

Zaryadning relyativ invariantligi: elektr zaryad kattaligi zarra tezligiga bog'liq emas – bu zaryad tashuvchisining yoki o'lchov sistemasi tezligi bo'lishi mumkin.

Nuqtaviy zaryad – zaryadlangan jismning shunday modeliki, bunda uning o'lchamlarini shu zaryad va u bilan ta'sirlashayotgan boshqa zaryad yoki zaryadlangan jismlargacha bo'lgan masofaga nisbatan hisobga olmasa bo'ladi.

Qo'zg'almas zaryad – zaryadi o'zgarmas, o'rtacha tezligi nolga yaqin bo'lgan, cheksiz kichik hajmda joylashgan jismlar sistemasining modeli. Ochig'ini aytganda, qo'zg'almas zaryadlar tabiatda uchramaydi.

Elektrostatik maydon – qo'zg'almas zaryad yoki zaryadlar sistemasi hosil qilgan elektrik maydon. Bunda zaryadlar noelektrik kuchlar yordamida qo'zg'almay turadi deb hisoblanadi. Faqatgina elektrostatik kuchlar yordamida muvozanat hosil qilinishi mumkin emas (Irnshou teoremasi).

Sinov zaryadi – elektrostatik maydonning xususiyatlarini o'rganish uchun shu maydonga kiritiluvchi nuqtaviy zaryad. Bu

zaryad shunchalik kichik bo'lishi kerakki, elektrostatik maydonni hosil qiluvchi zaryadlar sinov zaryadi ta'sirida joylaridan siljimasliklari kerak va pirovardida, ular hosil qilgan elektrostatik maydon ham o'zgarmay qolishi kerak.

Kulon qonuni: vakuumda joylashgan ikki nuqtaviy qo'zg'almas q_1 va q_2 zaryadlar orasidagi masofa r bo'lganida ular orasidagi o'zaro ta'sir kuchi (SI o'lchov sistemasida) quyidagiga teng bo'ladi

$$\text{---} \quad (1.1)$$

Bu kuchning yo'nalishi zaryadlarni tutashtiruvchi chiziq bo'ylab yo'nalgan bo'ladi (ishoralari bir xil zaryadlar o'zaro itarishadi, har xil ishoralari zaryadlar tortishadi). (1.1) formuladagi

$$\approx 8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{\text{---}} \right] = \left[\text{---} \right]$$

kattalik elektr doimiysi deb ataladi (bu doimiy kattalikning aniq qiymati $\epsilon_0 = \text{---}_2$, ga teng bo'lib, bu yerda c – yorug'likning vakuumdagi tezligi).

Xalqaro birliklar sistemasida $1/(4\pi\epsilon_0)$ kattalik elektrostatikaning ko'pgina formulalariga kirgani uchun u qisqa ko'rinishda bitta harf bilan belgilanadi:

$$\text{---} \approx 9 \cdot 10^9 \text{---}$$

Elektrostatik maydon kuchlanganligi E – maydonga kiritilgan q sinov zaryadiga ta'sir qiluvchi kuch orqali aniqlanuvchi, shu maydonning asosiy kattaliklaridan biri

$$\text{---} \quad (1.2)$$

Nuqtaviy zaryad q dan r masofa uzoqlikda yotgan nuqtada bu zaryad hosil qiladigan maydon kuchlanganligi vektor kattalik bo'lib, uning son qiymati quyidagicha aniqlanadi

$$\text{---} \quad (1.3)$$

Bu olingan ifodaga **nuqtaviy zaryadning maydon kuchlanganligi** deyiladi (Kulon qonunining maydon nuqtai nazaridan talqini).

Maydon kuch chiziqlari – maydonning ixtiyoriy nuqtasiga o'tkazilgan urinma bilan ustma ust tushuvch vektor chiziqlar. Maydon kuch chiziqlari doim musbat zaryaddan boshlanib manfiy zaryadda tugaydi (ular cheksizlikdan boshlanishlari yoki cheksizlikda tugashlari ham mumkin. Bunda qarama-qarshi ishorali zaryadlar cheksizlikda joylashgan deb faraz qilinadi).

Superpozitsiya prinsipi: zaryadlar sistemasi hosil qilgan maydon kuchlanganligi E sistemadagi har bir zaryad hosil qilgan maydon kuchlanganliklari $E_1, E_2, \dots$, larning vektor yig'indisiga teng:

$$= E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

Radius vektorlari r_i , bo'lgan q_i nuqtaviy zaryadlarning radius vektori r bo'lgan nuqtadagi umumiy elektr maydon kuchlanganligi E quyidagiga teng:

$$(r) = \sum_i \frac{q_i}{r_i^3}$$

Zaryadning hajmiy zichligi ρ deb cheksiz kichik hajmda joylashgan dq zaryadninig shu hajmga nisbatiga aytiladi:

$$\rho = \frac{dq}{dV}$$

Zaryadning sirtiy zichligi σ deb cheksiz kichik dS yuzada joylashgan dq zaryadninig shu dS yuza nisbatiga deyiladi:

$$\sigma = \frac{dq}{dS}$$

Zaryadning chiziqli zichligi τ deb cheksiz kichik dl uzunlikda joylashgan dq zaryadninig shu dl uzunlik nisbatiga deyiladi:

$$\tau = \frac{dq}{dl}$$

Radius vektori r bo'lgan nuqtada hajmiy zichligi $\rho(r)$ yoki sirtiy zichligi $\sigma(r)$ yoki chiziqli zichligi $\tau(r)$ bo'lgan zaryadlar sistemasi hosil qilgan natijaviy **elektrostatik maydon kuchlanganligi** E quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$(\mathbf{r}) = \frac{1}{|\mathbf{r}|}$$

bu yerda $dq(\mathbf{r}')$ mos ravishda har bir hol uchun mos ravishda $\rho(\mathbf{r}')dV'$, $\sigma(\mathbf{r}')dS'$ yoki $\tau(\mathbf{r}')dl'$ ga teng bo'ladi.

Elektr dipol – bir biriga yaqin joylashgan, kattaligi bir xil lekin ishoralari turlicha bo'lgan zaryadlar sistemasi. Manfiy zaryaddan musbat zaryadga o'tkazilgan $\mathbf{l}$ vektorga dipolning yelkasi deyiladi.

(1.4)

Vektor kattalikka dipolning elektr momenti deyiladi.

N zaryadli sistemaning elektr dipol momenti deb quyidagi vektorga aytiladi

$$\mathbf{p} = \sum_{i=1}^N q_i \mathbf{r}_i, \quad (1.5)$$

bu erda $\mathbf{r}_i$ – i -zaryadning radius-vektori.

Agar sistemaning to'liq zaryadi nolga teng bo'lsa (elektrik neytral sistema) dipol momentining kattaligi sanoq sistemasining boshi qanday tanlanganligiga bog'liq bo'lmaydi, shuning uchun $\mathbf{r}_i$ radius vektorlar istalgan nuqtadan boshlab hisoblanishi mumkin. Bunday hollarda, sistemadan uzoq masofalarda (dipol o'lchamiga nisbatan ancha katta masofalarda) uning elektr maydoni nuqtaviy zaryad maydoni bilan bir xil bo'ladi (1.4).

S yuza orqali **ixtiyoriy $\mathbf{A}$ vektorning oqimi** – yuza orqali integral

$$F = \int_S \mathbf{A} d\mathbf{S} \quad (1.7)$$

bu erda $d\mathbf{S}$ – moduli bo'yicha S yuzaning dS elementiga teng va yo'nalishi bo'yicha shu yuzaga normal yo'nalgan vektor. Agar yuza yopiq bo'lsa, integral $\oint$ – ko'rinishda yoziladi. Bu holda $d\mathbf{S}$ vektorning yo'nalishi shu nuqtada yuzaga tashqi normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi.

2. ELEKTROSTATIK MAYDONDA BAJARILGAN ISH. POTENSIAL

Nuqtaviy q zaryadni 1 nuqtadan 2 nuqtaga ko'chirishda **elektrostatik kuchlar bajarilgan ish** chiziqli integral ko'rinishida quyidagicha ifodalanadi

$$A_{12} = \int_{(L_{12})} (2.1)$$

bu erda L_{12} – zaryadning harakatlanish trayektoriyasi, dl – trayektoriya bo'ylab cheksiz kichik siljish. Agar kontur yopiq bo'lsa integral uchun $\oint$ – belgi ishlatiladi. Bunda konturni aylanib o'tish yo'li tanlab olingan deb taxmin qilinadi.

Elektrostatik maydon potensial maydon hisoblanadi: zaryadni yopiq kontur bo'ylab ko'chirishda bajarilgan ish nolga teng bo'ladi. Zaryadni maydonning ixtiyoriy 1- nuqtasidan 2- nuqtasiga ko'chirishda bajarilgan ish trayektoriyaga bog'liq bo'lmay, faqat 1- va 2- nuqtalarning joylashish holatiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun ishni quyidagicha tasvirlash mumkin

$$A_{12} = q [\varphi(\mathbf{r}_1) - \varphi(\mathbf{r}_2)], \quad (2.2)$$

bu yerdagi skalyar funksiya $\varphi(\mathbf{r})$ **elektrostatik maydon potentsiali** deb ataladi. Bu funksiya butun fazoda uzluksiz bo'lib, chekli birinchi hosilalarga ega.

Potensial - elektrostatik maydonning energetik xarakteristikasi bo'lib, uni elektrostatik maydondagi q zaryadning $W(\mathbf{r})$ potensial energiyasi orqali aniqlash mumkin

$$\varphi(\mathbf{r}) = \frac{W(\mathbf{r})}{q}$$

$\mathbf{r}$ nuqtadagi potensial son jihatdan shu nuqtada joylashgan birlik nuqtaviy zaryadning potensial energiyasiga teng.

Faqat ikki nuqta potentsiallarining farqigina fizik ma'noga ega, shuning uchun potensial energiya kabi potensial ham sanoq boshiga bog'liq bo'lgan ixtiyoriy o'zgarmas aniqligida izlanadi.

Potensial normirovkasi – istalgan nuqtada potensialga ma'lum qiymat berib unga aniqlik kiritish. Odatda, normirovkaning ikki qulay turidan biri tanlanadi:

1) agar zaryad fazoda chegaralangan hajmni egallasa, unda cheksizlikdagi nuqta potensial nolga teng deb qabul qilinadi;

2) agar o'tkazuvchi bo'lgan jism qaysidir yo'l bilan yerga ulangan bo'lsa (yerga ulash), unda uning potentsiali yerning potentsialiga teng (yerning potentsialini nolga teng deb hisoblash mumkin) deb hisoblanadi.

Zaryadimiz cheksiz sohalarini egallagan turli modellarda (masalan, zaryadlagan cheksiz tekislik, ip, silindr va h.k.) potentsialning nol nuqtasi ixtiyoriy ravishda tanlanadi va, simmetriya nuqtai nazaridan, natijalarni olish qulayligi bilan belgilanadi.

Nuqtaviy zaryad q potentsiali quyidagiga teng

$$\varphi(\mathbf{r}) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2.3)$$

bu erda r – zaryad q bilan kuzatish nuqtasi orasidagi masofa (zaryaddan cheksiz masofada joylashgan nuqtadagi potentsialni nolga teng deb qabul qilamiz).

Nuqtaviy zaryadlar sistemasining potentsiali qaralayotgan nuqtadagi har bir zaryad hosil qilgan maydon potentsiallari yig'indisiga teng bo'ladi (potentsiallar uchun superpozitsiya prinsipi).

$$\varphi(\mathbf{r}) = \sum \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i} \quad (2.4)$$

bu erda r_i – potentsial o'lchanayotgan nuqta bilan har bir i - zaryad orasidagi masofa.

Nuqtaviy dipolning maydon potentsiali quyidagicha aniqlanadi

$$\varphi(\mathbf{r}) = \frac{p \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2.5)$$

(koordinatalar boshi dipol joylashgan nuqtada).

Uzluksiz taqsimlangan zaryadlarning maydon potentsiali: agar barcha zaryadlar fazoning chegaralangan qismida joylashgan bo'lsa va ularning potentsiali cheksizlikda nolga normirovka qilingan bo'lsa, unda potentsial quyidagicha bo'ladi

$$\varphi(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} dV' \quad (2.6)$$

bu erda $\mathbf{r}'$ – dq zaryadning radius-vektori, $\mathbf{r}$ – potentsial o'lchanayotgan nuqta bilan $\mathbf{r}'$ nuqtaning cheksiz kichik hajmida

joylashgan $dq(\mathbf{r}')$ zaryadiga o'tkazilgan vektor. Integrallash hajm zichligi ρ bo'lgan hamma hajmlar ($dq(\mathbf{r}') = \rho(\mathbf{r}')dV$) bo'yicha, sirt zichligi σ bo'lgan hamma sirtlar ($dq(\mathbf{r}') = \sigma(\mathbf{r}')dS$) bo'yicha va uzunlik zichligi τ bo'lgan hamma chiziqlar ($dq(\mathbf{r}') = \tau(\mathbf{r}')dl$) bo'yicha bajariladi.

Istalgan $\mathbf{A}$ vektorning L berk kontur bo'yicha **sirkulyatsiyasi** deb quyidagi chiziqli integralga aytiladi

$$\oint_L \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} \quad (2.7)$$

A vektorning rotori deb shunday vektor kattalikka aytiladiki, uning $\vec{n}$ vektorning musbat yo'nalishdagi normaliga bo'lgan proeksiyasi, shu vektorning cheksiz kichik L berk kontur bo'yicha sirkulyasiyasining shu kontur bilan chegaralangan ΔS yuzaga nisbatining limitiga aytiladi

$$\text{rot}_n \mathbf{A} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta S} \oint_L \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} \quad (2.8)$$

$\vec{n}$ normalning musbat yo'nalishi L konturni o'ng parma qoidasiga ko'ra aylanib o'tish bilan mos keladi.

Dekart koordinatalar sistemasida rotorni $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$, $\mathbf{k}$ ortlar bilan vektor ko'paytma ko'rinishda tasvirlash mumkin

$$\text{rot } \mathbf{A} = [\nabla \mathbf{A}] = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix} \quad (2.9)$$

bu erda ∇ (nabla) ramziy vektor operator. Uning dekart koordinatalar sistemasidagi ko'rinishi quyidagicha:

$$\nabla = \mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z}$$

Stoks formulasi: $\mathbf{A}$ vektorning istalgan L kontur bo'yicha sirkulyasiyasi $\mathbf{A}$ vektor rotorining L konturga tutash istalgan yuza orqali o'tgan oqimiga teng:

$$\oint_L \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} = \iint_S (\text{rot } \mathbf{A}) \cdot \mathbf{n} \, dS \quad (2.10)$$

vektorning sirkulyatsiyasi to'g'risidagi teorema (elektr maydonining potensial xarakterga ega ekanligining integral ta'rifi): istalgan elektrostatik maydonda E vektorning L berk kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi nolga teng

$$\oint E dl = 0. \quad (2.11)$$

Elektrostatik maydonining potensial xarakterga ega ekanligining differensial ta'rifi: istalgan elektrostatik maydonda, istalgan nuqtada

$$\text{rot } E = 0. \quad (2.12)$$

ϕ skalyar funksiyaning gradiyenti deb quyidagi vektorga aytiladi

$$\text{grad } \phi = \nabla \phi = i \frac{\partial \phi}{\partial x} + j \frac{\partial \phi}{\partial y} + k \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (2.13)$$

Bu vektorning yo'nalishi $\phi = \text{const}$ bo'lgan tekislikka perpendikulyar va ϕ ning oshishi tomonga yo'nalgan bo'lib, moduli ϕ dan shu yo'nalish bo'yicha olingan hosilaga teng.

Ikki muhim matematik ayniyat:

$$\text{Istalgan } A(r) \text{ vektor funksiya uchun } \text{div rot } A \equiv 0; \quad (2.14)$$

$$\text{Istalgan } \phi(r) \text{ skalyar funksiya uchun } \text{rot grad } \phi \equiv 0 \quad (2.15)$$

Ekvipotensial sirtlar – potentsiallari bir xil bo'lgan nuqtalardan tashkil topgan sirtlardir. Maydon kuchlanganlik chiziqlari ekvopotensial sirtlarga perpendikulyar bo'lib, potensial kamayishi tomoniga yo'nalgan bo'ladi.

Maydon potensialning maydon kuchlanganligi bilan bog'lanishi

$$E = - \text{grad } \phi. \quad (2.16)$$

Teskari operatsiya – potentsiallar farqi $\Delta \phi_{21}$ ni ma'lum kuchlanganlik E orqali aniqlash

$$\int_C E \cdot dl = \Delta \phi_{21} \quad (2.17)$$

bu erda integrallash 1- va 2- nuqtalarni tutashtiruvchi istalgan trayektoriya bo'ylab amalga oshiriladi.

Potensial uchun differensial tenglama (Puasson tenglamasi)

$$\Delta\varphi = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2.18)$$

bu erda Δ – Laplas operatori. Dekart koordinatalar sistemasida Laplas operatori hamma koordinatalar bo'yicha ikkinchi tartibli hosilalarning yig'indisi sifatida keladi:

$$\Delta \equiv \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2.19)$$

Sferik koordinatalar sistemasida (r, ϑ, φ) Laplas operatori quyidagi ko'rinishni oladi

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \left(\frac{1}{\sin^2 \vartheta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial \vartheta^2} + \cot \vartheta \frac{\partial}{\partial \vartheta} \right) \quad (2.20)$$

Zaryadlar bo'lmagan sohalarda Puasson tenglamasi Laplas tenglamasiga aylanadi:

$$\Delta\varphi = 0. \quad (2.21)$$

3. ELEKTR MAYDONIDA O'TKAZGICHLAR. ELEKTR SIG'IMI

O'tkazgichlar - bu shunday material jismlarki, tashqi elektr maydoni ta'sirida ularda zaryadlarning tartibli harakati, elektr toki, hosil bo'ladi. O'tkazgich ichida elektr zaryadlar makroskopik masofalarga ko'chishi mumkin (bunday zaryadlar **erkin zaryadlar** deb ataladi).

O'tkazgich ichida elektrostatik muvozanat paytida elektr maydoni bo'lmaydi ($E=0$), demak $\text{div} E = 0$ ifodasi o'rinlidir. Buning ma'nosi shuki, o'tkazgichning istalgan cheksiz kichik hajmida musbat va manfiy zaryadlarning soni bir xil bo'ladi, ya'ni umumiy hajmiy zaryad zichligi ρ nolga tengdir (1 bob (1.11) qarang).

Agar o'tkazgich zaryadlangan bo'lsa yoki tashqi elektr maydoniga joylashtirilsa, elektr zaryadlar o'tkazgichning tashqi yuzasida σ sirt zaryad zichligi bilan taqsimlanadi. Bu o'tkazgich ichida maydon kuchlanganligi nolga tengligini ta'minlaydi.

Elektrostatik induksiya – o'tkazgich tashqi elektr maydoniga joylashtirilganida, uning yuzasidagi zaryadlarning qayta taqsimlanish hodisasi. Istalgan tashqi maydonda o'tkazgich yuzasidagi zaryadlar shunday taqsimlanadiki, bunda o'tkazgich ichida $\vec{E} = 0$ va $\rho = 0$ shartlar bajariladi.

O'tkazgich tashqarisida, uning yuzasi yaqinidagi har bir nuqtada, elektr maydon kuchlanganligi $\vec{E}$ yuzaga normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi va uning moduli quyidagiga teng bo'ladi:

$$— (3.1)$$

Muvozanat holatida o'tkazgichning butun hajmi yagona ekvipotensial hududga aylanadi, ya'ni o'tkazgichning istalgan nuqtasida potentsiali bir xil bo'ladi (u o'tkazgichning potentsiali deb ataladi).

Zazemlenie (erga ulanish) – berilgan o'tkazgichni hajmi juda katta bo'lgan boshqa o'tkazgichga ulash. Bunda bir o'tkazgichdan ikkinchi o'tkazgichga zaryad o'tganida ikkinchining potentsiali o'zgarmasdan qoladi deb hisoblanadi. Bunday o'tkazgich sifatida

odatda, Yer nazarda tutiladi. Yerga ulangan o'tkazgichning potentsiali nolga teng deb qabul qilinadi.

Yakkalangan o'tkazgichning potentsiali ϕ undagi Q zaryadga proporsional:

$$Q = C \phi. \quad (3.2)$$

O'tkazgich zaryadi va uning potentsiali orasidagi proporsionallik koeffitsiyenti **C o'tkazgich elektr sig'imi** deb ataladi. O'tkazgichdagi zaryad ΔQ miqdorga o'zgarganida uning potentsiali ham o'zgaradi

$$\Delta \phi = \text{---}$$

Xalqaro birliklar sistemasida elektr sig'imi Faradlarda $[F]$ o'lchanadi.

O'tkazgichning sig'imi faqatgina uning shakli va kattaligiga bog'liqdir (vakuumda). Xususan, yakkalangan R radiusli sharning sig'imi $C = 4\pi\epsilon_0 R$ ga teng.

Agar zaryadlangan N ta o'tkazgich mavjud bo'lsa, ulardan har birining potentsiali shu o'tkazgichlar zaryadlariga chiziqli bog'langan bo'ladi:

$$\Sigma \quad (3.3)$$

Masalan, Q_1 va Q_2 zaryadga ega ikki o'tkazgichning potentsiallari mos ravishda quyidagicha bo'ladi:

$$\phi_1 = \alpha_{11}Q_1 + \alpha_{12}Q_2 \quad \text{va} \quad \phi_2 = \alpha_{21}Q_1 + \alpha_{22}Q_2 \quad (3.4)$$

α_{ij} kattaliklar potentsial koeffitsiyentlari deb ataladi. Ularning qiymatlari musbat va o'z indekslariga nisbatan simmetrikdir ($i \neq j$ bo'lganida $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$).

(3.3) sistemani Q_i zaryadlarga nisbatan yechib quyidagini topamiz:

$$Q_i = \sum_{j=1}^N C_{ij} \phi_j \quad (3.5)$$

C kattaliklar sig'imi koeffitsientlar deb ataladi. Bir xil indeksli ($i=j$) sig'imi koeffitsientlar musbat; turli indeksli koeffitsientlar esa manfiy yoki nolga teng bo'ladi.

Zaryadlari modul jihatidan bir xil, ishorasi qarama-qarshi bo'lgan ikki o'tkazgichdan iborat bo'lgan sistemaga kondensator deyiladi. Bunda, o'tkazgichlar - kondensator qoplamalari, ularning zaryadlari moduli esa kondensator zaryadi deb ataladi. **Kondensatorda musbat zaryadlangan qoplamadan boshlangan maydon kuch chiziqlarining hammasi manfiy zaryadlangan qoplamada tugaydi.** Texnikada kondensatorlar shunday yaratiladiki, bunda elektr maydoni maksimal darajada faqatgina qoplamalar orasida mavjud bo'lib, kondensator chetida yuzaga keladigan turli effektlar minimal bo'ladi. Bunday holatga qoplamalarning shaklini tanlash orqali erishiladi. Masalan, bu tekis plastina yoki rulon shaklida o'ralgan o'tkazgich bo'lishi mumkin. Bunda o'tkazgichlar orasi ingichka dielektrik qatlam bilan to'ldiriladi.

Kondensator sig'imi C deb kondensator zaryadi Q bilan qoplamalar orasidagi potentsiallar farqining absolyut qiymati orasidagi, musbat kattalik bo'lgan, proporsionallik koeffisientiga aytiladi

$$Q = CU. \quad (3.6)$$

Kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqiga, ko'pincha, kuchlanish deyiladi.

Agar kondensator qoplamalari orasida vakuum bo'lsa, unda

1) yassi kondensatorning sig'imi quyidagicha aniqlanadi

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (3.7)$$

bu erda S – kondensator qoplamalari yuzasi, d – qoplamalar orasidagi masofa ($d \ll \sqrt{S}$);

2) silindrik kondensatorning sig'imi

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon r h}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad (3.8)$$

bu erda r – tashqi va ichki qoplamalar radiuslari, h – silindrlar uzunligi ($h \gg d$);

3) sferik kondensatorning sig'imi

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon Rr}{R-r}, \quad (3.9)$$

bu erda r_1 va r_2 - tashqi va ichki qoplamalar radiuslari.

Kondensatorda to'plangan elektrik energiya quyidagiga teng

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{Q}{2}U \quad (3.10)$$

Kondensatorlar parallel ulanganda ularning sig'implari qo'shiladi:

$$C = C_1 + C_2 + \dots \quad (3.11)$$

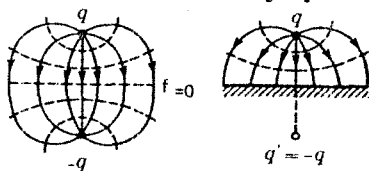
Kondensatorlar ketma-ket ulanganida ularning sig'implari teskari ravishda qo'shiladi:

$$- - - \quad (3.12)$$

Tasvir usuli (yoki ko'zgu tasvir usuli) – ba'zi hollarda, o'tkazgich yuzasida taqsimlangan zaryadlarning maydonini topish uchun qo'llaniladigan usul. Bu usul elektrostatikadagi yagonalik teoremasiga asoslangan bo'lib, unga ko'ra, berilgan zaryadlar uchun shunday qo'shimcha mavhum zaryadlar tanlanadiki, shu zaryadlar sistemasi hosil qilgan ekvipotensial sirtlardan biri o'tkazgich sirti bilan ustma-ust tushadi. O'tkazgichdan tashqarida, mavhum zaryadlarning maydoni o'tkazgich yuzasidagi zaryadlar hosil qilgan maydon bilan to'la mos keladi.

Umumiy fizika kursida, odatda, quyidagi hol ko'rib chiqiladi.

O'tkazuvchan tekislik yaqinidagi q nuqtaviy zaryad



Chapdagi rasmdan ko'rinadiki, ishorasi turli, lekin qiymati bir xil bo'lgan zaryadlar orasida potentsiali $\varphi = 0$ (punktir) ga teng bo'lgan tekis ekvipotensial sirt mavjud. Agar shu sirt yuzasiga o'tkazuvchan tekislikni joylashtirsak, maydon o'zgarmaydi va biz o'ng tarafda tasvirlangan sistemani hosil qilamiz. Bunda mavhum zaryad q' berilgan q zaryadning tasviri bo'ladi.

4. ELEKTROSTATIK MAYDONDAGI DIELEKTRIKLAR

Dielektriklar – tarkibida, elektrik maydon ta'sirida makroskopik masofalarga ko'chishi mumkin bo'lgan, erkin zaryadlangan zarrachalari bo'lmagan moddiy jismlar (o'tkazgichlardan farqli ravishda). Dielektrikdagi zaryadlar tashqi elektr maydoni ta'sirida faqatgina atom o'lchamlari miqyosida harakatlana oladi.

Dielektrikdagi elektr maydon. Tashqi elektr maydon ta'sirida dielektrikdagi musbat va manfiy zaryadlar o'zaro qarama-qarshi tarafga molekulalar o'lchamlari miqyosida siljiydi. Bunday sistemaning o'zi elektr maydonni hosil qiladi. Fazoning istalgan nuqtasidagi maydon tashqi maydon va dielektrikdagi yangicha taqsimlangan zaryadlar sistemasi hosil qilgan maydonlar yig'indisiga teng bo'ladi.

Dipol momenti. Birinchi yaqinlashishda, zaryad zichligining taqsimoti bir jinsli bo'lmagan, elektrik neytral bo'lgan sistema o'zining dipol momenti bilan xarakterlanadi:

$$\mathbf{P} = \int \mathbf{p} dV$$

Elektrik neytral sistema dipol momentining qiymati qanday sanoq sistema tanlanishiga bog'liq emas. Shuning uchun radius-vektor $\mathbf{r}$ ni sanoq sistemaning boshi deb qabul qilingan istalgan nuqtadan boshlab hisoblash mumkin. Sistemadan katta masofa naridagi nuqtalarda uning elektr maydoni nuqtaviy dipol maydoni sifatida qabul qilishimiz mumkin (1 bob, (1.4) formula).

Qutblanish. Dielektrik ichida dipol momentlarining paydo bo'lishiga (yoki tartibga tushirilishi) qutblanish deb ataladi. Qutblanish dielektrikdagi atom va molekullardagi zaryadlarning tashqi maydon ta'sirida siljishi natijasida, ichki zaryadlari nosimmetrik taqsimlangan atomlar dipol momentlari yo'nalishlari tartibga solinishi va qator boshqa sabablar tufayli amalga oshishi mumkin. Qutblanish natijasida ajratilgan zaryadlar qutblangan (yoki bog'langan) zaryadlar deb ataladi. Bu zaryadlar hajmiy yoki sirtiy bo'lishi mumkin.

Dielektrikdagi atomlar tarkibiga kirmagan zaryadlar "chekkadagi" zaryadlar deb ataladi (ba'zan, ularni shartli ravishda erkin zaryadlar deb atashadi, lekin qator hollarda "chekkadagi" zaryadlar erkin bo'lmasligi mumkin).

P qutblanganlik (qutblanish vektori). Qutblanganlik bu –dipol momentining hajmiy zichligi vektori. Son jihatdan u dielektrikning hajmiy birligidagi dipol momentiga teng:

$$-\sum$$

bu erda ΔV – radius vektori $\mathbf{r}$ bo'lgan nuqtadagi dielektrikning cheksiz kichik hajmi, $\mathbf{p}_i$ – shu hajmdagi i - molekulaning dipol momenti, n – dielektrikdagi molekullar konsentratsiyasi, $\langle \mathbf{p} \rangle = \Delta V$ hajmdagi $\mathbf{p}_i$ larning o'rtacha qiymati.

Dielektrikdagi **hajmiy bog'langan zaryadlarning zichligi** quyidagiga teng:

$$\rho' = -\operatorname{div} \mathbf{P}. \quad (4.1)$$

Bu ifoda faqat bir jinsli bo'lmagan holdagi qutblanishda noldan farqli bo'ladi. Bundan keyin hamma bog'langan (qutblangan) zaryadlar shtrix bilan belgilanadi (adabiyotlarda "pol" yoki "sv" kabi indeks bilan belgilangan hollar uchraydi).

Ikki dielektrik chegarasidagi **sirtiy bog'langan zaryad zichligi** quyidagicha bo'ladi

$$\sigma' = -\mathbf{n}_{12}(\mathbf{P}_2 - \mathbf{P}_1) = P_{1n} - P_{2n}, \quad (4.2)$$

bu erda $\mathbf{n}_{12}$ – birinchi muhitdan ikkinchi muhitga yo'nalgan birlik normal vektori. $\mathbf{P}$ vektorning normal tashkil etuvchisi ikki dielektrik muhit chegarasida bog'langan zaryad zichligiga teng bo'lgan sakrashni amalga oshiradi.

Qutblanish vektori uchun Gauss teoremasi:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = -q', \quad (4.3)$$

bu erda q' – S yopiq sirt ichida joylashgan to'la bog'langan zaryad.

Dielektrikdagi elektr maydon kuchlanganligi – bu dielektrik bo'lmagandagi tashqi zaryadlarning qaralayotgan nuqtada hosil qilgan umumiy maydon kuchlanganligi $\mathbf{E}_0$ bilan dielektrikdagi qutblanish natijasida bog'langan zaryadlar hosil qiladigan $\mathbf{E}'$ maydon kuchlanganliklari yig'indisi:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}'.$$

Agar qutblanish tashqi zaryadlar tomonidan hosil qilingan bo'lsa, unda induksiyalangan bog'langan zaryadlar maydonining yo'nalishi

har doim shu tashqi zaryadlar hosil qilgan maydonni kamaytiradi, ya'ni $E < E_0$ bo'ladi. Shuning uchun bu maydonni qutblanishni so'ndiruvchi maydon deb atashadi.

Dielektrik qabul qiluvchanlik. Ko'p hollarda, dielektrikning qutblanish vektori $\mathbf{P}$ dielektrikdagi maydon kuchlanganligi $\mathbf{E}$ ga proporsional bo'ladi va dielektrikning turli yo'nalishlardagi xossalari bir xil bo'ladi (bunday dielektrik chiziqli izotrop deyiladi). Uning uchun quyidagi tenglik o'rinli

$$\mathbf{P} = \epsilon_0 \chi \mathbf{E}, \quad (4.4)$$

bu erdagi koeffitsiyent χ dielektrik qabul qiluvchanlik deyiladi.

Bu ifodani o'zgarmas qutblanishga ega bo'lgan dielektriklarga (masalan elektretlarga) qo'llab bo'lmaydi, chunki $\mathbf{P}$ vektorimiz tashqi maydon orqali emas, balki ichki strukturaviy omillar orqali aniqlanadi. Biz bu yerda ko'rib chiqmaydigan umumiy holda $\mathbf{P}$ va $\mathbf{E}$ orasidagi bog'lanish tenzorli bo'lib, $\mathbf{E}$ ning katta qiymatlarida chiziqli bo'lmaydi.

Agar bir jinsli va izotrop dielektrik jism ichida tashqi zaryadlar bo'lmasa, ixtiyoriy elektrostatik maydon ta'siri natijasida unda faqat bog'langan sirtiy zaryadlar $\sigma' \neq 0$ hosil bo'ladi. Ixtiyoriy nuqtada bog'langan hajmiy zaryadlar zichligi esa nolga teng bo'ladi $\rho' = 0$.

Elektrik siljish vektori yoki elektrik induksiya vektori (ikkala nom o'zaro ekvivalent) quyidagicha ifodalanadi:

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}. \quad (4.5)$$

Agar (4.4) shart bajarilsa, $\mathbf{D}$ va $\mathbf{E}$ vektorlar o'zaro chiziqli bog'langan:

$$\mathbf{D} = \epsilon \epsilon_0 \mathbf{E}. \quad (4.6)$$

va

$$\epsilon = (1 + \chi) \quad (4.7)$$

kattalik nisbiy dielektrik singdiruvchanlik deb ataladi (ko'pincha uni qisqagina muhitning yoki moddaning dielektrik singdiruvchanligi deb atashadi). $\mathbf{D}$ vektor muhitning qutblanishini hisobga olganligi sababli

toza maydon vektori bo'lmaydi. U, fizik jihatdan, bir biridan anchagina farq qiladigan ikki kattalikning yig'indisi bo'lib, chuqur fizik ma'noga ega emas. Ammo matematik nuqtai nazardan $\mathbf{D}$ vektordan foydalanish dielektriklardagi elektrostatik maydonlarni hisoblashda ancha qo'l keladi. Buning sababi $\mathbf{D}$ vektorni aniqlashda bog'langan zaryadlarning hissasi hisobga olingan. Bir jinsli, izotrop, chiziqli qabul qiluvchanlikka ega bo'lgan, ya'ni (4.6) ifodaga bo'ysunuvchi dielektriklarda $\mathbf{D}$ vektorning manbasi sifatida faqatgina tashqi zaryadlar olinadi, shuning uchun $\mathbf{D}$ maydonni topishda bog'langan zaryadlarni "esdan chiqarish" mumkin.

$\mathbf{D}$ vektor uchun quyidagi differensial tenglama o'rinli:

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho, \quad (4.8)$$

bu erda ρ – *tashqi* zaryadlaning zichligi.

Elektrik ko'chish vektorining xossalari. (4.6) ifodaga bo'ysunuvchi dielektriklarda $\mathbf{D}(\mathbf{r})$ vektor maydon tabiatan potensial maydon bo'lib, o'z xossalarga ko'ra elektrostatik maydon kuchlanganligi $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ bilan bir xildir. Buning ma'nosi shuki, $\operatorname{rot} \mathbf{D} = 0$ bo'ladi va uning kuch chiziqlari biror tashqi zaryaddan boshlanib boshqa tashqi zaryadda (yoki cheksizlikda) tugaydi. Zaryadlar bo'lmagan yerlarda ular uzluksiz bo'ladi (bog'langan zaryadlar bo'lgan nuqtalarda ham). Shuning uchun $\mathbf{D}$ vektorni aniqlashda vakuumdagi $\mathbf{E}$ maydon kuchlanganligini topishdagi hamma formulalardan foydalansa bo'ladi, biroq ularga zaryad sifatida barcha zaryadlarni emas, balki faqat tashqi zaryadlarni qo'yish kerak va formulalardan ϵ_0 ni olib tashlash zarur.

Agar dielektrikda (4.6) tenglik bajarilmasa, $\mathbf{D}$ maydon uyurmali qismga ega bo'lishi mumkin. Unda $\mathbf{D}$ maydonning kuch chiziqlari uzluksiz bo'lib, ularning hosil bo'lishi uchun erkin zaryadlarning bo'lishi shart emas. Masalan, shunday holatni doimiy qutblanishga ega bo'lgan dielektriklar – elektretlarda kuzatish mumkin.

$\mathbf{D}$ vektor uchun Gaussning integral elektrostatik teoremasi:

$$\oint_S \mathbf{D} d\mathbf{S} = q, \quad (4.9)$$

bu erda q – S berk sirt ichida joylashgan to'liq *tashqi* zaryad. Bu teorema dielektrik jismlarga nisbatan joylashgan istalgan S yuzalar

uchun o'rinlidir. Agar istalgan ikki ekvipotensial sirtlar bilan qoplangan biror hajm ichini dielektrik bilan to'ldirilsa, u yerdagi maydon kuchlanganligi shu hajm dielektriksiz bo'lgandagi holatga nisbatan ϵ marotaba kamroq bo'ladi. Xususan, cheksiz, bir jinsli, ϵ singdiruvchanlikka ega bo'lgan dielektrik muhitda nuqtaviy zaryad uchun elektr siljishi va elektr maydon kuchlanganliklari quyidagicha bo'ladi:

$$D(r) = \text{---} \quad \text{va} \quad E(r) = \text{---} \quad (4.10)$$

Agar yassi, silindrik yoki sferik kondensatorlar qoplamalari orasidagi muhit bir jinsli, izotrop dielektrik bilan to'ldirilsa, u yerdagi maydon kuchlanganligi dielektriksiz holdagiga qaraganda ϵ marotaba kam bo'ladi va mos ravishda kondensatorlar sig'imi ϵ marotaba ortadi.

Chegaraviy shartlar. Ikki 1- va 2- dielektriklar chegarasi uchun:

$$E_{2t} = E_{1t}, \quad (4.11)$$

$$D_{2n} - D_{1n} = \sigma, \quad (4.12)$$

ifodalar o'rinli bo'ladi. Bu erda σ –chegaradagi tashqi zaryadlar zichligi bo'lib, $\mathbf{n}$ normal vektor birinchi muhitdan ikkinchi muhitga qarab yo'nalgan. Agar ikki dielektriklar chegarasida tashqi zaryadlar mavjud bo'lmasa, $\mathbf{D}$ vektorining normal komponentasi chegaradan o'tganida uzluksiz bo'ladi:

$$D_{2n} = D_{1n} \quad (4.13)$$

Bunday hol uchun chegaradagi zaryadlarning sirtiylar zichligi uchun yozilgan (4.2) ifodani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\sigma' = \epsilon_0(E_{2n} - E_{1n}) \quad (4.14)$$

Agar $\epsilon_2 > \epsilon_1$ bo'lib, maydon birinchi muhitdan ikkinchi muhitga yo'nalgan bo'lsa $\sigma' < 0$ bo'ladi. Agar $\epsilon_2 > \epsilon_1$ bo'lib, maydon ikkinchi muhitdan birinchi muhitga yo'nalgan bo'lsa $\sigma' > 0$ bo'ladi. Xar ikkala holda ham ikkinchi muhitdagi (ϵ kattaroq bo'lgan) maydon birinchi muhitdagiga (ϵ kichikroq bo'lgan) qaraganda kamroq bo'ladi. $\epsilon_1 > \epsilon_2$ bo'lganida esa bog'langan zaryadlarning ishorasi teskarisiga almashtiriladi ([1] §17 ga qarang).

5. ELEKTR MAYDON ENERGIYASI. PONDEROMOTOR KUCHLAR

Bir biridan r masofada joylashgan q_1 va q_2 zaryadlarning **o'zaro ta'sir potensial energiyasi** elektr kuchlarning zaryadlar orasidagi masofani cheksizlikka uzaytirishda bajarilgan minimal ishiga teng:

$$\text{-----} \quad \text{-----} \quad \text{-----} \quad (5.1)$$

bu yerda $\phi_1 - (q_1)$ zaryad joylashgan joyda q_2 zaryad hosil qilgan maydon potentsiali, $\phi_2 -$ esa q_2 zaryad joylashgan joyda q_1 zaryad hosil qilgan maydon potentsiali.

Nuqtaviy zaryadlar sistemasining o'zaro ta'sir potensial energiyasi juft ta'sir o'tkazuvchi zaryadlar energiyasining yig'indisiga teng:

$$-\sum \text{-----} -\sum \quad (5.2)$$

bu yerda $\phi_i - (q_i)$ joylashgan joyda boshqa qolgan zaryadlar hosil qilgan maydon potentsiali.

Zaryadning hajmiy zichligi ρ va sirtiy zichligi σ bo'lgan **jismlar sistemasining to'liq elektrostatik energiyasi** quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$-\int \quad -\int \quad (5.3)$$

bu yerda ϕ – sistemaning barcha zaryadlari tomonidan pdV yoki σdS elementining joylashgan nuqtasidagi yaratilgan potensial bo'lib, integrallash esa barcha zaryadlar mavjud bo'lgan sohalar bo'yicha amalga oshiriladi. Agar sistema bir necha jismlardan iborat bo'lsa, bu formula turli jismlarda joylashgan zaryadlarning o'zaro ta'siridan tashqari sistemaning har bir jismlarida joylashgan zaryadlarning o'zaro ta'sirini hisobga bo'ladi.

Agar zaryadlangan jismlar fazoning chekli sohasida joylashgan bo'lsa, unda elektr maydon energiyasi quyidagi formula orqali hisoblanadi :

$$= - \int E dV , \quad (5.4)$$

bu yerda integrallash maydon egallagan barcha fazo bo'yicha amalga oshiriladi.

Har qanday nuqtadagi **elektr maydon energiya zichligi** quyidagiga teng:

$$- \quad (5.5)$$

Zaryadlangan jismning xususiy energiyasi deb zaryadlangan jism barcha zaryadlarining o'zaro ta'sir energiyasiga aytiladi. U (5.3) formula orqali aniqlanadi, bu yerda V – jism hajmi va S – uning sirti, ϕ esa jism zaryadlari hosil qilgan potensial. Xususiy energiya doimo musbat, chunki u jismni zaryadlash jarayonida elektr maydon kuchlariga qarshi «minus» ishorali bajarilgan minimal ishga teng, bu esa ushbu jism zaryadlarining o'zaro ta'sir potensial energiyasini ortishiga olib keladi.

Bir necha jismlardan iborat sistemaning o'zaro ta'sir potensial energiyasi sistemadagi barcha jismlarining xususiy energiyalari ayirmasini hisobga olgan holda (5.3) formula bilan aniqlanadi. U zaryadlangan jismlarni yaqinlashtirish ishi orqali aniqlanadi va u musbat yoki manfiy bo'lishi ham mumkin.

Ponderomotor kuch – vaznli jismlarga maydon tomonidan ta'sir etayotgan mexanik kuchni anglatuvchi o'tgan zamondagi atama. Chunki vaznsiz jismlar majud bo'lmaydi, hozir esa odatda «ponderomotor» so'zi tushirib qoldiriladi va jismga ta'sir etayotgan kuch yoki kuchlar zichligi haqida gapiriladi.

Qaralayotgan sistemadagi zaryadlar o'zgarmas bo'lgandagi kuchlar. Agar o'tkazgichdagi zaryadlar doimiy qiymatlarini saqlasa (sistema EYUK manbalaridan uzilgan), unda zaryadlar va fazoviy o'zgaruvchilar funksiyasi ko'rinishdagi sistema energiyasini yozishda, sistemada ta'sir etayotgan kuchlar proeksiyasi va ushbu kuchlarning momentlarini hisoblash mumkin:

$$(-) \quad (5.6)$$

$$(-) \quad (5.7)$$

Bu yerda x_i – dekart koordinatasi, θ_i - i o'qiga nisbatan burilishi burchagi, q indeksi esa hisob-kitoblar o'zgarmas zaryadda amalga oshiriyotganligini ko'rsatadi.

O'tkazgichlar sistemasida potentsiallar doimiy bo'lganidagi kuchlar. Agar o'tkazgichlarda o'zgarmas potentsiallar (EYUK manbalariga ulanishi hisobiga) ta'minlansa, unda sistema energiyasini potentsiallar va fazoviy o'zgaruvchilar funksiyasi sifatida yozish qulaydir. Bu holda hisob-kitoblarni quyidagi formulalar bilan amalga oshirishi kerak:

$$F_i = + \left(\frac{\partial W}{\partial x_i} \right)_{\varphi} \quad (5.8)$$

$$M_i = + \left(\frac{\partial W}{\partial \theta_i} \right)_{\varphi} \quad (5.9)$$

Bu yerda φ indeksi hisob-kitoblar o'zgarmas potentsiallarda amalga oshirilganligini ko'rsatadi.

Kuchning sirtiy zichligi. Agar jism sirtining dS elementiga dF kuch ta'sir qilsa, $f_s = \frac{dF}{dS}$ nisbat kuchning sirtiy zichligi deb ataladi.

Kuchning hajmiy zichligi. Agar jism hajmining dV elementiga dF kuch ta'sir qilsa, $f_s = \frac{dF}{dV}$ nisbat kuchning hajmiy zichligi deb ataladi.

Zaryadlangan o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchning sirtiy zichligi, quyidagiga teng:

$$f_s = \frac{\sigma^2 n}{2\epsilon\epsilon_0}, \quad (5.10)$$

bu yerda n – o'tkazgich sirtidagi tashqi normalning birlik vektori, σ – kuzatish nuqtasidagi zaryad zichligi, ϵ – o'tkazgich bilan chegaradosh bo'lgan muhitning dielektrik singdiruvchanligi. Bu yerda va keyinchalik faqat suyuq yoki gaz shakldagi dielektrik bilan to'liq kontaktda bo'lishi mumkin bo'lgan holat taxmin qilinadi. Muvozanat holatida o'tkazgich hajmini kattalashtirishga intiluvchi bu kuchlar,

elastik deformasiyasi natijasida yuzaga keluvchi kuchlar bilan kompensasiyalashadi.

Qattiq jismlar, gazlar va suyuqliklarning aksariyati uchun kuchlanganligi E bo'lgan tashqi maydonda dielektrik singdiruvchanligi ε bo'lgan dielektrikka ta'sir etuvchi **kuchlarning hajmiy zichligi** quyidagiga teng:

$$\text{---} \quad (5.11)$$

Kuch elektr maydon kuchlanganligi modulini o'sish yo'nalishi bo'yicha ta'sir etadi.

Zaryadlanmagan ikkita ε_1 va ε_2 dielektriklarning yassi chegarasiga ta'sir etuvchi sirtiy kuch. Birinchi muhitdan ikkinchisi muhit chegarasiga o'tkazilgan birlik normal vektori $-n_{12}$ va ular uchun $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$ bo'lsin. Agar tashqi maydon normal bo'yicha bo'linish chegarasiga yo'nagan bo'lsa, unda har bir muhit o'zining elektr maydoni bilan ajralish chegarasi yuzasini o'ziga tortgandek bo'ladi. Bunday kuchning sirtiy zichligi o'z muhitida maydon kuchlanganligi normal komponentasi bilan bog'langan energiyani hajmiy zichligiga teng. Bu kuchlar maksvell tortilishkuchlari deb nomlanadi va ularning natijaviysi ajralish chegarasiga ta'sir etuvchi kuchni ifodalaydi. Bunday kuchning zichligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\text{---} \left(\begin{matrix} - & - \end{matrix} \right) \quad (5.12)$$

bu yerda D_n – tashqi maydon induksiyasini normal komponentasi.

Agar tashqi maydon ε_1 va ε_2 , ikkita dielektriklarning ajratish chegarasiga tangensial yo'nalgan bo'lsa, unda ajratish chegarasiga normal bo'yicha umumiy sirtiy zichlikka teng bo'lgan kuch ta'sir etadi:

$$\text{---} \quad (5.13)$$

bu yerda E_τ – tashqi maydonning tangensial komponentasi. Bu holda ta'sir kuchlari dielektriklarning bir-biriga bosim kuchlari bo'lib ular maksvell bosimlari deb ataladi. Bosim kuchlarining sirtiy zichligi

maydon kuchlanganligining tangensial komponentasi bilan bog'langan energiyaning hajmiy zichligiga teng.

Muhitlarning ajralish chegarasiga ta'sir etuvchi kuchning sirtiy zichligi har doim energiya zichligi kichik bo'lgan muhit tarafiga yo'nalgan bo'ladi va qiymati quyidagiga teng:

(5.14)

bu yerda w_1 va w_2 -- birinchi va ikkinchi muhitlarga mos keluvchi elektr maydonning hajmiy zichliklari energiyalari.

Maydon kuchlanganligi E bo'lgan tashqi maydonda kuchlanganligi tashqi maydonda p momentli **nuqtaviy dipolning energiyasi** quyidagiga teng:

(5.15)

Elektrostatik maydonda **dipolga ta'sir etuvchi kuch:**

$$\mathbf{F} = (p \operatorname{grad})E = (p \nabla) \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (5.16)$$

6. O'ZGARMAS ELEKTR TOKI

Elektr toki – zaryadlangan zarrachalarning tartibli xarakatidir. Tok o'tkazuvchan muhit va vakuumda hosil bo'lishi mumkin. **O'tkazgichlar** – tashqi elektr maydon ta'sirida ichida erkin zaryadlar oqimi paydo bo'ladigan moddiy jismlar. Agar o'tkazgichdan tok o'tsa (elektrostatikadan farqli) u ekvipotencial soha bo'la olmaydi.

O'tkazuvchan sohada tok

Tokning hajmiy zichligi – zaryadlar oqimining shunday o'rtacha zaryad vektoriki, u son jihatdan zaryadlar tezligiga perpendikulyar bo'lgan birlik yuza birligidan 1 sekundda o'tuvchi zaryadga tengdir $j = \rho v$. Bu erda ρ -o'tkazgichning berilgan nuqtasidagi zaryadlarning hajmiy zichligi.

Tok zichligining o'lchov birligi $[j] = A/m^2$. j vektor musbat ishorali zaryadlangan zarralarning tartibli harakat tezligi v bilan bir xil yo'nalishga ega. Agar o'tkazgichda hajmiy zaryad zichliklari ρ^+ va ρ^- ga, tezliklari mos ravishda v^+ va v^- teng bo'lgan erkin zaryadlar mavjud bo'lsa, u holda umumiy tok zichligi quyidagicha bo'ladi:

$$j = j^+ + j^- = \rho^+ v^+ + \rho^- v^-.$$

Uzluksizlik tenglamasi (elektr zaryadlarining saqlanish qonuni)

$$\text{—} \quad (6.1)$$

bu erda ρ -o'tkazgichdagi zaryadlarning hajmiy zichligi, j -tok zichligi. Agar tok o'zgarmas bo'lsa, zaryadning miqdori o'tkazgichning istalgan qismida o'zgarmaydi va bu hol uchun quyidagi ifoda o'rinli bo'ladi:

$$\text{div} j = 0. \quad (6.2)$$

Tokning sirtiy zichligi – quyidagicha ifodalanuvchi vektor

$$i = \sigma v,$$

bu erda σ - zaryadlarning sirtiy zichligi, v -zaryadlarning sirt bo'ylab tartibli harakatining o'rtacha tezligi. Sirt zichligining o'lchov birligi $[i] = A/m$.

Om qonuninig differencial ko'rinishi:

$$j = \lambda E \quad (6.3)$$

bu erda E – o'tkazgichdagi elektrostatik maydon kuchlanganligi, λ – moddaning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi. SI (xalqaro birliklar sistemasi) sistemasida elektr o'tkazuvchanlikning o'lchov birligi $(\text{Om}\cdot\text{m})^{-1}$.

Agar zaryad tashuvchilarga elektrostatik kuchlardan boshqa kuchlar (tashqi kuchlar) ham ta'sir etsa, u holda:

$$\mathbf{j}=\lambda(\mathbf{E}+\mathbf{E}^*) \quad (6.3^*)$$

bo'ladi, bu erda E^* – tashqi kuchlarning kuchlanganligi bo'lib, uning qiymati erkin, birlik musbat zaryadga ta'sir etuvchi kuchga teng. Tashqi kuchlar uyurmali elektr maydoni, Lorens kuchi, o'tkazgichning fizik yoki kimyoviy jihatdan bir jinsli bo'lmaganligi va tezlanuvchan harakat qilishi sababli paydo bo'lishi mumkin.

Bir jinsli o'tkazgichlar uchun ($\lambda=\text{const}$) (6.2, 6.3) ifodalardan $\text{div } \mathbf{E}=0$ ekanligi kelib chiqadi, chunki statsionar maydonlar uchun $\text{rot } \mathbf{E}=0$, ya'ni E maydon potentsial maydon va ϕ maydon potentsiali uchun Laplas tenglamasi $\nabla^2 \phi = 0$ o'rinalidir.

Tok kuchi I – skalyar kattalik bo'lib, son jihatdan o'tkazgichning ko'ndalang kesimi S orqali vaqt birligida o'tayotgan zaryadga teng:

$$I = \int S. \quad (6.4)$$

Tok kuchining o'lchov birligi Amper $[A]$ SI sanoq sistemasida asosiy elektromagnit birlik hisoblanadi.

Zanjirning bir qismi uchun Om qonuni. O'tkazgichdan oqayotgan tok kuchi o'tkazgich uchlaridagi potentsiallar farqi yoki kuchlanish U ga to'g'ri proporsional, o'tkazgichning qarshiligi R ga esa teskari proporsional:

$$I = \frac{U}{R} \quad (6.5)$$

R qarshiligi XBT da $[\text{Om}]$ larda o'lchanadi.

Bir jinsli, o'zgarmas yuzaga ega bo'lgan o'tkazgichning qarshiligi

$$R = \frac{l}{\lambda S} \quad (6.6)$$

Bo'lib, bu yerda $\rho = 1/\lambda$ – o'tkazgichning solishtirma qarshiligi (ρ o'tkazgichning materialiga, temperaturasiga bog'liq, XBT da o'lchov

birligi $[\text{Om m}]$), l - o'tkazgich uzunligi, S - o'tkazgich ko'ndalang kesim yuzasi, λ -moddamizning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi.

Kondensator sig'iminin uning qoplamalari orasidagi qarshilikka bog'liqligi. Ixtiyoriy shakldagi ikki o'tkazuvchan jism orasini to'ldiruvchi bir jinsli, o'tkazuvchan muhitning R qarshiligi va shu sistemaning C sig'imi undagi moddaning ρ solishtirma qarshiligi va dielektrik singdiruvchanligi bilan quyidagicha bog'langan:

$$RC = \quad (6.7)$$

Joul-Lents qonuni. O'tkazgichdan o'tayotgan I tok ta'sirida undan ajralib chiqadigan issiqlik quvvati quyidagiga teng:

$$P = I^2 R \quad (6.8)$$



Joul-Lents qonunining differentsial ko'rinishi. O'tkazgichda ajraladigan issiqlik quvvatining hajmiy zichligi quyidagiga teng:

6.1 rasm Zanjirning kvazichiziqli qismi

$$(6.9)$$

Kvazichiziqli o'tkazgichlardagi tok

Kvazichiziqli tok – ingichka o'tkazgichdagi elektr toki. Tok zichligi vektori $\mathbf{j}$ o'tkazgich o'qiga har doim parallel va o'tkazgichning ko'ndalang kesimidagi hamma fizik kattaliklar ($\mathbf{j}$ ham) bir xil deb hisoblanadi.

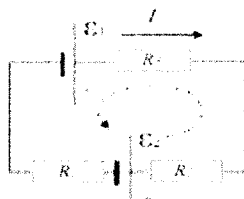
Kvazichiziqli zanjirning bir qismi uchun Om qonuni:

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon \quad (6.10)$$

bu erda I – tok kuchi, $\varphi_1 - \varphi_2$ – zanjirdagi potentsiallar farqi, R – zanjirning to'la qarshiligi (6.1 rasm), ε – zanjirning 1–2 qismida ta'sir etuvchi EYUK. Quyidagi

$$\int$$

ifoda musbat birlik zaryadni berilgan (1) nuqtadan (2) nuqtaga ko'chirishdagi tashqi kuchlar bajargan ishga son jihatdan teng bo'ladi. IR kattalik R rezistordagi kuchlanish (kuchlanish tushishi) deb ataladi.



EYUK ishorasi:

6.2 rasm: Tarmoqlanmagan berk zanjir

Tashqi kuchlar tok yo'nalishi bilan bir xil yo'nalgan bo'lsa $\varepsilon > 0$ bo'ladi (masalan 6.1 rasmda, tok manbadan $(-)$ dan $(+)$ ga yo'nalganda). Aksincha bo'lganida $\varepsilon < 0$ bo'ladi.

Manba EYUK si quvvati (tashqi kuchlar quvvati):

$$P = \varepsilon I. \quad (6.11)$$

Kvazichiziqli o'tkazgichlarning berk tarmoqlanmagan zanjiri uchun Om qonuni:

$$\pm IR = \sum_j (\pm \varepsilon_j) \quad (6.12)$$

bu erda R - EYUK manbalarining ichki qarshiliklarini hisobga olgan holdagi zanjirning to'la qarshiligi (6.2 rasm). Har bir masalani yechishdan oldin tokning yo'nalishini tanlab olish zarur (6.2 rasmdagi strelka). Yo'nalishni ixtiyoriy tarzda belgilash mumkin (tokning haqiqiy yo'nalishi masala oxiridagi yechimning ishorasiga qarab aniqlanadi). Bu yo'nalishni tanlash zanjir elementlaridagi kuchlanishning ishorasini aniqlash uchun kerakdir. Undan so'ng kontur bo'ylab aylanish amalga oshiriladi.

To'la zanjir uchun Om qonunidagi ishoralarni tanlash qoidasi:

Tok uchun: konturni aylanish yo'nalishi tokning tanlangan yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, tok musbat $(+I)$ hisoblanadi va aksincha $(-I)$;

EYUK uchun: konturni aylanish yo'nalishi tashqi kuchlar ta'siri yo'nalishi bilan bir xil bo'lsa, EYUK musbat $(+\varepsilon)$ bo'lib, aks holda manfiy $(-\varepsilon)$ bo'ladi.

Konturning umumiy qarshiligi qarshiliklarni qo'shish qoidasi orqali aniqlanadi. Agar qarshiliklar ketma-ket ulangan bo'lsa umumiy qarshilik:

$$\sum$$

ifoda orqali aniqlanadi.

Agar zanjir tarkibida o'zaro parallel ulangan qarshiliklar bo'lsa umumiy qarshilikning ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$- \sum -$$

Konturni aylanish yo'nalishi ixtiyoriy bo'ladi: aylanish yo'nalishi o'zgarishi natijasida yig'indidagi hamma ishoralar o'zgarib yakuniy ifoda o'zgarmaydi. Masalan, 6.2 rasmdagi zanjir uchun tokning tanlangan yo'nalishi (strelka) va konturni aylanish yo'nalishlari (punktir chiziq) uchun Om qonuni quyidagicha bo'ladi (6.12):

$$-I(\quad),$$

Bundan $I = \text{-----}$

Kvazichiziqli o'zkazgichlarning tarmoqlangan zanjiri

Kvazichiziqli o'zkazgichlarning tarmoqlangan zanjirlarida zanjir tuguni deb ataladigan nuqtalar bo'lib, ularda kamida uchta o'tkazgich birlashadi (6.3 rasm). Bunday konturni, shartli ravishda, bir necha tarmoqlanmagan konturlarga ajratish mumkin.

Kirxgof qoidalari

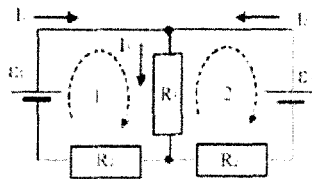
I qoida: Elektr zanjiri tugunlaridagi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng (zaryadning saqlanish qonunining natijasi)

$$\sum \quad \quad \quad (6.13)$$

Yig'indi olinayotganda tugunga kirayotgan toklarning ishorasi (odatda "+") undan chiqayotgan toklarning ishorasiga ("-") qarama-qarshi qilib olinadi.

II qoida: Tarmoqlangan zanjirdagi istalgan konturini aylanib o'tishda, shu zanjir qarshiliklaridagi kuchlanishlarning yig'indisi I

konturdagi EYUK larning algebraik yig'indisiga teng (o'zgaras tokni hosil qiluvchi maydonning potentsialligi natijasi):



6.3. rasm. Tarmoqlangan zanjirga misol

$$\sum \quad \sum$$

Bu formulalardan foydalanish uchun, avvalo, zanjirning har bir tarmog'ida tokning yo'nalishini tanlab olish kerak. Bu amalni ixtiyoriy tarzda bajarish mumkin (toklarning haqiqiy yo'nalishi masala javobida ulaning ishorasi orqali aniqlanadi).

Har bir konturni aylanib chiqish yo'nalishini ixtiyoriy tarzda tanlash mumkin: yuqorida ta'kidlanganidek, bunday tanlash natijasida tenglamalar mohiyati o'zgarmaydi. (6.14) da ishoralarni belgilash qoidasi yuqorida keltirilgan to'la zanjir uchun Om qonunidagidek bo'ladi.

6.3. rasmda tarmoqlangan zanjir misol sifatida keltirilgan. Ixtiyoriy tanlangan toklarning yo'nalishlari strelkalar bilan, aylanish yo'nalishlari esa punktir chiziq bilan belgilangan.

Ushbu hol uchun Kirxgof tenglamalari (6.13), (6.14) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\left\{ \begin{array}{l} I \end{array} \right.$$

Bu tenglamalar sistemasini echib javobni topamiz:

Kirxgof tenglamalarini tuzishda quyidagilarni nazarda tutish lozim: (6.13) va (6.14) turdagi mustaqil tenglamalarning to'liq soni no'malum toklarning soni N ga teng bo'ladi. Tuzish mumkin bo'lgan tenglamalarning umumiy soni o'zgaruvchilar sonidan ko'proq bo'ladi, chunki aks holda tenglamalar mustaqil bo'lmaydi. 1) Tarmoqlangan zanjirda tugunlar soni m bo'lsa tok uchun (6.3) turdagi mustaqil tenglamalar soni $m-1$ bo'ladi.

2) (6.14) turdagi yangi mustaqil tenglamalarni faqatgina shunday konturlar uchun olish mumkinki, ularda ko'rib chiqilgan konturlar ishtirok etmasligi lozim. (6.14) turdagi mustaqil tenglamalarning umumiy soni $N-m-1$ ga teng bo'ladi. Agar tekislikda zanjirimiz sxemasini o'tkazgichlarning kesishmalarisiz tasavvur qilsak, bunda mustaqil tenglamalar soni o'tkazgichlar sxemani necha bo'lakka bo'lsa shuncha bo'ladi. Masalan, 6.3. rasmdagi sxemada bunday bo'laklar soni ikkita va ikkita konturni aylanib chiqish uchun mos ravishda mustaqil tenglamalar soni ham ikkita. Uchinchi tenglamani kontur perimetri bo'yicha aylanib chiqishdan hosil qilsa bo'ladi, lekin bu tenglama mustaqil hisoblanmaydi, chunki u yuqoridagi ikki tenglamalarning yig'indisi yoki ayirmasi hisoblanadi.

Kontur toklari usuli. Kirxgof qoidalari qo'llanilishining qulay usullaridan biri kontur toklar usulidir. Unda sxemada ajratib olingan konturga bitta kontur toki mos kelib, butun kontur bo'yicha bir xil bo'ladi. Kirxgof tenglamalari (6.14) o'z ko'riishini saqlaydi, ammo bir necha (m) konturga kiruvchi har bir R_i dagi kuchlanish shu joydan o'tuvchi to'la tok I_i orqali ifodalanadi. O'z navbatida bu I_i tok shu joydan o'tuvchi toklarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\sum \quad \sum (\pm \quad), \quad \sum ($$

Kontur toklarini kiritish tugunlar uchun (6.13) tenglamalarni avtomatik ravishda qanoatlantiradi. Aslida ular kerak bo'lmay qoladi va bu tarkibida tugunlari ko'p bo'lgan zanjirlarni hisoblashda juda qulaydir. Ishoralarni qo'yish qoidalari o'zgarmaydi.

6.3 rasmda keltirilgan sxema uchun kontur toklar usuli quyidagi ikki tenglamani (tokning tanlangan yo'nalishi va konturni aylanish usuli bilan mos ravishda) beradi:

{

bu erda R_3 dan ikkala konturdan o'tuvchi toklar o'tishi hisobga olingan. Albatta, bu tenglamalar sistemasi shu kontur uchun yuqorida keltirilgan boshqa tenglamalar sistemasi bilan ekvivalentdir.

7. STACIONAR TOKNING VAKUUMDAGI MAGNIT MAYDONI

Magnitostatik maydon. Harakat qilayotgan har qanday zaryad o'z atrofidagi fazoda elektrik maydondan tashqari yana magnit maydonni hosil qiladi. O'zgarmas (statsionar) toklar yoki tinch turgan magnit hosil qilgan magnit maydoniga magnitostatik maydon deyiladi. Bunday maydonning xarakteristikalarini vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Boshqa tarafdin, tashqi magnit maydonga joylashtirilgan harakatlanuvchi zaryadga shu maydon tarafdin qandaydir kuch ta'sir qiladi.

Chiziqli tok elementi – agar tok kuchi I bo'lgan elektr toki cheksiz ingichka (fizik ma'noda) o'tkazgichdan o'tsa, uni chiziqli tok deb ataymiz. Bu holda, o'tkazgichning dl elementidan o'tayotgan elementar tok haqida gapirish mumkin. Idl kattalik chiziqli tok elementi deb ataladi. Bu erda dl vektorning yo'nalishi o'tkazgichdagi tokning yo'nalishi bilan ustma-ust tushadi. Chiziqli tokning har bir elementi o'z magnit maydonini hosil qiladi.

Magnit doimiysi – xalqaro birliklar sistemasida (SI) $\mu_0 \equiv 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m}$ ga teng (tenglik aniq), $\epsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$, bu yerda c – yorug'likning vakuumdagi tezligi.

Elementar chiziqli toklarning o'zaro ta'siri Amper kuchi $dF = I [d\mathbf{B}]$ orqali aniqlanadi: chiziqli tok elementi $I_1 dl_1$ tomonidan boshqa chiziqli tok elementi $I_2 dl_2$ ga ta'sir qiluvchi kuch quyidagiga teng:

$$= \frac{\mu_0 I_1 I_2 dl_1 dl_2 \cos \alpha}{4\pi r_{12}^2} \quad (7.1)$$

bu erda r_{12} – $I_1 dl_1$ tok elementi tomonidan $I_2 dl_2$ tok elementiga yo'nalgan vektor.

Tok elementlarining o'zaro ta'sirida Nyutonning uchinchi qonuni bajarilmaydi $d\mathbf{F}_{12} \neq -d\mathbf{F}_{21}$, biroq yopiq konturlarning o'zaro ta'siri uchun kuchlarning umumiy yig'indisida Nyutonning uchinchi qonuni o'rinlidir $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$.

Magnit maydon induksiyasi vektori B. Yaqindan ta'sir qilish prinsipiga ko'ra (elektrostatikadagi kabi), ikki tok elementining o'zaro ta'sirini quyidagicha tasvirlash mumkin: berilgan nuqtada $I_1 dl_1$ tok elementi shunday magnit maydonini hosil qiladiki, bu maydonning

kattaligi va yo'nalishi - **magnit maydon induksiyasi vektori $\mathbf{B}$** bilan xarakterlanadi.

$\mathbf{B}$ tok elementiga ta'sir etuvchi maksimal kuchga ((7.2) ga qarang) yoki tokli berk konturga ta'sir qiluvchi maksimal aylantiruvchi momentga proporsionaldir.

Magnit induksiyasining o'lchov birliklari – xalqaro birliklar sistemasida (SI) induksiyaning o'lchov birligi Tesla ($1\text{T} = \frac{N}{A \cdot m} = \frac{V \cdot s}{m^2}$) hisoblanadi. Gauss sistemasida esa magnit maydon induksiyasi Gauss larda o'lchanadi: $1\text{T} = 10^4\text{Gs}$.

Magnit maydon kuch chiziqlari – shunday chiziqki, maydonning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma shu nuqtadagi magnit maydon induksiyasi vektori $\mathbf{B}$ bilan ustma-ust tushadi. Magnit maydon kuch chiziqlari **magnit** maydonining uyurmaviy xarakterga ega ekanligi sababli yopiq ko'rinishda bo'ladi.

Amper qonuni: induksiyasi $\mathbf{V}$ bo'lgan tashqi maydonda chiziqli tok elementiga ta'sir etuvchi quyidagicha bo'ladi:

$$d\mathbf{F} = I [d\mathbf{l} \times \mathbf{B}] \quad (7.2)$$

Bio-Savar-Laplas qonuni: Idl tok elementi o'zidan r masofa naridagi nuqtada quyidagi magnit maydon induksiyasi vektorini hosil qiladi:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{[d\mathbf{l} \times \mathbf{r}]}{r^3} \quad (7.3)$$

Chiziqli tok hosil qilayotgan umumiy maydon induksiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{[d\mathbf{l} \times \mathbf{r}]}{r^3} \quad (7.4)$$

Hajmiy zichligi $\mathbf{j}$ bo'lgan toklar uchun esa:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{[\mathbf{j} \times \mathbf{r}]}{r^3} dV \quad (7.5)$$

Superpozitsiya prinsipi – magnit maydonini hosil qiluvchi bir necha manbalarning umumiy magnit maydon induksiyasi shu

maydonlarni hosil qiluvchi manbalar maydon induksiylarining vektor yig'indisiga teng:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B} \quad (7.6)$$

Lorens kuchi: $\mathbf{v}$ tezlik bilan elektromagnit maydonda harakatlanayotgan nuqtaviy zaryadga ta'sir etuvchi kuch:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q[\mathbf{v}\mathbf{B}]. \quad (7.7)$$

L Berk kontur bo'yicha **A vektorning sirkulyasiyasi** – quyidagi ko'rinishdagi integraldir:

$$\oint$$

A vektor funksiyani rotatori – shunday vektorki, uning musbat $\mathbf{n}$ yo'nalishiga ($\mathbf{n}$ normal vektorining musbat yo'nalishi va konturni aylanib o'tish yo'nalishi o'zaro o'ng parma qoidasi orqali bog'langan) nisbatan proeksiyasi A vektorning cheksiz kichik L kontur bo'yicha sirkulyasiyasining shu kontur bilan chegaralangan ΔS yuzasiga nisbatining limitiga teng:

$$\text{rot}_n \mathbf{A} = -\oint$$

Ortlari $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ bo'lgan dekart koordinatalar sistemasida **A** vektor rotorini quyidagi determinant ko'rinishida tasvirlash qulay:

$$\text{rot} \mathbf{A} = [\nabla \mathbf{A}] = \begin{vmatrix} - & - & - \\ - & - & - \\ - & - & - \end{vmatrix}$$

Stoks teoremasi: A vektorning istalgan L kontur bo'yicha sirkulyasiyasi A vektor rotorining shu L kontur bilan chegaralangan istalgan yuza orqali o'tuvchi oqimiga tengdir (kontur bo'yicha olinadigan integral yuza bo'yicha olinadigan integralga aylantiradi):

$$\oint_L \mathbf{A} d\mathbf{l} = \oint_S \quad (7.8)$$

(2- bobning nazariy materiallariga (2.7) –(2.10) qarang).

Magnit maydon induksiya vektori sirkulyasiyasining integral ko'rinishi (to'la tok qonuni):

$$\oint_L \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 I \quad (7.9)$$

bu erda $I - L$ kontur qamrab olgan to'la tok. Konturni aylanib o'tish yo'nalishi va tokning ishorasi o'ng vint qoidasi orqali aniqlanadi.

Vakuumdagi statsionar tokning magnit maydoni uchun differensial tenglamalar:

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0; \quad (7.10)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j}. \quad (7.11)$$

(7.11) tenglama to'la tok (7.9) qonunining differensial ko'rinishidir.

(7.10) va (7.11) tenglamalar stasionar tokning vakuumdagi magnit maydoni uchun Maksvelning tenglamalar sistemasini tashkil etadi.

Magnit maydonining uyurmaviy xarakteri: (7.12) tenglamaga mos keluvchi integral tenglama quyidagi ko'rinishga ega:

$$\oint_S \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0 \quad (7.12)$$

Buning ma'nosi shuki, magnit maydonining manbai bo'lgan "magnit zaryadlari" tabiatda mavjud emas. Biror $\mathbf{A}$ vektorning uyurmaviy xarakterda bo'lishining matematik sharti $\operatorname{div} \mathbf{A} = 0$ bo'lishidir. Uyurmaviy maydonlarning kuch chiziqlari doimo berk bo'ladi. $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$ bo'lgani sababli magnit maydoni uyurmaviy xarakterga ega.

Vektor magnit potentsiali: $\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$ va $\operatorname{div} (\operatorname{rot} \mathbf{A}) \equiv 0$ bo'lganligi sababli shunday $\mathbf{A}$ vektor mavjudki uning uchun quyidagi tenglik o'rinni va bu vektor "vektor magnit potentsiali" deb ataladi:

$$\mathbf{B} = \operatorname{rot} \mathbf{A}; \quad (7.13)$$

Magnit maydonining $I d\mathbf{l}$ tok elementi tomonidan hosil qilingan vektor magnit potentsiali quyidagiga teng:

$$dA = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} d\mathbf{l}$$

Vektor magnit potentsialining kalibrovkasi. $\mathbf{A}$ vektor magnit potentsialining qiymatini (xuddi skalyar elektr maydon potentsiali ϕ kabi) aniq topish mumkin emas ($\operatorname{rot} (\operatorname{grad} f) \equiv 0$ bo'lgani sababli

ixtiyoriy funksiyaning gradienti aniqligida topiladi). Bunday noaniqlikni potensialga qo'shimcha shartlar – kalibrovka shartlari deb ataladigan qo'shimcha shartlar qo'yish bilan bartaraf qilish mumkin:

- 1) Kulon kalibrovkasi (magnitostatik masalalar uchun):

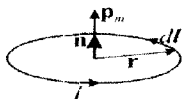
$$\operatorname{div} \mathbf{A} = 0; \quad (7.14)$$

bu holda $\mathbf{A}$ vektor quyidagi tenglamani qanoatlantiradi

$$\Delta \mathbf{A} = -\mu_0 \mathbf{j}.$$

- 2) Lorens kalibrovkasi (dinamik masalalar uchun):

$$\operatorname{div} \mathbf{A} + \frac{1}{c} \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0. \quad (7.15)$$



7.1. Rasm. Tokli yassi aylanma konturning magnet momenti

Ikki muhit chegarasida $\mathbf{A}$ vektor magnet potensialining tangensial komponentasi uzluksizdir.

Yuzasi S bo'lgan va I tok o'tayotgan yassi chiziqli konturning magnet momenti quyidagicha

aniqlanadi:

$$\mathbf{p}_m = IS \mathbf{n} \quad (7.16)$$

bu erda $\mathbf{n}$ – kontur yuzasiga nisbatan musbat yo'nalishda bo'lgan normal (7.1. rasm).

Elektr tokining magnit momenti – vektor kattalik bo'lib quyidagi munosabatlar orqali aniqlanadi:

$$\mathbf{p}_m = \frac{1}{2} \int_V [\mathbf{r} \mathbf{j}] dV \quad \text{zichligi } \mathbf{j} \text{ bo'lgan hajmiy tok uchun} \quad (7.17)$$

$$\mathbf{p}_m = \frac{1}{2} \int_S [\mathbf{r} \mathbf{i}] dS \quad \text{zichligi } \mathbf{i} \text{ bo'lgan sirtiy tok uchun,} \quad (7.18)$$

$$\mathbf{p}_m = \frac{1}{2} I \int_L [\mathbf{r} d\mathbf{l}] \quad I \text{ chiziqli tok uchun,} \quad (7.19)$$

bu erda $\mathbf{r}$ – sanoq boshidan tok elementigacha bo'lgan radius-vektor. Tutash toklar sistemasining magnet momenti sanoq boshining tanlanishiga bog'liq emas.

(7.19) ifodadan foydalanib radiusi R bo'lgan va I tok o'tayotgan yassi chiziqli aylanma konturning magnet momenti (7.16) ni osongina aniqlash mumkin (7.1 rasm):

$$\mathbf{p}_m = \frac{1}{2} I \int_L [\mathbf{r} d\mathbf{l}] = \frac{1}{2} I \int$$

yoki istalgan yassi chiziqli kontur uchun:

$$\mathbf{p}_m = \frac{1}{2} I \int_L [\mathbf{r} d\mathbf{l}] = I n \int$$

bu erda $\frac{1}{2} [\mathbf{r} d\mathbf{l}] = \mathbf{r} \wedge d\mathbf{l} = n d\mathbf{S}$ - $d\mathbf{l}$ yoyga mos keluvchi elementar sektor yuzasi.

Magnit dipoli: agar biror tok elementi bilan uning biror nuqtada hosil qilgan magnit maydoni orasidagi masofa r bo'lsa va bu masofa shu tok elementining chiziqli o'lchamlari l dan ancha katta bo'lsa, bunday tok elementini magnit dipoli deb atashadi. **Magnit dipolining magnit maydon induksiya vektori** quyidagiga teng:

$$\mathbf{B} = - \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\mathbf{p}_m \times \mathbf{r}}{r^3} + \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\mathbf{p}_m \cdot \mathbf{r}}{r^3} \mathbf{r} \right). \quad (7.20)$$

Bu formula nuqtaviy zaryad dipolining elektr maydon kuchlanganligi ifodasi (1.4) ga shakl jihatidan o'xshaydi. $r \rightarrow 0$ bo'lganida yuqoridagi ifoda asimptotik aniq bo'ladi va magnit dipoli nuqtaviy deb ataladi. Agar $\mathbf{r}$ vektor $\mathbf{p}_m$ vektor bilan yo'nalishdosh bo'lsa, u holda $(\mathbf{p}_m \cdot \mathbf{r}) \mathbf{r} = p_m r^2$ bo'ladi va dipol o'qidagi magnit maydon induksiya quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\mathbf{p}_m \cdot \mathbf{r}}{r^3} \mathbf{r} \quad (7.21)$$

8. ELEKTROMAGNIT INDUKCIYA, O'ZINDUKCIYA VA O'ZARO INDUKCIYA KOEFFICIENTLARI

Magnit maydon indukciyasi B ning biror S yuza orqali o'tadigan oqimi deb quyidagi integralga aytiladi:

$$\Phi = \int dS \quad (8.1)$$

dS vektori dS elementar yuzaga modul bo'yicha teng va shu yuzaga nisbatan n normal bo'yicha yo'nalgan. Ishoralarni to'g'ri qo'yish maqsadida, 8.1 rasmda ko'rsatilgani kabi, n normal yo'nalishi va konturni aylanish yo'nalishini o'ng vint qoidasi orqali aniqlanadi.

Xalqaro birliklar tizimi sistemasida magnit oqimining birligi **Veber** ($Vb = Tl \cdot m^2$) hisoblanadi.

Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni magnit va elektr hodisalar o'rtasidagi dinamik aloqani o'rnatadi.

Elektromagnit induksiya qonunining integral ko'rinishi:

Istalgan L konturda hosil bo'ladigan ε elektromagnit induksiya EYUK shu konturning S yuzasi orqali o'tuvchi F magnit maydon oqimining o'zgarish tezligiga proporcional:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (8.2)$$

(8.2) ifodadagi minus ishorasi, o'tkazgichdagi EYUK ta'sirida hosil bo'ladigan tok o'zining magnit maydoni bilan o'zini yaratgan boshlang'ich magnit maydoniga qarama-qarshi ta'sir qilishini bildiradi (**Lenc qoidasi**).

Elektromagnit induksiya EYUK ning hosil bo'lishini elektromagnit maydonda zaryadga ta'sir qiluvchi Lorents kuchining bajargan ishi (7.7) bilan tushuntirsa bo'ladi:

$$F = qE + q[vB]$$

bu erda v - zaryadning harakatlanish tezligi. Turli fizik holatlarda va turli sistemalarda bu kuch faqatgina elektr tashkil etuvchisi (yig'indidagi birinchi had) yoki faqat magnit tashkil etuvchisi (yig'indidagi ikkinchi had), yoxud har ikkalasining yig'indisi ko'rinishida kelishi mumkin.



8.1 rasm Yassi konturga normal o'tkazgan vektorning yo'nalishini aniqlash

$F(t)$ oqim ikki xil sababga ko'ra o'zgarishi mumkin, bu sabablar bir paytning o'zida ham ta'sir etishi mumkin. Sabablar quyidagicha

1) Magnit maydon induktsiyasi $\mathbf{B}$ o'zgarmas, oqim $F(t)$ o'tkazgichlarning harakati tufayligina o'zgaradi, masalan, konturning deformatsiyasi yoki uning $\mathbf{B}$ vektorga nisbatan siljishi;

2) O'tkazuvchi konturimiz harakatsiz, $F(t)$ ning o'zgarishi $\mathbf{B}$ vektorning qiymati va yo'nalishining o'zgarishi hisobiga bo'ladi.

Birinchi holda induksiya EYUK Lorents kuchining magnit tashkil etuvchisi o'tkazgich bilan birgalikda harakat qilayotgan zaryadlarga ta'sir qilishi natijasida paydo bo'ladi:

$$\mathbf{F} = q[\mathbf{vB}],$$

Berk zanjirda bu tashqi kuch induksiya EYUK ni hosil qiladi:

$$\varepsilon = \frac{1}{q} \oint \mathbf{F} d\mathbf{l} = \oint [\mathbf{vB}] d\mathbf{l}. \quad (8.3)$$

Ushbu integral (8.2) ifodaga keltiriladi [1, § 44].

Agar o'tkazgich bilan birga harakat qiluvchi sanoq sistemasini kiritsak, unda zaryadlar harakat qilmaganligi sababli Lorenc kuchining magnit maydon tashkil etuvchisi paydo bo'lmaydi. Bunda induksiya EYUK ning paydo bo'lishini – harakatlanuvchi sanoq sistemasida elektrostatik maydonning paydo bo'lishi bilan tushuntirishi mumkin. Yorug'lik tezliklariga nisbatan ancha kichik tezliklar uchun bu maydonni [1, § 11] quyidagicha yozamiz:

$$\mathbf{E} = [\mathbf{vB}], \quad (8.4)$$

Bu holda EYUK Lorents kuchining elektrostatik tashkil etuvchisining bajargan ishi hisobiga paydo bo'ladi. Bu esa (8.3) ifodaga olib keladi.

Ikkinchi holda esa induksiya EYUK ning paydo bo'lishi fazoda $\mathbf{B}(t)$ magnit maydonining o'zgarishi tufayli paydo bo'ladigan uyurmali $\mathbf{E}_{uyur}$ elektr maydonining hosil bo'lishi bilan tushuntiriladi. $\mathbf{E}_{uyur}$ ning elektrostatik maydondan farqi uning potentsial emasligi va elektr zaryadi yo'q joyda ham paydo bo'la olishidadir. $\mathbf{E}_{uyur}$ va $\mathbf{B}(t)$ orasidagi lokal bog'lanish, Maksvell elektrodinamikasining

asosiy to'rt tenglamalari sistemasiga kiruvchi (8.5) ifoda bilan aniqlanadi.

Elektromagnit induksiya qonunining differencial ko'rinishi

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt} \quad (8.5)$$

Stoks teoremasidan (7 bob (7.8)) foydalanib, L berk konturdagi uyurmaviy elektr maydoni hosil qilgan EYUK ni (8.2) ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Shunday qilib, (8.2) integral ifoda universal bo'lib, EYUK paydo bo'lishining har ikkala variantini hisobga oladi, hattoki ikkala ta'sir bir paytda yuz bersa ham.

Chiziqli o'tkazuvchan konturning induktivligi (o'zindukciya koefficienti) – konturdan o'tayotgan I tok kuchi istalgan yuzada hosil qilgan magnit oqimi $F(I)$ bilan shu tok orasidagi L proporcionallik koefficientiga proporcional

$$F(I) = LI \quad (8.6)$$

Induktivlikning kattaligi, vakuumda, faqatgina konturning shakli va o'lchamlariga bog'liq va doim musbat ishorali bo'ladi.

Uning SI sistemasidagi o'lchami *genri* (Gn) deb ataladi.

Tokli chiziqli konturning magnit maydon energiyasi:

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \quad (8.7)$$

Ixtiyoriy o'tkazuvchan konturning induktivligi $W = \frac{1}{2} LI^2$ ifodadan aniqlanadi.

Chiziqli L_{ij} konturlarning o'zaro induksiya koeffetsienti deb i - konturdan oquvchi I_i tok bilan shu tokning j - konturda hosil qilgan F magnit maydon oqimi orasidagi proporsionallik koeffetsientiga aytiladi:

(8.8)

ning kattaligi konturlarning shakli, o'lchamlari va o'zaro joylashishiga bog'liq. L_{ij} ning ishorasi konturlarning o'zaro joylashuvi va ulardan o'tayotgan toklarning yo'nalishiga qarab musbat yoki manfiy bo'lishi mumkin. Vakuumda yoki magnit qabul qiluvchanligi chiziqli bo'lgan muhitlarda (dia- va paramagnetiklar) o'zaro indukciya koeffitsienlari indeksleri bo'yicha simmetrik bo'ladi (o'zarolik teoremasi [1, §47]).

(8.9)

Tokli konturlar sistemasining magnit maydon energiyasi

$$-\sum \quad (8.10)$$

Bu energiyani ikki qismga ajratish mumkin

$$-\sum \quad -\left(\sum \cdot\right)$$

Ifodaning birinchi xadi konturlarning o'z energiyalari yig'indisi bo'lsa, ikkinchi xadi konturlarning o'zaro ta'sir energiyalari yig'indisidir. Bu energiya musbat ham, manfiy ham bo'lishi mumkin. Lekin to'liq energiya har doim musbat bo'ladi.

Ixtiyoriy konturlarning o'zaro indukciya koeffitsienti ularning o'zaro ta'sir energiyasi orqali aniqlanadi

9. MAGNITOSTATIKADA ENERGIYA VA KUCHLAR

Amper qonuni – induksiyasi B bo'lgan magnit maydonga kiritilgan I tokli $d\mathbf{l}$ o'tkazgich elementiga ta'sir qiluvchi kuch quyidagicha teng:

$$d\mathbf{F}=I d [\mathbf{lB}] \quad (9.1)$$

Tashqi B maydonda magnit momenti ga teng bo'lgan nuqtaviy dipolga ta'sir qiluvchi kuch ([2], §56) quyidagicha bo'ladi:

$$\mathbf{F}=(\mathbf{p} \nabla) \mathbf{B}=\nabla(\quad)=\left(p \quad\right)+\left(p \quad\right)+\left(p \quad\right) \quad (9.2)$$

Tashqi B maydonda magnit dipolga ta'sir qiluvchi kuch momenti:

$$\mathbf{M}=[\mathbf{p} \mathbf{B}]. \quad (9.3)$$

Tashqi B maydonda magnit dipolning energiyasi

$$W=-\left(\mathbf{p}_m \mathbf{B}\right) \quad (9.4)$$

Induktivligi L bo'lgan chiziqli konturdan I tok o'tganida unda hosil bo'ladigan magnit maydon energiyasi:

$$W=- \quad - \quad (9.5)$$

bu erda F – kontur orqali o'tuvchi magnit maydon oqimi.

toklar o'tayotgan ikki kontur hosil qilgan magnit maydon energiyasi:

$$\quad - \quad - \quad (9.6)$$

bu erda –birinchi konturning induktivligi, L_2 – ikkinchi konturning induktivligi, –ularning o'zaro induksiya koeffisienti. Energiya additiv kattalik bo'lmaydi, chunki yuqoridagi ifodada –konturlarning o'zaro ta'sir energiyasi ishtirok etadi.

Magnit maydonida joylashgan tokli o'tkazgichlar sistemasi konfiguratsiyasining cheksiz kichik o'zgarishida bajarilgan **mexanik ish**:

$$\delta A_{lash} = \sum_i I_i dF_i = dW + \delta A, \quad (9.7)$$

bu erda $\delta A_{lash} = \sum_i I_i dF_i$ - tashqi kuchlar bajargan ishning ortirmasi (tok manbaining EYUK). Bu kuchlar i -konturda elektromagnit induksiya EYUK lariga qarshi yo'nalgan, dW - sistemaning magnit energiyasi o'zgarishi, δA - sistemaning konfiguratsiyasi juda kichik o'zgarishga duch kelganida pondemotor kuchlarning mexanik ishi.

Ikki xususiy holni ko'rib chiqaylik: 1) sistemaning o'tkazgichlaridan o'tayotgan magnit maydon oqimi o'zgarmaydi ($F_i = const$); 2) o'tkazgichlardagi tok kuchi o'zgarmaydi ($I_i = const$). Bu hollarda (9.7) ifoda mos ravishda quyidagi ko'rinishga keladi ([1], §47):

$$\delta A = -\delta W \big|_{F_i = const} \quad (9.8)$$

$$\delta A = +\delta W \big|_{I_i = const} \quad (9.8')$$

(elektrostatik maydon uchun keltirilgan shu turdagi (5.6) va (5.8) ifodalar bilan solishtiring). Birinchi holda mexanik ish sistemaning magnit energiyasi kamayishi hisobiga bajariladi. Ikkinchi holda esa bajarilgan ish va unga teng bo'lgan magnit energiyasining oshishi tok kuchini o'zgarmas holda ushlab turuvchi EYUK manbalarining bajargan ishi hisobiga yuzaga keladi.

(9.8) va (9.8') ifodalardan pondemotor kuchlarni aniqlashda foydalanish qulay. Albatta, ikkala ifoda ham bir kuchning ishini aniqlaydi. Bu kuchning kattaligi faqatgina oqayotgan toklarning o'zaro joylashishi va ularning kattaligiga bog'liq bo'lib, hisoblash yo'liga bog'liq emas.

Vakuumdagi magnit maydon energiyasining zichligi

$$w = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (9.9)$$

Vakuumdagi magnit maydon energiyasi

$$W = \int_V w dV = \int_V \frac{B^2}{2\mu_0} dV \quad (9.10)$$

bu erda V -magnit maydoni bor bo'lgan fazoning bir qismi.

Ikki muhit chegarasiga ta'sir etuvchi bosim – ikki muhitdagi maydon zichliklari w_1 va w_2 orasidagi farqqa teng

$$p = w_1 - w_2 \quad (9.11)$$

10. O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRLARI

Majburiy elektr tebranishlari. Agar elektr zanjirimiz tarkibida bitta (yoki bir nechta) EYuK bo'lsa va ularning kattaligi davriy qonun bo'yicha o'zgarsa, zanjirdagi o'tish jarayonlaridan so'ng zanjirda majburiy elektr tebranishlari o'rnatiladi. Bu tebranishlarning xarakteri zanjirga ulangan EYuK larning o'zgarish qonunlari bilan belgilanadi. Biz faqatgina qiymati quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgaradigan EYuK larni ko'rib chiqamiz:

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (10.1)$$

Majburiy tebranishlar holida zanjir tenglamasi

$$L \frac{di}{dt} + Ri = E_m \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (10.2)$$

Bu yerda X – aniqlanishi lozim bo'lgan kattalik (zaryad, kuchlanish yoki tok kuchi), F_0 – amplituda. Amplituda tashqi ta'sir qilayotgan kuchga proporsional bo'lib, umuman olganda, chastota va zanjir parametrlariga bog'liq ekan. Bu bir jinsli bo'lmagan tenglamaning yechimi, II bobdagi (11.16) bir jinsli tenglamaning umumiy yechimlari yig'indisiga teng bo'ladi

$$X(t) = A \cos(\omega t + \varphi). \quad (10.3)$$

bu yerda ω_c – konturning xususiy tebranishlar chastotasi va quyidagi bir jinsli bo'lmagan tenglamaning xususiy yechimi:

$$X(t) = A(\omega) \cos(\omega t + \varphi(\omega)), \quad (10.4)$$

bu yerda $A(\omega)$ – majburiy tebranishlar amplitudasi, $\varphi(\omega)$ – izlanayotgan kattalik tebraishlari bilan manba signalining tebranishlari orasidagi faza siljishi.

Vaqt o'tishi bilan (10.3) erkin tebranishlar so'nadi va biz bundan keyin ko'radigan barqarorlashgan rejimda, garmonik tebranishlar (10.4) sodir bo'la boshlaydi.

O'zgaruvchan tok zanjirlari – tarkibida garmonik qonun bo'yicha (bundan keyin tashqi EYuK manbasining chastotasini ω belgisi bilan belgilaymiz) o'zgaradigan bitta (yoki ko'proq) EYuK manbasi bo'lgan elektrik zanjirlar

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Zanjir elementlarining hammasi (rezistorlar, kondensatorlar, induktivliklar) vaqt o'tishi bilan o'z parametrlarini o'zgartirmaydi deb hisoblaymiz. Ko'rib chiqilayotgan vaqtga kelib o'tish proseslari tugagan va butun zanjir yoki uning qismlaridagi $X_i(t)$ kattaliklar, ya'ni tok, kuchlanish va zaryadlar garmonik qonun bo'yicha o'zgaradi deb faraz qilinadi:

bu yerda A_i -amplituda, φ_i -o'lchanayotgan kattalikning tebranishlari bilan manba signali tebranishi fazalari orasidagi siljish. Jarayon rejimi stasionar bo'lgani sababli amplituda va fazalar vaqtga bog'liq bo'lmaydi, lekin ular zanjirning turli elementlarida turli qiymatga ega bo'lishi mumkin. Tebranishlar chastotasi ω zanjirning hamma elementlarida bir xil bo'lib manba chastotasi bilan mos tushadi. Umuman olganda, o'zgaruvchan toklar garmonik bo'lmاسligi ham mumkin. Biroq, "o'zgaruvchan tok" iborasida biz faqat garmonik (sinusoidal) toklarni nazarda tutamiz.

Kvazistasionar yaqinlashish. O'zgaruvchan tok zanjirlarini analiz qilganda, kontur bo'yicha tarqaladigan elektromagnit to'lqinning kechikishi nazarga olinmaydi. Buning uchun o'lchamlari elektromagnit to'lqin uzunligidan ancha kichik bo'lishi kerak. Kvazistasionar yaqinlashuv o'zgarmas tok zanjirlari tenglamalarini o'zgaruvchan tok zanjirlariga qo'llash imkoniyatini beradi.

O'zgaruvchan tokning chiziqli zanjirlarini hisoblash va analiz qilishda odatda ikki usul qo'llaniladi: kompleks amplitudalar usuli va vektor diagrammalari usuli.

Kompleks amplitudalar usuli. Bu Eyler formulasiga asoslangan, istalgan chiziqli o'zgaruvchan tok zanjirlarini hisoblash usulidir

Bu usulda $A \cos(\omega t - \varphi)$ ko'rinishda garmonik o'zgaradigan hamma kattaliklar (ya'ni toklar, kuchlanish va EYuK) mos ravishda kompleks o'zgaruvchi bo'lgan A kattaliklarga almashtiriladi, bu yerdagi $\hat{A}$ kattalik kompleks amplituda deb ataladi (bunday keyin kompleks amplituda " $\hat{A}$ " belgisi bilan belgilanadi). Kompleks amplituda $\hat{A}$ ning moduli real fizik kattalikning amplitudasi A ga teng bo'lib, $e^{i\varphi}$ kompleks eksponentaning argumenti φ fazani belgilaydi.

Majburiy statsionar tebranishlar chastotasi chiziqli zanjirning hamma qismlarida bir xil bo'lganligi sababli, echimni $\hat{A} e^{i\omega t}$ ko'rinishda qo'llanilganda, hamma tenglamalardagi $e^{i\omega t}$ ko'paytma qisqarib, chiziqli algebralik tenglamalar uchun faqatgina $\hat{A}_i$ kompleks amplituda qoladi.

Kompleks amplitudalar usulining qulayligi shundaki, chiziqli zanjirlarni hisoblashda, eksponenta bilan o'tkaziladigan chiziqli amallar sinus yoki kosinus bilan o'tkaziladigan amallarga qaraganda ancha sodda bo'ladi. Masalan, vaqt bo'yicha n -hosilani olish amali oddiygina kompleks amplitudani $(i\omega)^n$ ga ko'paytirish amaliga olib keladi. Buning natijasida chiziqli differensial tenglamalar oddiy algebralik tenglamalarga aylanadi.

Kompleks ko'rinishdagi hisoblardan so'ng real kattaliklarga o'tishda, $\hat{A}$ kompleks yechimning haqiqiy qismi olinadi.

$\hat{A}$ yechimning mavhum qismi ham xuddi shu natijaga olib keladi, faqatgina bu yechim $A \cos(\omega t + \varphi')$ ko'rinishda bo'lib bu erdagi φ' fazaning qiymati boshqa bo'ladi. Masala javobining ko'rinishi boshlang'ich shartlarga bog'liq bo'lib printsiplial ahamiyatga ega emas Chiziqli bo'lmagan amallar bajarilganida (masalan, darajaga ko'tarish va x.k.) ω chastotaga karrali turli boshqa hadlar paydo bo'lib, kompleks amplitudalar usuli o'z afzalligini yo'qotadi. Bunday hollarda, masalan quvvatni hisoblashda, real o'zgaruvchilardan foydalanish zarur.

Kompleks o'zgaruvchilarda zanjirning bir qismi uchun Om qonuni.

$$\hat{U} = \hat{Z} \hat{I} \quad (10.5)$$

bu erda $\hat{U}$ —zanjirning bir qismidagi kompleks kuchlanish, $\hat{Z}$ —zanjirning bir qismi kompleks qarshiligi, $\hat{I}$ —kompleks tokning amplitudasi.

Zanjir elementlarining kompleks qarshiligi

Rezistor: aktiv qarshilik

$$\hat{Z} \quad (10.6)$$

R- qarshilikning chastotaga bog'liq bo'lmagan haqiqiy qismi. Rezistorda tok va kuchlanish faza bo'yicha ustma-ust tushadi

$$\widehat{U}_R = R \widehat{I}_R$$

Induktivlik g'altagi: induktiv qarshilik

$$\widehat{Z}(\omega L, \quad (10.7)$$

bu erda L - g'altakning induktivligi. Induktivlikdagi kuchlanish undagi tokdan faza bo'yicha $\pi/2$ ga oldinroq yuradi

$$\widehat{U}_L = i\omega L \widehat{I}_L = \omega L \widehat{I}_L e^{+i\pi/2}$$

Kondensator: sig'im qarshilik

$$\widehat{Z}(\quad \text{---} \quad (10.8)$$

Kondensatordagi kuchlanish faza bo'yicha tokdan ($\pi/2$) orqada qoladi:

$$\widehat{U} \quad \text{---} \quad \widehat{I}$$

Vektor diagrammalar usuli. Bu usulda zanjirdagi tok, kuchlanish va EYuK lar vektor ko'rinishga keltiriladi. Vektorning moduli amplitudaga teng. Vektorlar orasidagi burchak son qiymati jihatidan ular orasidagi fazalar farqiga teng. Odatda, bir vektorning yo'nalishi asosiy yo'nalish sifatida tanlanib, qolgan vektorlarning yo'nalishi unga nisbatan, ya'ni qolgan fazalar siljishiga qarab belgilanadi.

Vektor diagrammalar usulini kompleks amplitudalar usulining grafik ko'rinishi deb qarash mumkin. Chunki kompleks sonlar bu – kompleks tekislikdagi vektorlar bo'lib, ularga nisbatan qo'llaniladigan algebraik amallar (qo'shish, ayirish) vektorlar bilan bajariladigan grafik amallarga ekvivalentdir.

Vektorlar **qalin shrift** bilan, ularning absolyut qiymatlari esa *kursiv shrift* bilan belgilanishini eslatib o'tamiz.

Ketma-ket ulangan zanjirda boshlang'ich yo'nalish sifatida tok vektorining yo'nalishini, parallel ulangan zanjirda esa kuchlanish vektorining yo'nalishini tanlab olish qulaydir.

Rezistordagi kuchlanish vektori $\mathbf{U}_R = RI$ tok vektori $\mathbf{I}$ ga parallel bo'ladi (faza siljishi $\varphi = 0$).

Induktivlik va sig'imda aks ettirilgan kuchlanish vektorining moduli mos ravishda $\omega L I$ va $\frac{I}{\omega C}$ ga teng. vektor $\mathbf{I}$

vektorga nisbatan $+90^\circ$ ga (soat strelkasi yo'nalishiga qarshi) burilgan bo'lsa, U_C vektor 90° ga (soat strelkasi yo'nalishida) burilgan bo'ladi.

2.1. Elektr o'lchov asboblari va ularning xatoliklari

Absolyut aniq o'lchov asbobi yo'q, shuning uchun ham o'lchov asboblarning xatoliklari mavjud. Xatoliklar – absolyut, nisbiy va keltirilgan xatoliklarga bo'linadi.

Absolyut xatolik – bu o'lchov asbobining ko'rsatgan qiymati bilan uning haqiqiy qiymatlari orasidagi farqdir.

$$\Delta N = |N_o - N_n| \quad (1)$$

Nisbiy xatolik deb, absolyut xatolikni o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati nisbatiga aytiladi (ko'pincha bu % larda beriladi).

$$\varepsilon = \frac{\pm \Delta N}{N_n} 100\% \quad (2)$$

Keltirilgan xatolik – absolyut xatolikni o'lchov asbobning maksimum shkala qiymati nisbatiga teng (bu ham % larda) bo'lgan kattalikdir.

$$\gamma = \frac{\pm \Delta N}{N_{\max}} 100\% \quad (3)$$

O'lchov qurilmalarining aniqlik sohasi uning aniqlik klasslari bilan xarakterlanadi. Aniqlik klasslari :0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4. Aniqlik klassi (1), (2) va (3) ga binoan quyidagicha ifodalaniladi.

$$\text{—————} \quad (1^1)$$

$$\text{—————} \quad (2^1)$$

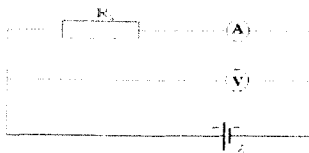
2.2. Ampermetr va voltmetr yordamida qarshiliklarni o'lchash

Elektr tokini o'lchaydigan asbobga ampermetr deyiladi. Bu asbob yordamida o'lchanadigan tokning miqdori 0,1 A dan kam bo'lsa uni milliampermetr deymiz; agarda tok qiymati 10^{-5} A dan kam bo'lsa

bunday asbobga mikroampermetr yoki galvanometr deyiladi. Ampermetrlar zanjirning biror qisminidan o'tayotgan elektr tokni bevosita o'lchaydi zanjir elementlariga doimo ketma – ket ulanadi.

Kuchlanishni, yoki elektr zanjirining biror qismidagi potensial tushishini o'lchash uchun voltmeter ishlatiladi. Voltmetr o'lchov asbobi bo'lib u kuchlanishni o'lchash lozim bo'lgan zanjirning qismiga paralell ulanadi.

Endi ampermetr va voltmeter yordamida noma'lum qarshilikni o'lchashni ko'rib chiqamiz. Buning uchun quyidagi (1 – rasm) elektr zanjiri tuziladi va o'lchashlar o'tkaziladi. Bu rasmda R_x -noma'lum qarshilik, V – voltmeter, A- ampermetr, ε -o'zgarmas tok manbai. Ampermetr va voltmeter yordamida noma'lum qarshilikni o'lchash bilvosita o'lchash usuli hisoblanadi.



1 – rasm.

Bizga aniqlik klassi 0,5 bo'lgan va eng ko'pi bilan 15 V kuchlanishni o'lchaydigan voltmeter, hamda aniqlik klassi 1 bo'lgan eng ko'pi bilan 0,5 A tokni o'lchay oladigan ampermetr berilgan bo'lsin. Faraz qilaylik o'lchash jarayonida voltmeter $U = 2 \text{ V}$ ni va ampermetr $I = 0,25 \text{ A}$ ni ko'rsatdi. U holda Ohm qonuniga asosan noma'lum qarshilik qiymatining:

$$R_x = \frac{U}{I} = \frac{2 \text{ B}}{0,25 \text{ A}} = 8 \Omega$$

ga tengligi kelib chiqadi. Endi kuchlanish va tokni o'lchashdagi voltmeter va ampermetrlarning xatoliklarini hisoblab qarshilikni o'lchashdagi nisbiy xatolikni aniqlaymiz.

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_x}{R_x} * 100\%$$

$$\Delta U = 0,5\% U_{\max} = 0,005 \cdot 15 = 0,075 \text{ B}$$

$$\Delta I = 1\% \cdot I_{\max} = 0,01 \cdot 0,5 = 0,005 \text{ A}$$

$$(R_x)_{\max} = \frac{U + \Delta U}{I - \Delta I} = \frac{2 + 0,075}{0,25 - 0,005} = 8,28 \Omega$$

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{R_{max} - R_x}{R_x} = \frac{49,28 - 48}{48} \cdot 100\% = 2,7\%$$

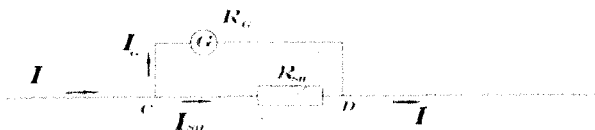
Demak, aniqlik klasslari yuqorida keltirilgan voltmetr va ampermetr yordamida bilvosita o'lchash usuli bilan hisoblangan qarshilik 2,7% aniqlikda o'lchangan ekan.

2.3. Shunt va qo'shimcha qarshiliklarni tanlash

Odatda galvanometrlar juda ham kichik bo'lgan toklarni, kuchlanishlarni va zaryad miqdorlarini o'lchashda ishlatiladi. Shu bilan birgalikda galvanometrlar katta toklarni va katta kuchlanishlarni o'lchash uchun ham ishlatilishi mumkin. Buning uchun ampermetrga parallel holda shunt qarshilik, voltmetrga esa qo'shimcha qarshilik ketma – ket ulanadi.

Shunt qarshilikni hisoblash. Quyidagi elektr sxemani ko'rib chiqamiz (2 – rasm).

Faraz qilaylik elektr tarmog'idan katta tok (I) kelayotgan bo'lsin. O'lchash asbobimiz galvanometr kichik tokga mo'ljallangan bo'lsin. 2 – rasmdan ko'rinadiki tarmoqdan kelayotgan tok C tugunda ikkiga ajraladi.



2 – rasm.

Bir qismi galvanometrda, qolgan qismi esa shunt qarshilik R_{sh} dan o'tadi. Shunt degani tarmoqlanish demakdir.

Elektr zanjirimiz murakkabdir. Shuning uchun ham tarmoqlangan murakkab zanjirga Kirxgof qoidalarini ishlatib, tegishli kattaliklarni topamiz. Birinchi qoida tugunlar uchun bo'lib, unda 2 – rasmdagi C tugun uchun Kirxgofni birinchi qoidasiga asosan quyidagini yozamiz:

$$I = I_g + I_{sh} \quad (4)$$

(D) tugun uchun esa C tugunning teskarisi bo'ladi.

Kirxgofning ikkinchi qoidasiga asosan har qanday yopiq zanjir uchun potensial tushishlar yig'indisi shu yopiq zanjirdagi E.Yu.K yig'indisiga teng. Bu qoidalarni ishlatganda ixtiyoriy yo'naltirilgan tok

yo'nalishlarini va E.Yu.K lar klemmlarining (+ yoki -) ishoralarini nazarga olish kerak. 2 – rasmdagi yopiq zanjir uchun ikkinchi qoidaga asosan :

$$I_g R_g - I_{sh} R_{sh} = 0 \quad (5)$$

(4) va (5) tenglamalardan :

$$I = I_g \left(\left(\frac{R_g}{R_{sh}} \right) + 1 \right) \quad (6)$$

Galvanometrning o'lchash chegarasini n marta oshirish kerak bo'lsa

$$I = I_g \cdot n \quad (7)$$

deb olamiz. (7) ni (6) ga qo'yib :

$$R_{sh} = \frac{R_g}{n-1} \quad (8)$$

ni olamiz. 2 – rasmda R_{sh} qarshilikni shunday tanlab olganda galvanometr shkalasining ko'rsatishi n – 1 marta ortgan tokni o'lchaydigan asbob bo'ladi. Masalan: Bizda shkalasi 100 bo'linga bo'lingan ichki qarshiligi 600 Ω va 100 μA tokni o'lchaydigan mikroampermetr o'lchov asbobimiz bor. Shu asbob yordamida tokni 0,3 A gacha o'lchash uchun ampermetr o'rnida ishlatmoqchi bo'lsak, sxemadagi shunt qarshiligini qancha tanlab olishimiz kerak. Bu berilganlarni hisobga olib 2 – rasimga yuqorida keltirilgan (6) - (8) formulalarga asosan:

$$n = \frac{I}{I_a} = \frac{0,3A}{100\mu A} = 300$$

$I_a = 100 \mu A$ (100 bo'linga og'sa shuncha tokni ko'rsatadi)

$$R_{sh} = \frac{R_a}{n-1} = \frac{600}{300-1} \approx 0,5 \Omega$$

Demak, to'liq shkalasi 100 μA lik asbobning har bo'limi 1 μA ni ko'rsatgan. Unga $R_{sh} = 0,5 \Omega$ lik shunt qarshilik ulangandan keyin o'sha milliampermetrning har bo'limi $3000 \cdot 10^{-6} A = 3 \cdot 10^{-3} A$ ni ko'rsatadi. Shunt qarshilik ulangandan keyin mikroampermetr milliampermetrga "aylandi".

Qo'shimcha qarshilikni hisoblash. Voltmetrning o'lchash chegarasini oshirish (katta kuchlanishlarni o'lchash) uchun voltmetrga

ketma – ket qo'shimcha qarshilik ulanadi. Quyidagi sxemani tuzamiz va uni analiz qilamiz (3 – rasm).

R_v – voltmetr ichki qarshiligi, R_q - voltmetr o'lchash chegarasi kengaytirish uchun ulangan qo'shimcha qarshilik, U_{AB} - AB klemmalari orasidagi potentsiallar farqi – kuchlanish. 3 – rasm yopiq zanjirni tashkil etadi. Bu yopiq zanjir uchun Kirxgofning ikkinchi qoidasini qo'llaymiz.

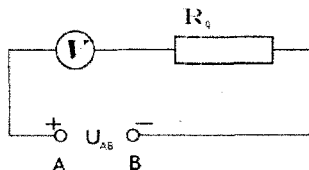
$$U_{AB} = U_v + U_q \quad (9)$$

$$U_{AB} = IR_v + IR_q = U_v \left(1 + \frac{R_q}{R_v}\right) \quad (10)$$

$$U_{AB} > U_v, \quad U_{AB} = n U_v \quad \text{desak}$$

$$n U_v = U_v \left(\frac{R_q}{R_v} + 1\right); \quad R_q = R_v (n-1) \quad (11)$$

(11) – formula o'lchash chegarasi kichik kuchlanishlarni o'lchashga mo'ljallangan voltmetrlarga qo'shimcha qarshiliklarni ulab, uni katta kuchlanishlarni o'lchashga mo'ljallangan voltmetr yasash uchun olingan formuladir. Endi voltmetr o'lchash chegarasi $n - 1$ marta o'ttirilgan bo'ladi.



3 – rasm.

Bir xil voltmetrlarda ikki va undan ortiq qo'shimcha qarshiliklar ulangan bo'lib, ular ko'p chegarali 3 V, 30 V, 300 V) voltmetrlar deyiladi.

Masala: O'lchash chegarasi 3 V ga va uning ichki qarshiligi 3 k Ω bo'lgan elektrodinamik sistemasidagi voltmetr mavjud. Bu voltmetrni o'lchash chegarasini 300 V ga oshirish uchun kerak bo'lgan qo'shimcha qarshilik qiymatini, avvalgi va oxirgi istemol qiladigan quvvatlari topilsin.

$$\Omega.$$

$$\frac{U_2^2}{3 \cdot 10^5} = 0,3$$

O'lchash chegarasini $n = \frac{300}{3} = 100$ marta oshirish uchun kerak bo'lgan qo'shimcha qarshilik 0Ω . Hisoblash shuni ko'rsatdiki, $P_1 \ll P_2$

2.4. Potensiometrik ulash

Quyidagi sxemani tuzamiz (4-rasm). Bu sxemada (ε - tok manbai, R- reostat D – reostat surgichi, D – surgichni C dan F gacha va aksincha F dan C gacha surish mumkin. Kalit K ni ulasak, yopik zanjir (CDFC) dan I_0 tok o'tadi. Om qonuniga muvofiq

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R} \quad (12)$$

Reostatdagi potensial tushish bo'lib, manba'ning E.Yu.K ga teng $U_R = \varepsilon$. Demak reostatdan I_0 tok o'tadi.

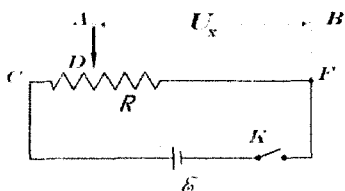
Reostatning bir qismi bo'lgan DF qarshiligini r_x desak, u holda reostatning DF qismidan o'tayotgan tok miqdori va shu DF qismidagi potensial tushish

$$U_x = r_x I_0, \quad I_0 = \frac{U_x}{r_x} \quad (13)$$

(12) va (13) larni tenglab

$$U_x = \varepsilon \frac{r_x}{R} \quad (14) \text{ ni olamiz.}$$

DF oraliqdagi qarshilikni r_x qiymati surgichning holatiga bog'liq bo'lib, uning qiymati $r_x = 0$ dan (surgich D $\rightarrow$ F ga), to $r_x = R$ (surgich D (C ga kelganda)) gacha o'zgaradi. (14) formulaga binoan $\varepsilon = \text{const}$ bo'lgani uchun r_x o'zgarishiga qarab (D surgich o'zgarishiga qarab) $r_x = 0$ dan $r_x = R$ gacha o'zgarsa, u holda $U_x = 0$ dan to ε gacha o'zgarar ekan.



4 – rasm.

Shunday qilib 4 – sxema yordamida AB klemmlarida D – surgichning holatini o'zgartirib $0 \leq U \leq U_{\max} = \varepsilon$ oraliqda turli kuchlanishlarni olishimiz mumkin ekan. Bunday ulash sxemani potensimetrik ulash yoki kuchlanishni bo'lish sxemasi deyiladi.

2.5. Tajribada olingan o'lchash natijalarini turli matematik usullarda hisoblashlar

Fizik kattaliklarni o'lchash va olingan natijalarni hisoblash asosan ikki xil amalga oshiriladi.

I. Bevosita o'lchashlar va ularni hisoblash.

II. Bilvosita o'lchashlar va ularni hisoblash.

I. Bevosita o'lchashlar. Bevosita o'lchashlarda fizik kattaliklar to'g'ridan to'g'ri (turli o'lchash asboblari yordamida ko'p marta – takroran) o'lchanadi. **Masalan:** Mikrometr yoki shtangensirkul bilan sterjen diametrini, biror yupqa plastinka qalinligini, chizg'ich yordamida biror sim yoki sterjenning uzunligini, yoki ommetr yordamida biror rezistor qarshiligini ko'p marta o'lchashlar, bunga misol bo'la oladi. Biror fizik kattalikni, masalan, X kattalikni istalgan o'lchash asboblari yordamida k – marta o'lchab uni quyidagi jadvalga kiritamiz.

1-jadval

№	1	2	3		κ
$X_i (sm)$	X_1	X_2	X_3		X_k

Jadvaldagi k marta o'lchangan larning o'rtacha qiymati

$$X_{\text{avg}} = \frac{\sum_{i=1}^k X_i}{k}$$

va har bir o'lchashdagi absolyut xatoliklar: $|X|$ yoki $|X|$ ga asosan topiladi. Bu absolyut qiymatlardan k - marta o'lchashdagi o'rtacha kvadratik xatolik

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\Delta X_i)^2}{k(k-1)}}$$

va ishonch intervali chegarasi (o'lchash natijasining xatoligi)

ni hisoblash mumkin. Bu erda $t_{\alpha,k}$ k - ta o'lchash uchun $\alpha = 95\%$ ga to'g'ri kelgan ishonchlilik (Styudent koeffitsienti). Undan keyin X natija yoziladi. Eng oxirida nisbiy xatolik foizlarda, beriladi:

II. Bilvosita o'lchashlar. Eng kichik kvadratlar usuli (EKKU). X va Y fizik kattaliklar orasidagi funksional bog'lanishni topish kerak bo'lsin. Tajriba natijasida X lar va bularga tegishli Y lar o'lchangan bo'lsin (2-jadval). Maqsad Y ko'rinishdagi bog'lanish funksiyasini topishdir. Juft kattaliklar $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_k, Y_k)$ nuqtalar bo'lib, XOY koordinata sistemasida yotadi va bu nuqtalarga binoan $Y = f(X)$ tekis (shu jumladan to'g'ri) chiziq o'tkazaylik. Shuni aytish kerakki, o'lchashlarimizda xatoliklar mavjudligi sababli bizning nuqtalarimiz Y tekis chiziq bermasligi mumkin. Yuqoridagi o'lchashlar bizga

(15)

ko'rinishdagi bog'lanish funksiyasini bersin. U holda har bir X lariga to'g'ri kelgan $f(X)$ lar (va $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_k$ lar) orasidagi farqlar kvadratlarining yig'indisi eng kichik kattalik ya'ni minimum bo'lsin:

$$S(a, b) = \sum_{i=1}^k [Y_i - f(X_i)]^2 \rightarrow \min \quad (16)$$

Qavslardagi (Y_i) lar ordinata bo'yicha tajribada olingan nuqtalar bilan izlanayotgan chiziq orasidagi ayirmalardir. Tajribada

olingan o'lchash natijalariga asoslanib chiziq o'tqazish kerak. Shu chiziqni ifodalovchi tenglamadagi a va b larni shunday tanlash kerakki, tajribada olingan va o'tqazilgan chiziqdagi ordinatalar orasidagi kvadratlari yig'indisi minimum bo'lsin.

$$\text{Buning uchun (16) dan: } \frac{dS}{da} = 0 \text{ va } \frac{dS}{db} = 0 \quad (17)$$

bo'lishi kerak. (15), (16) va (17) lardan quyidagilarni olamiz:

$$S(a, b) = \sum_{i=1}^k [Y_i - a - bX_i]^2 \quad (18)$$

$$\frac{dS}{da} = -2 \sum_{i=1}^k [Y_i - a - bX_i] = 0 \quad (19)$$

$$\frac{dS}{db} = -2 \sum_{i=1}^k [Y_i - a - bX_i] X_i = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^k Y_i &= \sum_{i=1}^k a + b \sum_{i=1}^k X_i \\ \sum_{i=1}^k X_i Y_i &= a \sum_{i=1}^k X_i + b \sum_{i=1}^k X_i^2 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

bu erda k – tajriba soni

2-jadval

No:	1	2	3		K
X_i	X_1	X_2	X_3		X_k
Y_i	Y_1	Y_2	Y_3		Y_k

(20) – tenglamalardan, tajriba natijalariga binoan, noma'lum koeffitsientlar a va b lar topiladi. (20) - tenglamalarni osonroq tushunish va yechish uchun, tajriba natijalariga asoslanib tenglamalarni quyidagicha yozamiz. Yuqoridagi tajribalarga asosan (15) – tenglama:

$$\begin{aligned} Y_1 &= a + bX_1 \\ Y_2 &= a + bX_2 \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ Y_k &= a + bX_k \end{aligned} \quad (21)$$

tenglamalarni qo'shib: $ka + b \sum_{i=1}^k X_i = \sum_{i=1}^k Y_i$ (22) ni olamiz. (21) -

tenglamalarning har birini, tegishli $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ larga ko'paytirib, hosil bo'lgan yangi tenglamalarni yana qo'shib quyidagi tenglamani olamiz.

$$a \sum_{i=1}^k X_i + b \sum_{i=1}^k X_i^2 = \sum_{i=1}^k X_i Y_i \quad (23)$$

Yangi hosil bo'lgan (22) va (23) tenglamalarga belgilashlar kiritamiz va determinant usulini ishlatib, a va b koeffitsientlarni topamiz:

$$\begin{aligned} S1 &= \sum_{i=1}^k X_i, \quad S2 = \sum_{i=1}^k X_i^2, \quad S3 = \sum_{i=1}^k Y_i, \quad S4 = \sum_{i=1}^k X_i Y_i \\ k \cdot a + S1 \cdot b &= S3 \\ S1 \cdot a + S2 \cdot b &= S4 \end{aligned} \quad (24)$$

Determinant usuli bilan

$$A = \frac{DA}{D}, \quad B = \frac{DB}{D}$$

$$Y1(I) = A + B \cdot X(I) \quad (I=1 \div k) \quad (25)$$

Topilgan koeffitsientlar (A va B) ning xatoliklarini hisoblash uchun ularning vaznlarini topish kerak. A va B larning vaznlari

$$PA = \frac{D}{S2}, \quad PB = \frac{D}{k} \quad (26)$$

Tajribada olingan A va B lar orasidagi kvadratik farqlarning yig'indisi

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^k \frac{(Y_i - Y1_i)^2}{(k-2)}} \quad (27)$$

A va B koeffitsientlarni hisoblashdagi o'rtacha kvadratik xatoliklar va nisbiy xatoliklar (%) quyidagicha hisoblanadi:

$$\begin{aligned} \Delta A &= \frac{\delta}{\sqrt{PA}}, \quad \Delta B = \frac{\delta}{\sqrt{PB}}, \\ EpsA &= \frac{100 \cdot \Delta A}{A}, \quad EpsB = \frac{100 \cdot \Delta B}{B} \\ A \pm \Delta A &: B \pm \Delta B \\ \epsilon_A &= \frac{\Delta A}{A} * 100\% \end{aligned}$$

$$\varepsilon_A = \frac{\Delta B}{B} * 100\%$$

Shuni aytish kerakki, $Y_{1i} = A + B \cdot X_i$ tenglama (tajribada olingan nuqtalarga asoslanib o'tkazilgan to'g'ri chiziqni beradi. X_i va Y_i lar orasidagi $Y_i = a + bx_i$ ko'rinishdagi chiziqli bog'lanishga istalgan laboratoriya ishidagi ishchi formulani moslashtirish mumkin.

Masalan: Tangens bussol yordamida yerning magnit maydonini gorizonttal tashkil etuvchisini aniqlashdagi ishchi formula

$$H = \frac{R^2 M}{\sqrt{(R^2 + H^2)^3}} \cdot \frac{I_i}{\operatorname{tg} \varphi_i} = C \cdot \frac{I_i}{\operatorname{tg} \varphi_i} \quad (28)$$

bu erda:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = a + \frac{C}{H} I_i \quad (29)$$

Quyidagi belgilashlarni kiritsak $Y_i = \operatorname{tg} \varphi_i$; $X_i = I_i$; $b = \frac{C}{H}$ yuqoridagi tenglama

$Y_i = a + bx_i$ ko'rinishini oladi.

Tanlangan nuqtalar usuli. Bu usulni ishlatib, biror fizik kattalikni hisoblash formulasiga kirgan, lekin bevosita o'lchanmagan kattaliklarni ham hisoblab topish mumkin.

Tanlangan nuqtalar usulida ham $Y_i = a + bx_i$ kabi formula ishlatiladi. Buning uchun o'lchashlar natijasida olingan (k – marta o'lchashlardan tuzilgan, 2 – jadval kabi), istalgan ikkita X va Y kattaliklarni olamiz (masalan: X_2, Y_2 va X_5, Y_5 , yoki X_3, Y_3 va X_7, Y_7 va hokazolar) va ularni bog'lovchi quyidagi tenglamalarni tuzamiz:

$$\begin{cases} Y_2 = a + bx_2 \\ Y_5 = a + bx_5 \end{cases}$$

Bu olingan tenglamalardan determinant usuli yordamida $a=A$ va $b=B$ – lar topiladi. Topilgan A va B – lardan ularga kirgan fizik kattaliklar va ularning xatoliklari EKKU usuliga o'xshatib topiladi. Shuni aytish kerakki, tanlangan nuqtalar usuli EKKU usuliga qaraganda katta xatoliklarni beradi.

O'rtacha arifmetik usul. Bu usulda ham $Y_i = a + bx_i$ kabi bog'lanishlar va 2 – jadvaldagi kabi o'lchashlar ishlatilib, o'lchashlar soni (K) ikkiga bo'linadi. Masalan, agar $K=6$ bo'lsa

$$\begin{cases} Y_1 = a + bx_1 \\ Y_2 = a + bx_2 \\ Y_3 = a + bx_3 \end{cases} \quad \text{va} \quad \begin{cases} Y_4 = a + bx_4 \\ Y_5 = a + bx_5 \\ Y_6 = a + bx_6 \end{cases}$$

Bunday ikkita juft tenglamalarni qo'shib, ikkita tenglama hosil qilinadi:

$$\sum_{i=1}^{k/2} y_i = \frac{k}{2} a + \sum_{i=1}^{k/2} x_i b$$

$$\sum_{i=\frac{k}{2}+1}^k y_i = \frac{k}{2} a + \sum_{i=\frac{k}{2}+1}^k x_i b$$

Bu ikkita tenglamalardan determinant usuli yordamida $a=A$ va $b=B$ – lar, A va B lar tarkibiga kirgan fizik kattaliklar va ularning xatoliklari topiladi. O'rtacha arifmetik usul bilan olingan natijalardagi xatoliklar topilgan nuqtalar usulidan ancha samaraliroq.

Grafik usuli. Labratoriya ishlarida o'lchanadigan va hisoblab topiladigan fizik kattaliklar orasidagi bog'lanishlar (29) formula kabi berilgan bo'lib, 2-jadvaldagi kabi o'lchash natijalari olingan bo'lsa, bu jadvalga asosan $y_i = a + bx_i$ grafigi chiziladi va bu grafikdan t va B koeffisientga kirgan fizik kattalik topiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] - 6,7 boblar., [4]-4 bob, [5]-5 bob, [7]-2 bob.

1 (60)- LABORATORIYA ISHI

ELEKTROSTATIK MAYDONNI O'RGANISH

Kerakli asbobva materillar: Elektrolitik vanna, reostat, ossilograf, o'zgaruvchan tok generatori, elektrodlar, zond, pantograf, millimetrlı qog'oz, elektrolit, similar to'plami.

Laboratoriya ishining maqsadi: Elektrostatik maydonni o'rganish, ekvipotensial sirtlarni aniqlash.

Elektrostatik maydonni qisqacha nazariy tavsifi

Bizga ma'lumki har qanday zaryad mavjud bo'lganda uning atrofıdagi fazoda elektr maydoni hosil bo'ladi. Tinch turgan zaryadlar atrofıdagi hosil bo'lgan elektr maydon ular orasida o'zaro ta'sir kuchi paydo bo'lishi va uning biridan boshqasiga uzatilishini amalga oshiradi. Elektr maydonning asosiy xossasi shundan iboratki, shu maydonda joylashgan har qanday zaryadga kuch ta'sir qiladi. Nuqtaviy zaryadlarning o'zaro ta'siri Kulon qonuni orqali aniqlanadi:

$$F_{1,2} = F_{2,1} = \frac{k_0}{\epsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r_{1,2}^2} \quad (1.1)$$

Elektr maydonini miqdoriy jihatdan xarakterlaydigan maxsus fizikaviy kattalik – bu elektr maydon kuchlanganligıdır. Elektrostatik maydonni o'rganishda nuqtaviy zaryad va sinov zaryadlari tushunchasini kiritish muhim ahamiyatga ega. Agar zaryadlangan jismlardan har birining chiziqli o'lchamlari bu jismlar va maydonning qaralayotgan nuqtasi orasidagi masofaga qaraganda juda kichik bo'lsa, u holda har qaysi zaryadlangan jismni nuqtaviy zaryad deb qarashimiz mumkin. Sinov zaryadi qilib esa miqdori bir birlik bo'lgan ($q_0 = +1$) musbat zaryad qabul qilingan. Sinov zaryadi shunday kichik bo'lishi kerakki, uni boshqa zaryad yoki zaryadlangan jism maydoniga kiritganda jismdagi zaryadlar ko'chishi bo'lmasin, ya'ni maydonga kiritilgan zaryad maydonni o'zgartirmasin. Nuqtaviy zaryadning elektr maydoniga $q_0 = +1$ bo'lgan sinov zaryadini kiritganimizda unga F Kulon kuchi ta'sir qiladi:

$$F = \frac{k_0}{\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} \quad (1.2)$$

(1.2) – ifodaning ikkala tomonini q_0 ga bo'lib yuborsak, tenglamaning o'ng tomoni sinov zaryadiga bog'liq bo'lmaydi va sinov zaryadi

qo'yilgan nuqtadagi elektr maydonni xarakterlaydi. Bu kattalikka elektr maydon kuchlanganligi deyiladi va u quyidagicha ifodalanadi:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{k_0}{\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r} \quad (1.3)$$

Kuch vektor kattalik bo'lganligi uchun, elektr maydon kuchlanganligi ham vektor kattalikdir. Bu vektorning yo'nalishi maydonning biz qarayotgan nuqtasiga joylashtirilgan musbat zaryadga ta'sir qilayotgan kuchning yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. (1.3) – ifodadan ko'rinadiki, agar biror nuqtada maydon kuchlanganligi (E) ma'lum bo'lsa, shu nuqtaga joylashtirilgan, zaryadi q bo'lgan zaryadlangan zarrachaga ta'sir qilayotgan kuchni aniqlashimiz mumkin, ya'ni:

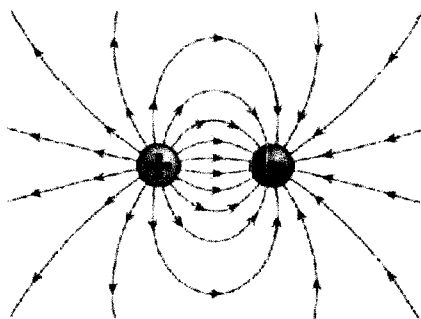
$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (1.3')$$

Biz o'rganayotgan maydonni bitta nuqtaviy zaryad hosil qilayotgan bo'lsa (1.3) – ifodadan maydon kuchlanganligini hisoblashimiz mumkin. Lekin maydonni bir nechta zaryadlar hosil qilayotgan bo'lsa, natijaviy elektr maydon kuchlanganligi alohida zaryadlar hosil qilayotgan maydon kuchlanganliklarining vektor yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_k \vec{E}_k \quad (1.4)$$

Bu superpozitsiya prinsipi bo'lib, maydonning muhim xossasidir. Demak, biz har qanday nuqtaviy zaryadning hosil qiladigan elektr maydon kuchlanganligini hisoblashimiz mumkin.

Agar zaryadlangan jism juda katta bo'lib, uni nuqtaviy zaryad deb qarash mumkin bo'lmasa, (1.3) va (1.4) formulalar yordamida maydon kuchlanganligini hisoblab bo'lmaydi. Bu holda zaryadlarning berilgan jismda taqsimlanishini bilishimiz kerak. Buning uchun zaryadlarning hajmiy, sirtiy va chiziqliy zichliklarini, hamda ularning tekis yoki notekis taqsimlanganliklarini bilishimiz kerak. Jismdagi zaryad taqsimoti ma'lum bo'lsa, u holda zaryadlar hosil qilayotgan elektr maydonni hisoblashimiz mumkin. Buning uchun zaryadlangan jismni cheksiz kichik qismlarga bo'lib, ularni nuqtaviy zaryad deb hisoblab, har birining maydon kuchlanganligi hisoblab kerak va ularning yig'indisi olinadi.



1.1 –rasm.

Elektr maydonni tasvirlash uchun maydonning har qaysi nuqtasidagi kuchanganlik vektori berilgan bo'lishi kerak. Elektr maydonni kuch chiziqlar orqali tasvirlash mumkin va shu kuch chiziqlarni joylashishiga qarab (zich, siyrak, tekis) uning kattaligi, bir jinsli yoki bir jinsli emasligi to'g'risida xulosa chiqarish mumkin. Kuch chizig'i yoki maydon kuchlanganligining vektor chizig'i deb, elektr maydonda o'tkazilgan shunday chiziqqa aytiladiki bu chiziqning istalgan nuqtasiga o'tkazilgan urinmaning yo'nalishi maydon kuchlanganligi vektori yo'nalishi bilan mos tushadi. Kuch chiziqlar musbat zaryaddan boshlanadi va manfiy zaryadda tamom bo'ladi. Fazoda faqat musbat zaryad bo'lsa, unda kuch chiziqlar musbat zaryaddan boshlanib, cheksizlikka ketadi va yakkalangan manfiy zaryad bo'lsa kuch chiziqlar cheksizlikdan boshlanib manfiy zaryadda tomon bo'radi (1.1-rasm).

Yuqorida elektr maydonni hisoblashning bir necha usullarini ko'rib chiqdik. Elektr maydonni hisoblashning yana bir soddagina usullaridan biri Ostragradskiy – Gauss teoremasini qo'llash usulidir. Bu teoremani kiritish uchun maydonni xarakterlaydigan elektr maydon induksiya vektori ($\vec{D}$) va uning oqimini ko'rib chiqamiz. Asosiy fizik ma'noga ega bo'lgan elektr maydon kuchlanganligi ($\vec{E}$) va elektr maydon induksiyasi orasida quyidagiga bog'lanish mavjud:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \vec{E} \quad (1.5)$$

Bu erda ε – muhitning dielektrik sindiruvchanlik, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ bo'lib, elektr doimiysi deb yuritiladi. Elektr maydon induksiya vektorining oqimi quyidagiga teng:

$$N = DScos\alpha \quad (1.6)$$

Agar maydon bir jinsli bo'lmasa va oqim o'tayotgan sirt (S) yassi bo'lmasa, bu sirtni kichik ds bo'laklarga bo'lib chiqiladi. ds sirti elementi orqali o'tayotgan induksiya oqimi $dN = D_n ds$ bo'ladi. Berilgan S sirt orqali o'tayotgan oqim

$$N = \int D_n ds \quad (1.7) \text{ orqali ifodalanadi.}$$

Ostrogradskiy – Gauss teoremasini mazmuni quyidagicha: ixtiyoriy berk sirtidan o'tayotgan elektr maydon induksiya vektorining oqimi shu berk sirt ichidagi zaryadlarning algebraik yig'indisi bilan aniqlanadi, ya'ni:

$$N = k_0 4\pi \sum q_i \quad (1.8)$$

Bu teoremani qo'llab, bir nechta xususiy hollar uchun olingan elektr maydon kuchlanganligini ifodasini keltirish mumkin.

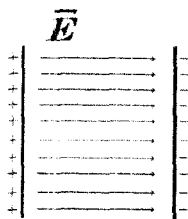
1. Tekis zaryadlangan, cheksiz uzun tekislik atrofidagi ixtiyoriy nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi faqat tekislik sirtidagi zaryadning sirtiy zichligi (σ) va muhitning dielektrik sindiruvchanligi (ε) bilan aniqlanadi:

$$E = \frac{k_0}{\varepsilon_0} \frac{2\pi\sigma}{\varepsilon} \quad (1.9)$$

2. Qarama – qarshi ishorali tekis zaryadlangan, cheksiz uzun o'zaro parallel ikkita plastinka orasidagi ixtiyoriy nuqtaning elektr maydon kuchlanganligi faqat zaryadlarning sirtiy zichligi (σ) va plastinkalar orasidagi muhitning dielektrik sindiruvchanligi (ε) bilan aniqlanadi:

$$E = \frac{k_0}{\varepsilon_0} \frac{4\pi\sigma}{\varepsilon} \quad (1.10)$$

Agar bizda bir jinsli (plastinkalar orasidagi fazoning hamma nuqtalarida teng elektr maydon kuchlanganligiga ega bo'lgan) maydon hosil qilish zarurati paydo bo'lsa, shu xususiy holdan foydalanamiz (1.2-rasm).



1.2 – rasm.

Qarama – qarshi ishorali tekis zaryadlangan, koaksial cheksiz uzun ikkita silindrlarning orasidagi ixtiyoriy nuqtaning elektr maydon kuchlanganligini topish kerak bo'lsin. Biz ichki silindrni ingichka simdan iborat deb qaraymiz ($R_1 \ll R_2$). Bu erda R_1 ichki silindrning, R_2 – tashqi silindrning radiuslaridir. Bu holda Ostrogradskiy – Gauss teoremasidan foydalanib quyidagi ifodani olishimiz mumkin:

$$E = \frac{K_0}{\epsilon_0} \frac{2\lambda}{\epsilon \cdot r} \quad (1.11)$$

Bu erda λ - chiziqli zichligi, ϵ - muhitning dielektrik sindiruvchanligi, r – silindrlar o'qidan ikkala silindr orasidagi ixtiyoriy nuqtagacha bo'lgan masofa. (1.11) ifodadan ko'rinadiki zaryadlar taqsimoti (λ) berilgan bo'lsa, ikkala silindr oralig'idagi ixtiyoriy nuqtaning elektr maydonini ($E(r)$) ni hisoblashimiz qiyin emas ekan.

Ostrogradskiy – Gauss teoremasidan foydalanib bir qancha xususiy hollar uchun (tekis zaryadlangan shar, tekis zaryadlangan sfera va konsentrik sferalar, va hokazo) elektrostatik maydonni hisoblashimiz mumkin ekan. Ostrogradskiy – Gauss teoremasining (1.8) ifodadagi ko'rinishini odatda uning integral ko'rinishi deyiladi. Chunki u ma'lum hajmga ega bo'lgan berk sirtidan o'tuvchi elektr maydon induksiyasining oqimi va sirt ichidagi va shu maydonni hosil qiluvchi zaryadlar orasidagi bog'lanishni ifodalaydi. Ko'p hollarda bu teoremani differensial ko'rinishi ham ishlatiladi. Fazoning biror $A(x, y, z)$ nuqtasidagi elektr maydon induksiyasi D (D_x, D_y, D_z) bo'lsin va uchi «A» nuqtada, tomonlari esa dx, dy, dz bo'lgan parallelepipedning qarama – qarshi tomonlaridan o'tayotgan to'la oqimini hasoblab, uni

$$N = \left(\frac{\partial D}{\partial x} dx + \frac{\partial D}{\partial y} dy + \frac{\partial D}{\partial z} dz \right) \cdot \vec{n}$$

ekanligini ko'rsatish mumkin. XBT birliklar sistemasida N bo'lishini va berk sirt ichidagi (parallelepiped ichidagi) zaryad ekanligini hisobga olsak, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} = \rho \quad (1.12)$$

Bu (1.12) ifodani Ostragradskiy – Gauss teoremasining differensial ko'rinishi deb ataladi va u Puasson tenglamasi deb ham yuritiladi. (1.12) ifoda qisqaroq ko'rinishda quyidagicha yoziladi:

$$\operatorname{div} \vec{D} = \quad (1.13)$$

Elektrostatik maydonni o'rganishning va uni hisoblashning qulay usullaridan biri-maydonning ixtiyoriy nuqtasini potensialini yoki ikki nuqta orasidagi potensiallar farqini aniqlashdir. Bunda ko'pincha berilgan zaryadlar bo'yicha elektr maydonni o'rganish potensiallar farqini hisoblash bilan bajariladi. Birorta nuqtaviy zaryadning elektr maydonida q_0 sinov zaryadini koordinatasi r_1 bo'lgan 1- nuqtadan koordinatasi r_2 bo'lgan 2 – nuqtaga ko'chirishda elektr maydonni bajargan ishi quyidagiga teng:

$$A_{1,2} = \int_{r_1}^{r_2} q_0 E dr = q_0 \frac{k_0}{\epsilon_0} q \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] \quad (1.14)$$

(1.14) dan ko'rinadiki elektrostatik maydonda bajarilgan ish faqatgina ikkala nuqtaning koordinatalari bilan aniqlanar ekan va q_0 zaryad bosib o'tgan traektoriyaning shakliga bog'liq bo'lmas ekan. Agar $r_1 = r_2$ bo'lsa, ya'ni 1 – va 2 –nuqtalar ustma – ust tushsa ish nolga teng bo'ladi. Bunday maydonni odatda potensial maydon deyiladi. Demak elektrostatik maydon potensial maydon bo'lar ekan.

(1.14) ifodadagi $\frac{A_{1,2}}{q_0}$ nisbat faqat q zaryadga bog'liq bo'lib, unga 1- va 2 – chi nuqtalarning potensiallar farqi yoki ikki nuqta orasidagi kuchlanish deyiladi:

$$U_{1,2} = \quad (1.15)$$

Bu erda $\varphi_1 - \varphi_2$ potensiallar farqi va $U_{1,2}$ – kuchlanish. Agar 2 – nuqta cheksizlikda bo'lsa: $-\frac{1}{\infty} = \varphi_1$ ni 1 – nuqtaning potentsiali deb ataymiz. Demak bir birlik zaryadni ($q_0 = +1$) maydonning

ixtyoriy nuqtasidan cheksizlikka ko'chirishda bajarilgan ish (A_1, ∞) bilan o'lchanadigan kattalikka shu nuqtaning potentsiali deb ataladi.

Elektrostatik maydonda berk kontur bo'yicha bajarilgan ish nolga teng bo'lganligi uchun potentsillar farqi yoki kuchlanish ham nolga teng. Shuning uchun elektrostatik maydonda potentsiallar farqi ta'sir etuvchi maydon bilan bir qiymatli aniqlanadi va uning asosiy xarakteristikalaridan biridir. Maydonni xarakterlashda maydon kuchlanganligiga qaraganda potentsiallar farqi ko'proq ishlatiladi. Chunki maydon kuchlanganligi vektor kattalik va uni komponentlarini- $\vec{E}$ bilish zarur. Potentsiallar farqi esa skalyar kattalikdir va u o'zining bittagina son qiymatiga ega. Maydonning har bir nuqtasida potentsialni bilgan holda, elektr maydon kuchlanganligini topishimiz mumkin. Tajribalarda maydon kuchlanganligiga qaraganda potentsiallar farqini o'lchash oson. Shuning uchun ham, elektr maydonini potentsial yordamida xarakterlash – qulayroq.

Elektr maydon kuchlanganligi potentsialning teskari ishora bilan olingan gradientiga teng:

$$\vec{E} = -\frac{\partial \varphi}{\partial r} \vec{n} \quad \text{yoki} \quad \vec{E} = -\text{grad} \varphi \quad (1.16)$$

Bu erda $\vec{n}$ - birlik vektordir. (1.16) ifodadagi minus ishora maydon kuchlanganligi ($\vec{E}$) ning potentsial kamayishi tomonga yo'nalganligini ko'rsatadi.

$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{i}E_x + \vec{j}E_y + \vec{k}E_z$$

bo'lgani uchun $E = -\frac{\partial \varphi}{\partial r} = -\text{grad} \varphi$ ni x, y, z o'qlariga proeksiyalari quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} E_x &= -(\text{grad} \varphi)_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}; \\ E_y &= -(\text{grad} \varphi)_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}; \\ E_z &= -(\text{grad} \varphi)_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}; \end{aligned} \quad (1.17)$$

Bularni hisobga olib, E - ning son qiymati uchun:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2} \quad (1.18)$$

formulani hosil qilamiz. Agar maydon bir jinsli bo'lsa, masalan, cheksiz uzun parallel plastinkalar (yassi kondensator) orasidagi elektr maydon, u holda:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{u}{d}$$

bo'ladi.

Elektr maydonda bir xil potensialga ega bo'lgan nuqtalarni birlashtirib, ekvipotensial sirtlarni yoki ekvipotensial chiziqlarni (tekislikda) hosil qilamiz. Ekvipotensial sirtlarni bilgan holda har doim shu maydonning kuch chiziqlarini hosil qilishimiz mumkin.

Bizga bir nechta, har xil shakldagi o'tkazgichlar – metall elektrodlar berilgan va ularning har birini potentsiallari ($\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ va hokazo) ma'lum bo'lsin. O'tkazgichlar orasidagi maydonning ixtiyoriy nuqtasidagi potensialning qiymatini aniqlash talab qilinsin. Bu masalani analitik ko'rinishda yechish uchun maydon kuchlanganligining ($\vec{E}$) koordinatalar bo'yicha tashkil etuvchilarini potensial orqali ifodalaymiz. (1.17) dan ma'lumki:

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}; E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}; E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z};$$

Bu ifodalarni Puasson tenglamasiga (1.12) qo'yib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1.19)$$

Agar o'tkazgichlar orasida zaryadlar bo'lmasa, ya'ni hamma nuqtalarda $\rho=0$ bo'lsa (1.19) tenglama yana ham soddaroq ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (1.20)$$

(1.20) tenglamaga Laplas tenglamasi deyiladi. Potensialni umumiy holda hisoblash shunday $\varphi(x,y,z)$ funksiyani topishga olib keladiki, bu funksiya Laplas tenglamasini qanoatlantirsin va

chegaraviy shartlar sifatida har bir o'tkazgichda $\varphi=\varphi_A$, $\varphi=\varphi_B$, $\varphi=\varphi_C$ va hokazo bo'lsin. Bunday yechim bir qiymatli bo'ladi. Biroq bunday masalani yechish ko'p hollarda juda katta qiyinchiliklarga olib keladi. Shuning uchun tajribada bir nechta o'tkazgichlar hosil qilgan elektr maydonni o'rganishda elektrolitik vanna usulidan foydalaniladi.

Elektrostatik maydonni tajribada o'rganish

Kerakli asboblari: elektrolitik vanna, pantograf, zond, reostat, tovush generatori, ossillograf.

Tajribada elektrolitik vannaga ikkita yoki to'rtta istalgan geometrik shakldagi elektrodni o'rnatib, bu elektrodning hosil qilgan elektrostatik maydoni o'rganiladi. Buning uchun ekvipotensial sirtlar (chiziqlar) chizib, maskur ekvipotensial sirtlarga maydon kuch chiziqlari ya'ni kuchlanganlik chiziqlari o'tkaziladi. Vanna va elektrodning o'lchamlari chizilgan manzara o'lchamlarda teng bo'lishi zarur. Ish davomida maydonning buzmasligi uchun elektrodlar o'zgarmas tok manbai o'rniga o'zgaruvchan tok manbayiga, ya'ni tovush generatoriga ulanadi.

Qurilma va tajriba o'tkazish metodikasi

Yassi elektrolitik vanna o'lchamlari taxminan $40 \times 50 \times 15 \text{ cm}^3$ bo'lgan natural yoki organik shishadan yasalgan parallelipeddan iborat. Vanna shunday o'rnatiladiki, bunda uning asosi qat'iy gorizontal bo'lishi kerak. Asosi tagiga millimetrlilik qog'oz yoki maxsus tayyorlangan koordinatalar katagi qo'yiladi. Vannaga yupqa (0,5 – 1 mm) qatlam elektrolit (vodoprovod suvi yoki istalgan tuzning juda kuchsiz eritmasi) quyiladi. Elektrodning «ikki o'lchamli» modeli vannaning tubiga qo'yiladi. Elektrodlarda potensial hosil qilish uchun ular kuchlanish taqsimlagichning mos nuqtalariga ulanadi. Elektrolitik vanna bilan ishlashda chastotasi 10^3 Hz tartibdagi o'zgaruvchan kuchlanish qo'llaniladi.

Maydondagi tanlab olingan nuqtaning potentsiali kompensatsion metod bilan o'lchanadi. Zondga kelayotgan tok indikator sifatida ossillograf xizmat qiladi. 1.3 – rasmda elektr qurilmaning sxemasi berilgan. O'zgaruvchan tok manbai sifatida tovush generatori xizmat qiladi (TG). Kuchlanish taqsimlagich elektrodni ulash uchun xizmat

qiladigan bir necha ulagichlar bilan ta'minlangan katta qarshilikli reostatdir. Bu potentsiometrik ulangan reostat 14 ta teng qismga bo'lingan bo'lib, kuchlanish taqsimlagich hisoblanadi. D – reostatning sirpangichi. T.I. – tok indikator (nol – indikator ham deyiladi) bizning qurilmamizda ossillografdir. Zond ossillografning «u» og'ish klemasiga ulangan bo'lib, zond (z) potentsiali reostat sirpangichi «D» ni siljitish orqali beriladi. Ravshanki, bu potentsial birinchi elektrodga nisbatan aniqlanadi. Zond potentsiali bilan maydonning shu zond qo'yilgan nuqtasidagi potentsialining tengligini tok indikatorining og'masligi yoki ossillograf ekranida nuqta hosil bo'lishi tasdiqlaydi. Agar tok indikator sifati ossillograf qo'llanilsa, u holda uning kirish klemmalariga eksperimental tarzda tanlangan qarshilik ulash kerak.

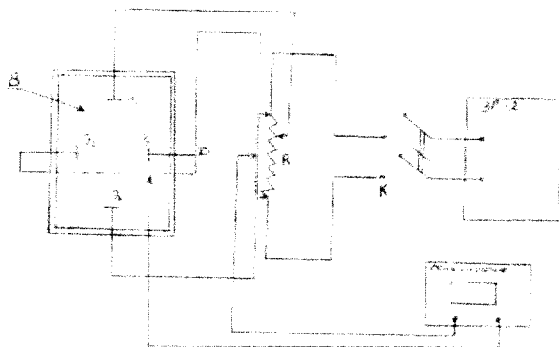
Zond metallardan yasalgan uchli o'tkazgich bo'lib, izolyasiya qilingan tutkichga ega. (Tutkich va zondan tok indikatoriga keluvchi o'tkazgich tashqi ta'sirlarni bartaraf qilish maqsadida ekranlab qo'yilgan). Zond qalamli pantografga ulangan bo'ladi, bu pantografga ekvipotentsial nuqtalarni aniq belgilash imkonini beradi.

Ish tartibi va o'lchashlar:

1. 1.3 – rasmda ko'rsatilgan elektr sxema yig'iladi. Vannaga maydoni tekshirilishi kerak bo'lgan elektrodlar ($\mathfrak{Z}_1$ va $\mathfrak{Z}_2$) o'rnatiladi. Keyin vannaga suv yoki konsentrasiyasi kichik bo'lgan elektrolit shunday qo'yiladiki, bu suyuqlikka elektrodlar botib tursin. Millimetrli qog'ozga elektrodning shakli, aniq o'lchamligi va joylanishi xuddi vannadagidek holda chizish kerak. Elektrodga potentsial berib (1 – elektrodga nisbatan), reostat R ning D sirpangichi 1 – chi bo'linga qo'yiladi va zond maydonning biror nuqtasiga o'rnatiladi. Ossillograf ekranida sinusoida chiziq paydo bo'ladi, chunki bu nuqtada zondning potentsiali (φ_z) maydonning potentsiali (φ_m) ga teng emas, demak tok amplitudasi

$$I = \frac{\varphi_m - \varphi_z}{R}$$

qandaydir qiymatga ega ekan. U holda maydon bo'ylab zondni siljitib minimum signal (to'g'ri chiziq) topilishiga, ya'ni tok indikatorining ko'rsatishi nolga teng bo'lishiga erishiladi.



1.3-rasmi

Bu nuqtada zond potentsiali va maydonidagi zond qo'yilgan shu nuqtaning potentsiallari bir xil bo'ladi. $\varphi_m - \varphi_z = 0$ ya'ni φ bo'lib, tok amplitudasi $I=0$ bo'ladi, ekrandagi vertikal chiziq nuqtaga aylanadi va bu nuqtaning koordinatalari belgilanadi, yoki pantograf qalami yordamida xuddi vannadagidek millimetrlı qog'ozga nuqta qo'yiladi. Shundan keyin D sirpangichning vaziyatiga muvofiq bo'lim yozib olinadi. Aynan shuning o'zi maydonda topilgan nuqtaning birinchi elektrodga nisbatan φ_1 potentsiali bo'ladi.

2. D sirpangich vaziyatini o'zgartirmasdan zond biroz suriladi va ilgari yoki yangi nuqta topiladi. Ravshaniki, bu nuqta oldingi nuqtaga ekvipotentsial bo'ladi. Topilgan nuqtaning koordinatalari yozib olinadi yoki pantograf qalami belgilaydi. Shunday jarayon butun ekvipotentsial chiziq yetarli darajada aniq chizilmaguncha takrorlanaveradi. Shunday qilib, D sirpangichni ma'lum holatida (1 – chi holatida) bir necha (10 ta yoki 12 ta) nuqtalar topiladi va ularni uzluksiz birlashtirib, biz potentsiallari bir xil bo'lgan chiziq, ya'ni ekvipotentsial chiziqni hosil qilamiz. (Ekvipotentsial chiziqning tenglamasi $\varphi(x,y,z) = \text{const}$ hisoblanadi).

3. «D» sirpangich 2 – chi bo'limga suriladi, kuchlanish taqsimlagichdagi bu vaziyat yozib olinadi va 2 – punktdagi o'lchashlar takrorlanadi.

4. Reostatni hamma (14) bo'limida shunday ishlar amalga oshiriladi. Topilgan ekvipotentsial chiziqlar (yoki sirtlar) soni 10 – 14 bo'lishi kerak va albatta D sirpangichni qanday vaziyatda har qaysi chiziq olinganligi belgilanadi. Reostatni hamma 14 ta bo'limi uchun

olingan ekvipotensial chiziqlar bizga elektrodning shakliga bog'liq bo'lgan elektrostatik maydonning ko'rinishini beradi.

O'lchash natijalarini ishlash

Qo'llanilgan elektrodning o'lchamlari va joylanishi millimetrlilik qog'ozga vanna haqiqiy kattaligida chiziladi. Tajribadan olingan natijalardan foydalanib, ekvipotensial chiziqlar va kuchlanganlik chiziqlari (kuch chiziqlari) ning manzarasi grafik shaklda chiziladi. Kuchlanganlik chiziqlari ekvipotensial chiziqlar oilasiga nisbatan ortogonal (perpendikulyar) ravishda o'tkaziladi. Bu chiziqlar hamma elektrodga nisbatan ham ortogonal bo'lib, shu elektrod boshlanadi va shu elektrod boshlanadi tugallanadi yoki «cheksizlikka» ketadi.

Nazorat savollari

1. Elektrostatik maydonga ta'rif bering. Elektr maydonni xarakterlovchi kattaliklarning fizik ma'nosini tushuntiring.
2. Elektrostatik maydonda elektr zaryadini ko'chirish ishi.
3. Potensial gradienti. Elektr maydon kuchlanganligi va maydon potentsiali orasidagi munosabat. Ekvipotensial sirtlar.
4. Ostrogradskiy – Gauss teoremasi. Gauss teoremasining integral va differentsial ko'rinishi.
5. Silindrik va sferik kondensatorlar elektr maydonlarini hisoblash.
6. Ikki parallel simli tarmoq elektr maydoni.
7. Nima uchun elektr maydoni kuchlanganligi vektori ekvipotensial sirtlarga tik bo'ladi?
8. Muhitning dielektrik singdiruvchanligi va qabul qiluvchanligi orasidagi munosabat. Qutblanish vektori.
9. Segnetoelektriklar. To'g'ri va teskari pyezoelektrik effektlar.
10. Elektrostatik maydonni o'rganishning boshqa usullari.
11. Nima uchun elektr maydon kuch chiziqlari kesishmaydi?
12. Elektr maydonni o'rganish qanday amaliy ahamiyatga ega?

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] - 2,3 boblar, 8-14, 16-26 va 62 paragraflar, [2]-1 bob, 3-8, 17-22 va 47 paragraflar, [3]-1 bob, 5-12 paragraflar, [4]-2 bob, 5-8 paragraflar.

2(70) - LABORATORIYA ISHI

KONDENSATORNING ZARYADLANISH VA RAZRYADLANISH JARAYONLARINI O'RGANISH

Kerakli asboblari: O'zgarmas tok manbai, katta qarshilikli rezistor, katta sig'imli kondensator, ampermetr, voltmeter, kalit, simlar to'plami.

Laboratoriya ishiniing maqsadi: Kondensatorning zaryadlanish va razryadlanish jarayonini o'rganish.

Qisqacha nazariya: Kondensator qoplamalarida elektr zaryadlarining yig'ish jarayoniga zaryadlash deyiladi. Kondensator zaryadlanishi jarayoniga teskari bo'lgan jarayonga razryadlanish deyiladi. Kondensatorni zaryadlash jarayoni doimiy tok manbaini (U_0) kondensator C bilan ketma – ket ulangan rezistorni ulash momentidan boshlanib, kondensator qoplamalari orasidagi potentsiallar farqi manbaining E.Yu.K ga tenglashguncha davom etadi. Bu holda kondensatorda hosil bo'lgan kuchlanish (U_0) yo'nalishi manbadagi E.Yu.K yo'nalishiga qarama – qarshidir.

$$; I(t) = (U_0 - U_c)/R \quad (2.1)$$

(2.1) dan ko'rinadiki, vaqt o'tishi bilan zanjirdagi tok kamaya boradi, natijada kondensatorning to'liq zaryadlanish momentida zanjirdagi tok nolga teng bo'ladi. Shunday qilib, zanjirdagi tok maksimum qiymatidan asta – sekin kamayib nolga intiladi. Kondensatorning zaryadlash va razryadlash jarayoni natijasida zanjirdagi tokning yoki kondensatordagi kuchlanishning o'zgarishiga o'tish jarayonlari deyiladi.

Agar kondensator sig'imini C desak, unda istalgan vaqt momentidagi kondensator qoplamalari orasidagi (potentsiallar tushishi) kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$\text{—} \quad (2.2)$$

Kondensatorning zaryadlash va razryadlash jarayonini ikkita usulda o'rganish mumkin:

1. Ampermetr (mikroampermetr) usuli.
2. Voltmetr usuli.

Mana shu ikki usulni alohida – alohida ko'rib o'tamiz.

Ampermetr usuli

Kerakli asboblari: Katta sig'imli kondensator, katta qarshilikli rezistor, mikroampermetr, doimiy tok manbai, kalit, sekundomer.

a) Kondensatorni zaryadlash.

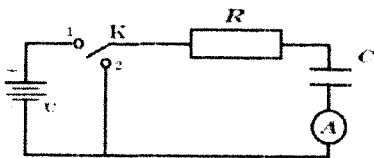
2.1 – rasmdagi sxemani tuzamiz va K kalitni neytral holatdan 1 – holatga o'tkazamiz. Boshlang'ich holatda, ya'ni kalitni 1 – holatga o'tkazish vaqtida, ya'ni $t = 0$ da $q = 0$ bo'ladi. Ampermetr va tok manbaining ichki qarshiliklarini hisobga olmagan holda yopiq zanjir uchun jarayonni kvazistatsionar deb hisoblab, Kirxgofning ikkinchi qoidasiga ko'ra quyidagini hosil qilamiz:

$$\text{yoki} \quad \text{---} \quad (2.3)$$

Oxirgi tenglamani yechib, boshlang'ich shartni qo'llash natijasida istalgan t vaqt momentdagi kondensatorni zaryadlash tokini olamiz.

$$\text{---} \quad (2.3^1)$$

Bu yerda: --- ga teng bo'ladi.



2.1 – rasm.

6) Kondensatorni razryadlash.

2.1 - rasmdagi (sxemadagi) kalitni 1 – holatdan 2 – holatga o'tkazamiz. Kalitni 2 – holatga o'tkazish momentida, ya'ni boshlang'ich holatda, $t = 0$ da $q = q_0$ bo'ladi. Yopiq zanjir uchun (yopiq kontur) Kirxgofning 2 – qoidasiga ko'ra:

$$\text{yoki} \quad \text{---} \quad (2.4)$$

Bu tenglamani yechib, boshlang'ich shartni qo'llash natijasida kondensatorning razryadlanish tokini (istalgan t vaqt momenti uchun) topamiz:

$$\text{---} \quad (2.4^1)$$

bu yerda $I_0 = \frac{U_0}{R}$, ko'rnib turibdiki razryadlash toki kondensator plastinkalari (qoplamalari) orasidagi kuchlanishga proporsional ekan. Bu tok $t = 0$ boshlang'ich momentda eng katta qiymatga ega va ishorasi zaryadlash tokiga teskari bo'ladi. (2.3¹) va (2.4¹) formulalardagi RC ni τ deb belgilaymiz, bu $\tau = R \cdot C$ kattalikka zanjirning vaqt doimiysi yoki relaksatsiya vaqti deyiladi. (2.3¹) va (2.4¹) formulalardan ko'rinadiki, $t = \tau$ bo'lsa, $I = 0,368I_0$ hosil bo'ladi, ya'ni tok $e = 2.72$ marta kamayadi.

Tajribaning bajarilish tartibi:

1. 2.1 - rasmdagi sxema tuzilib, kalit neytral holatga qo'yiladi.
2. Kalit 1 – holatga ulanadi, bu holatda mikroampermetr strelkasi maksimum og'adi (kondensator zaryadlana boshlaydi).
3. Mikroampermetr strelkasining maksimal qiynatidan boshlab, sekundomerni ishga tushirish zarur va bir xil intervalni tanlab tokning shu intervallariga mos kelgan vaqtlarini ish davomida yozib borish kerak.
4. Kalitni uzib, neytral holatga qo'yiladi.
5. Kalitni ikkinchi holatga ulaymiz, bunda mikroampermetr strelkasi boshqa tomonga maksimal og'adi (kondensator razryadlana boshlaydi).
6. Mikroampermetr strelkasining ko'rsatishi bu holatda ham asta – sekin kamaya boradi va mikroampermetr strelkasi maksimal holatda turganda sekundomer ishga tushirilib, kondensatorning razryadlanishi uchun bir xil intervalni tanlab tokning shu intervallarga mos kelgan vaqtlarini ish davomida yozib borish kerak.
7. Kalit uzilib, yana neytral holatga keltiriladi.
8. Yuqoridagi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – amallar uch marta takrorlanib, olingan natijalar 1- va 2- jadvallarga yoziladi.
9. 1- va 2 – jadvallarga asoslanib, I_1 bilan t_i ning bog'lanish grafiklari chiziladi (grafiklar 30×35 sm² millimetrluk qog'ozga chiziladi). Grafiklardan $I = 0,368I_0$ ga to'g'ri kelgan t ning qiymatini ($t = \tau = R \cdot C$ ga teng bo'ladi) topish kerak. Agarda u grafiklarni OY o'qi bilan kesishguncha davom ettirsak I_0 – qiymatlarini topamiz.
10. (2.3¹) va (2.4¹) formulalarga asosan 1- va 2 – jadval natijalarini

t ko'rinishda ifodalaymiz va eng kichik kvadratlar usuli bilan hisoblaymiz, τ ning qiymatlarini aniqlaymiz. Buning uchun (2.3¹) va (2.4¹) ifodalarni logarifmlaymiz:

— va

; ; —

belgilashlarni kiritib, (2.3¹) va (2.4¹) munosabatlarni ko'rinishiga keltiramiz.

11. 1- va 2 – jadvallarga asoslanib eng kichik kvadratlar usuli bilan topilgan τ qiymatlaridan foydalanilib va R ni ma'lum deb hisoblab $\tau = R \cdot C$ formuladan C ning qiymati topiladi.

12. Eng kichik kvadratlar usuliga asoslanib, a va b lar topilgandan keyin $y_i = a - b \cdot t_i$ formulaga $a=A$ va $b=B$ qiymatlar qo'yiladi va quyidagi formula olinadi.

$$y_i = A - B \cdot t_i$$

Endi t_i - larga turli qiymatlar berib (t_i – larning bu qiymatlari jadvallardan olingan) t – larning minimum va maksimum qiymatlari oralig'idagi qiymatlar hisoblanadi.

13. Yuqoridagi funksiyalarning grafiklarini chizilib asosiy parametrlar topib, tahlil qilinadi.

1-jadval

Kondensatorni zaryadlashda olingan natijalar

№	Ampermetr ko'rsatish (bo'limi)				

2-Jadval

Kondensatorni razryadlashda olingan natijalar.

№	Ampermetr ko'rsatish (bo'lim)				

Voltmetr usuli

Kerakli asboblari: Katta sig'imli kondensator, katta qarshilikli rezistor, elektrostatik voltmetr, doimiy tok manbai, kalit, sekundomer.

Kondensatorni zaryadlash va razryadlashni voltmetr usulida o'rganish uchun quyidagi 2.2 – rasmda keltirilgan sxemani tuzamiz.

a) Kondensatorni zaryadlash.

Kalitni 1 – holatga ulaymiz. Boshlang'ich holatda, kondensatorda vaqtning $t = 0$ momentida zaryad $q = 0$ ga teng bo'ladi. Kalit ulangandan keyin R qarshilik orqali kondensator C tok manbaidan zaryadlana boshlaydi. Shuni aytish kerakki, bu usul bilan tajriba o'tkazishda voltmetrning sig'imi sxemadagi sig'imdan juda ham kichik bo'lishi zarur ($C_V \ll C$). Jarayonni kvazistasionar deb hisoblab, bu yopiq zanjir uchun Kirxgofning ikkinchi qoidasini qo'llaymiz:

(2.5)

Yuqoridagi tenglamani quyidagi ko'rinishda yozib olamiz:

$$I \cdot R + \frac{1}{C} \cdot q = U_0, \quad \frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC} q = \frac{U_0}{C}$$

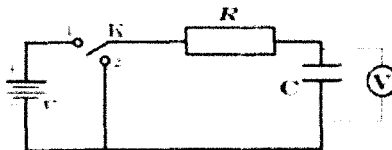
Bu tenglamani yechib, boshlang'ich shartni qo'llash natijasida kondensatorda to'planayotgan zaryad miqdorining (istalgan t vaqt momenti uchun) vaqt bo'yicha o'zgarish qonunini topamiz:

$$q(t) = q_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (2.6)$$

$u = q/C$ ekanligini nazarga olsak

$$u(t) = u_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (2.7)$$

kondensator qopalamalaridagi kuchlanishning o'zgarish qonunini olamiz.



2.2 – rasm.

b) Kondensatorni razryadlash.

Kondensatorda zaryadlanish jarayoni tamom bo'lganidan keyin kalitni 1 – holatdan 2 – holatga o'tkazamiz. Boshlang'ich vaziyatda, vaqtning $t = 0$ momentida qoplamalardagi zaryad miqdori $q = q_0$ ga teng bo'ladi. Endi kondensator asta – sekin razryadlana boradi.

Razryadlanish jarayonini ham kvazistasionar hisoblab, bu hosil bo'lgan yopiq zanjir uchun Kirxgofning ikkinchi qoidasini qo'llaymiz:

$$U_R + U_C = 0 \quad (2.8)$$

Bu differensial tenglamani yechish natijasida

$$U = U_0 \exp\left(-\frac{1}{RC}t\right) \quad (2.9)$$

kondensator qoplamlari orasidagi potentsiallar farqining o'zgarish qonunini olamiz.

(2.7) va (2.9) formulalarda $\tau = RC$ (τ - zanjirning vaqt doimiysi). Agarda R – ni Ω ($M\Omega$) va C ni F (μF) larda olsak τ - ning birligi sekundlarda kelib chiqadi. Bu ifodalardan, agarda $\tau = t$ desak, tegishligicha $U = 0,368U_0$ (2.9¹) ga ega bo'lamiz.

Tajribaning bajarilish tartibi

1. 2.2–rasmdagi sxemani tuzish va kalitni neytral holatga qo'yish kerak.

2. Kalitni 1-holatga ulaymiz, bu holda voltmeter ko'rsatishi noldan boshlab asta – sekin orta boradi.

3. Voltmeter ko'rsatishi 30 V ga yetgandan so'ng, sekundomerni ishga tushirish kerak. Undan keyin har bir 10 V ga to'g'ri kelgan sekundomerning ko'rsatishi (t) 3 – javdalga yoziladi.

4. Kalit neytral holatga keltiriladi.

5. Kalit ikkinchi holatga ulanadi, bunda voltmeter ko'rsatishi maksimum (125 V) bo'ladi, keyin u kamaya boshlaydi.

6. Voltmeter ko'rsatishi 120V ga yetgach, sekundomerni ishga tushirib, 4-jadvalga har bir 10V da vaqtni (t) yozib borish zarur.

7. Kalit neytral holatga keltiriladi.

8. Yuqoridagi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – amallar uch marta takrorlanib, 3 – va 4 – jadvallar to'ldiriladi.

9. 3 – va 4 – jadvallar uchun U bilan t orasidagi bog'lanish grafiklari ($30 \times 35 \text{ sm}^2$ millimetr qog'ozga) chizilgandan keyin, grafiklardan τ - larni topish kerak.

10. 3 – jadvalning natijalarini (2.7) formulaga asosan va 4 – jadvalning natijalarini (2.9) formulaga asosan va $y_i = a - b t_i$ ko'rinishda ifodalab, eng kichik kvadratlar usuli bilan hisoblab τ ning qiymatlari topiladi.

11. 3 – va 4 – jadvalda olingan tajriba natijalarini eng kichik kvadratlar usulida aniqlash uchun (2.7) formulani logarifinlab, quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$\ln(u_0 - u(t)) = \ln u_0 - \frac{1}{\tau} \cdot t, \quad (2.7^1)$$

Belgilashlar kiritib (2.7¹) ni quyidagicha ifodalaymiz:

$$y(t) = a - b \cdot t \quad (2.7^2)$$

3 – jadvaldagi qiymatlardan foydalanib (2.7²) formuladagi $a=A$ va $b=B$ koeffisientlarni topamiz va jadvaldagi t ning qiymatlari orasidagi sonlarni berib, $y(t)=f(t)$ bog'lanish grafigini chizamiz (yoki boshqa mm qog'ozga).

Eng kichik kvadratlar usulidan topilgan A va B lardan tegishli τ va R (yoki C) qiymatlarini hisoblaymiz. (2.9) formulani logarifinalab

$$\ln u(t) = \ln u_0 - \frac{1}{\tau} \cdot t, \quad (2.9^1)$$

va bunda $y(t)=a-bt$ (2.9²) ni olamiz. 4 – jadval natijalaridan eng kichik kvadratlar usuli bilan $a=A$ va $b=B$ larni va ulardan τ , C – larni topamiz.

Shunday qilib, voltmetr usulidagi kondensatorni zaryadlash va razryadlash jarayonidagi τ - larni hamma usullar bilan topilgan qiymatlarini va ularning hatoliklarini bir – biri bilan taqqoslab ko'ramiz.

Kondensatorni zaryadlashda olingan natijalar

3-jadval

№	Voltmetr ko'rsatish (V)				
1.					
2.					

Kondensatorni razryadlashda olingan natijalar

4-jadval

№	Voltmetr ko'rsatish (V)				
1.					
2.					

Nazorat savollari

1. Kondensator deb nimaga aytiladi?
2. Kondensatorning zaryadlanishida va razryadlanishida zanjirdagi tok vaqt o'tishi bilan qanday o'zgaradi?
3. Kondensatorning zaryadlanishida va razryadlanishida kuchlanish qanday o'zgaradi?
4. Zanjir doimiysi nima? Uning fizik mazmuni nimadan iborat?
5. Kvazistatsionar toklar deb qanday toklarga aytiladi? Kvazistatsionarlik sharti nima?
6. Nima uchun kondensator doimiy toklarni o'tkazmaydi?
7. Nima uchun kondensator zaryadlanish jarayonida undagi tok kamaya boradi?
8. Nima uchun kondensator zaryadlanish jarayonida undagi kuchlanish orta boradi?
9. Siljish toki nima? Siljish toki qanday hosil bo'ladi?
10. Kondensatorda sirqish toki deganda nima tushuniladi? Uni qanday bartaraf qilinadi?
11. Murakkab kondensatorlar qanday kondensatorlar?
12. Nima uchun kondensatorlar parallel ulanganda undagi kuchlanishlar bir xil bo'ladi?
13. Elektrolitik kondensatorning tuzulishi va asosiy xarakteristikalarini tushuntiring.
14. O'zgarimas va o'zgaruvchan tok zanjirlarida kondensator qanday vazifalarni bajaradi?
15. O'zgaruvchan tok kondensatorlar yordanmida qanday fildiriladi?
16. O'zgaruvchan tokni to'g'irlovchi ko'prik sxemasini tushuntiring.
17. Tajriba natijalaridagi xatoliklar nimalarga bog'liq?
18. Kondensatorning zaryadlanishi va razryadlanishi bo'yicha yana qanday tajribalar o'tkazish mumkin?
19. Kondensatorning zaryadlanishi va razryadlanishini o'rganish qanday ahamiyatga ega?
20. Kondensatorlarning qanday turlari mavjud? Super kondensatorlar nima?

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]-6 bob, 73,74 paragraflar. [2]-2 bob, 48 paragraf. [5]-4 bob, 59 paragraf.

3 (81)– LABORATORIYA ISHI

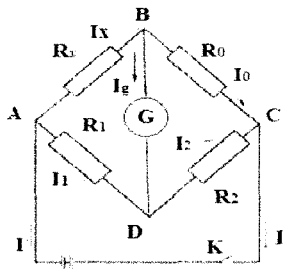
O'ZGARMAS TOK KO'PRIGI YORDAMIDA QARSHILIKLARNI O'LCHASH

Kerakli asboblari: reoxord, nol – galvanometer, qarshiliklar magazini, o'zgarmas tok manbai, kalit, uchta qarshiligi noma'lum bo'lgan rezistorlar.

Laboratoriya ishinin maqsadi: Noma'lum qarshilikli rezistorlarning qarshiligini aniqlash, rezistorlarni turli xil ulashlardagi umumiy qarshiligini aniqlab nazariy formula bilan solishtirish.

Qisqacha nazariya: O'tkazgich qarshiligini o'lchashning turli usullari mavjud. Shulardan biri – ampermetr va voltmeter usulidir. Bu usul bilan ishlashda shunday sxema tuzish kerakki, unda o'lchanishi kerak bo'lgan rezistordan o'tgan tokni ampermetr yordamida va shu rezistor uchlaridagi potensial tushishlarni voltmeter yordamida o'lchab, zanjirning bir qismi uchun Ohm qonunidan foydalanib o'sha noma'lum rezistor qarshiligi aniqlaymiz. O'tkazgich qarshiligini o'lchashning yana bir oddiy usuli, ko'priklar usuli bo'lib, bunda rezistordan o'tgan tok va kuchlanish tushishi o'lchanmaydi va bu usul yuqoridagi usulga qaraganda ancha aniq natijalar beradi. O'zgarmas tok ko'priklar usulini odatda Uitston ko'priklar yordamida qarshiliklarni aniqlash usuli deb ham yuritiladi.

Ko'priklar usuli yoki Uitston ko'priklar to'rtta rezistordan tashkil topgan bo'lib, ular yopiq to'rtburchak ABCD ni hosil qiladi. Bu to'rtburchakning bitta diagonaliga tok manbai, ikkinchi diagonaliga esa asboba - galvanometer ulanadi (3.1 – rasm). 3.1 – rasmdan ko'rinadiki, bu sxema murakkabdir. Murakkab tarmoqlangan elektr zanjirlarni hisoblashda odatda zanjirning bir qismi yoki butun zanjir uchun Ohm qonunidan emas, balki Kirxgof qoidalaridan foydalaniladi. Bu tugunlar va yopiq konturlar uchun bo'lib, tarmoqlangan zanjirlarni hisoblashda eng samarali usullardan biridir.



3.1- rasm.

Kirxgofning birinchi qoidasi tugunlarga tegishli bo'lib, tugunlardagi toklarning algebraik ying'disi nolga teng deydi. Boshqacha aytganda, tugunlarga keluvchi toklarning yig'indisi undan ketgan toklarning yig'indisiga teng. Har bir tugunda ham kelayotgan, ham ketayotgan toklar bo'lishi shart. Yuqoridagi ta'rifga asosan, tugunlar uchun Kirxgofning 1 – qoidasini ishlatib quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} A: I_1 + I_x \\ C: I_0 + I_2 = I \\ B: I_x = I_g + I_0 \\ D: I_1 + I_g = I_2 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Ikkinchi qoida yopiq konturlar uchun bo'lib, u quyidagicha ta'riflanadi: har qanday yopiq konturdagi potentsial tushuvlar yig'indisi o'sha yopiq konturdagi E.Yu.K lar yig'indisiga teng. Potentsial tushish deganda rezistordan o'tgan tokni, o'sha rezistor qarshiligiga ko'paytmasiga aytiladi. Potentsial tushishlar va E. Yu.K lar ishorasi quyidagicha tanlanadi. Konturni aylanib chiqishni soat strelkasi harakati bo'yicha olsak, u holda aylanish yo'nalishi tok yo'nalishi bilan bir hil bo'lsa, potentsial tushish ishorasi "+" yoziladi., agar teskari bo'lsa, potentsial tushish ishorasi "-" yoziladi. E.Yu.K oldidagi ishora esa quyidagicha tanlanadi: konturni aylanib chiqishda manbaning minus klemmasidan plyus klemmasiga o'tilsa ($-\varepsilon$) yoziladi, agar konturni aylanib chiqishda plyus klemmasidan minus klemmasiga o'tilsa ($+\varepsilon$) yoziladi. Agar yopiq konturda E.Yu.K bo'lmasa, u holda tenglikdan keyin nol yoziladi (0). Bu qoidani 3.1 – rasmdagi yopiq konturlar uchun ishlatib, quyidagi tenglamalarni xosil qilamiz:

$$\begin{aligned} ABDA: \quad I_x R_x - I_g R_{\bar{A}} - I_1 R_f &= 0 \\ BCDB: \quad I_0 R_0 + I_2 R_2 - I_{\bar{A}} R_{\bar{A}} &= 0 \\ ABC\varepsilon A: \quad I_x R_x + I_0 R_0 - I r &= \varepsilon \end{aligned} \quad (3.2)$$

Rasmda R_x -noma'lum qarshilik, R_0 -ma'lum qarshilik bo'lib, uning qiymati qarshiliklar magazinidan tanlab olinadi.

R_1 va R_2 ning o'zgarishi natijasida galvanometrdagi tok B dan D tomonga yoki teskarisiga ham oqishi mumkin. R_1 va R_2 larni shunday

tanlab olish kerakki, galvanometrda tok o'tmasin, ya'ni $I_g=0$ bo'lsin. Ko'priklarni sxemasining bunday xolatiga muvozanat holati deyiladi. Ma'lumki,

$$I_g = \frac{U_B - U_D}{R_g}$$

bundan ko'priklarning muvozanatligida $I_g=0$ bo'lsa, demak, $\varphi_B = \varphi_D$. Bundan esa $\varphi_B = \varphi_D$ ya'ni ko'priklarning muvozanat xolatidagida B nuqtaning potentsiali D nuqtaning potentsialiga teng bo'lishi kerak ekan. $I_g=0$ bo'lganda (3.1) va (3.2) tenglamalar quyidagicha yoziladi:

$$I_x = I_0, \quad I_1 = I_2 \quad (3.1^1)$$

$$I_x R_x - I_1 R_1 = 0, \quad I_0 R_0 - I_2 R_2 = 0 \quad (3.2^1)$$

Bu ikki tenglamadan (3.1) ni nazarga olgan holda

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2}$$

tenglikni hosil qilamiz, bundan

$$R_x = R_0 \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (3.3)$$

bo'ladi.

Odatda sxemaga nol galvanometr ulanadi. R_1 va R_2 rezistorlarni tanlash natijasida ko'priklarni muvozanatga keltirish juda qiyin. Shu sababdan R_1 va R_2 rezistorlarni reoxord bilan almashtiriladi (3.2 – rasm). Reoxord bu lineykaga tortilgan ko'ndalang kesimi bir hil, bir jinsli 1m lik o'tkazgich sim AC bo'lib, shu o'tkazgich bo'ylab sirpanuvchi D kontaktdan iborat. Surilgich yordamida reoxord qarshiligi R_1 va R_2 bo'laklarga bo'linadi. Surilgich D ni AC bo'ylab siljitish natijasida R_1 va R_2 qarshiliklar qiymati o'zgartiriladi. R_1 va R_2 qarshiliklar bir jinsli o'tkazgichdan yasalganligi sababli:

$$R_1 = \rho \cdot \frac{l_1}{S}, \quad R_2 = \rho \cdot \frac{l_2}{S}$$

bo'lib, bundan $\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2}$, ya'ni qarshiliklar nisbati uzunliklar

nisbatiga tengligi kelib chiqadi.

Demak:

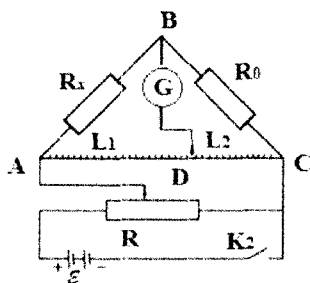
$$R_x = R_0 \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (3.4)$$

bo'ladi. Reoxord uzunligi $AC=l=100$ ta bo'lakka bo'lingan. AC lineyka o'rniga 1 metr millimetrlı qog'oz qo'yilsa, $\Delta l=1\text{mm}$ bo'lib, l_1 ni 1mm xatoik bilan aniqlash mumkin. Unda

$$R_X = R_0 \cdot \frac{l_1}{l-l_1} \quad (3.5)$$

bo'ladi.

(3.5) formula - noma'lum qarshilikni reoxordli ko'priik bilan ko'priik usulida o'lchashning asosiy tenglamasidir.



3.2 – rasm.

R_x ni o'lchashdagi xatolik R_0 va l larning xatoliklardan tashkil topadi. R_0 ni o'lchashdagi xatolik qarshiliklar magazinining aniqlik klassidan aniqlanadi. Noma'lum qarshilikni o'lchashdagi nisbiy xatoligini topish uchun (3.5) formulani logarifmlaymiz va undan keyin differensiallab quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\ln R_X = \ln R_0 + \ln l_1 - \ln(l-l_1) \quad (3.6)$$

$$\frac{\Delta R_X}{R_X} = \frac{\Delta R_0}{R_0} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l}{l-l_1} + \frac{\Delta l_1}{l-l_1}$$

oxirgi tenglik uchun umumiy maxraj $R_0 \cdot l_1 \cdot (l-l_1)$ bo'ladi. R_x ni aniqlashdagi nisbiy xatolik minimal bo'ladi, agar maxraj $f(l_1)=R_0 \cdot l_1 \cdot (l-l_1)$ maksimum bo'lsa, $f(l_1)$ ning maksimumlik sharti $df(l_1)/dl_1=0$, bo'lishi kerak, ya'ni tenglik o'rinli. Bu erdan $l_1=l/2$ kelib chiqadi. Demak, R_x ni o'lchashda nisbiy xatolik minimal bo'lishi uchun muvozanatlangan ko'priikda reoxord surilgichi $l_1=l_2$ vaziyatga muvofiq turishi, ya'ni surilgich reoxordning o'rtasida joylashishi lozim. Shuning uchun ham noma'lum qarshilikni ko'priik usuli bilan o'lchashda mumkin qadar surgich reoxordning o'rtalariga yaqin

nuqtalarda joylashgan holda, qarshiliklar magazinidan R_0 ni tanlab olib, ko'prik muvozanatga keltiriladi va I_1 va I_2 yozib olinadi.

O'lchashlar va hisoblashlar:

1. 3.2 – rasmdagidek elektr sxema tuziladi. Sxemadagi R_x o'rniga qarshiligi o'lchanishi kerak bo'lgan R_1 , R_2 , R_3 lardan birini, masalan R_1 ni ulaymiz.

2. Reoxord surgichini (D) taxminan o'rta qismlarga o'rnatib, qarshiliklar magazinidan R_0 ni shunday tanlab olamizki, sxema diagonaliga ulangan galvanometrda tok o'tmasin, ya'ni galvanometr nolni ko'rsatsin. Galvanometrning bu nol xolati uchun reoxord surgichining (D – ning) chap (I_1) va o'ng (I_2) holatlari tuzilgan jadvalga yoziladi. Shuni aytish kerakki $I_1 + I_2 = 100$; $I_2 = 100 - I_1$

3. Qarshiliklar magazinidan boshqa R_0 ni olib, yana surgich D ni o'zgartirib, yana I_1 elka xolatini reoxord millimetr shkalasidan jadvalga yozib olamiz. Berilgan R_1 noma'lum qarshilik bilan R_0 larni tanlab olib I_1 ni yozishni 3-4 marta takrorlab, jadvalga yozib boramiz. Shuni aytish kerakki, reoxord surgichini holati I_1 50 sm lar tevaragida (boshqacha aytganda 40 – 60 sm oralig'ida) bo'lishini ta'minlash kerak.

4. Sxemaga R_1 ni o'rniga endi R_2 va R_3 larni ulab 2 – va 3 – bandlarni takrorlab jadvalga yozib boramiz.

5. Sxemadagi R_x o'rniga noma'lum qarshiliklarni, R_1 , R_2 , R_3 rezistorlarni turli kombinasiyalarda ketma-ket, parallel va aralash ulab, u kombinasiyalar uchun ham R_0 larni qarshilik magazinidan tanlab, reoxord surgichini (D ni) surib, galvanometrni nol xolatga keltirib, 3 – 4 marta R_0 larni berib I_1 larni jadvalga yozib boramiz.

6. Jadvalda yozilgan tajriba natijalariga asosan (3.5) formula yordamida har bir o'lchashlar uchun R_x lar hisoblanadi.

7. Hisoblangan (3 – 4 marta) R_1 larning qiymatlaridan uning o'rtacha qiymati, o'rtacha kvadratik xatoligi va nisbiy xatoligi hisoblanadi.

8. 7 – band R_2 , R_3 lar uchun hamda R_1 , R_2 , R_3 larning turli kombinasiyalari ketma – ket, parallel va aralash ulashlari uchun ham bajariladi.

9. R_1 , R_2 , R_3 larning o'rtacha qiymatini bilgan holda bu uchalasini turli kombinasiyalarda ketma – ket, parallel va aralash ulashlarni, ularning ulashda umumiy qarshiliklarini hisoblash formulasiga asoslanib, ularni hisoblash kerak. Ushbu usulda (nazariy) olingan natijalarni tajribada chiqarilgan kattaliklar bilan taqqoslash lozim.

Nazorat savollari

1. Tarmoqlangan zanjirlar. Kirxgof qoidolari va uning isboti.
2. Qarshilik va uning temperaturaga bog'liqligi. Qarshilikning termik koeffitsienti
3. Qarshilikning klassik elektron va kvant nazariyasi. Etalon qarshiliklar.
4. Qarshilik termometrlari. Fotoqarshiliklar.
5. Yarimo'tkazgichlar qarshiligi va uning temperaturaga bog'liqligi
6. Kichik, o'rta, katta va o'ta katta qarshiliklar.
7. Muvozanatlashmagan Uitston ko'prigi. Uitston ko'prigining afzalliklari va kamchiliklari.
8. Qarshiliklarni tayyorlanish texnologiyalari, tarkibi va nomlanishi.
9. Qarshiliklarni o'lchash natijalarini absolut xatoliklarini hisoblash formulalari.
10. Nima uchun Uitston ko'prigida kichik qarshiliklarni o'lchash mumkin emas?
11. Nima uchun Uitston ko'prigida katta qarshiliklarni o'lchash mumkin emas?
11. Qarshiliklarni o'lchashning yana qanday zamonaviy usullarini bilasiz?

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]–6,7 boblar, 57–59 va 70 paragraflar. [3]–4 bob, 14–17 paragraflar. [5]—4 bob, 47–58 paragraflar.

4 (57)- LABORATORIYA ISHI

O'ZGARMAS TOK KO'PRIGI USULIDA GALVANOMYETRNING ICHKI QARSHILIGINI O'LCHASH

Kerakli asboblari: Galvanometr, kalit, reostat, qarshiliklar magazini, tok manbai.

Laboratoriya ishining maqsadi: Galvanometrning ichki qarshiligini aniqlash va galvanometrning xarakteristikalarini o'rganish.

Qisqacha nazariya: Bu laboratoriya ishida foydalaniladigan Uistston ko'prigining sxemasi 3 – laboratoriya ishida to'liq ko'rib chiqilgan edi. 3 – laboratoriya ishning 3.2 – rasmdagi sxemada galvanometrda tok o'tmaydi ($I_g=0$). Bunday holda noma'lum qarshilikni topish uchun

$$R_1 = R_o \frac{I_1}{I_2} \quad (4.1)$$

munosabatga ega bo'lgan edik.

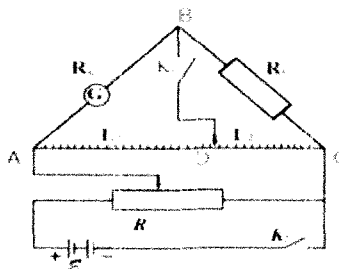
Shuni yana takror eslatish kerakki, bu formula ko'priklarni muvozanatda bo'lgandagina o'rinlidir.

Galvanometr ichki qarshiligini o'lchash uchun ushbu laboratoriya ishida o'zgartirilgan ko'priklarni sxemasidan foydalanamiz. Bu sxema 4.1 – rasmda keltirilgan bo'lib, unda R-reostat tok manbaiga potentsiometrik (kuchlanishni bo'lish) ulangan. Agarda reostat surgichini tugun tomonga sursak, ko'priklarga berilgan kuchlanish kamayadi – galvanometr ko'rsatishi ham kamayadi. R_o - qarshiliklar magazini. AC – bir jinsli 100 sm uzunlikdagi simdan iborat bo'lgan reoxord shakldagi AB, BC, AD, DC, lar - ko'priklarni yelkalari. G – ichki qarshiligi o'lchanadigan galvanometr. K - ko'priklarni muvozanatdagi yoki yo'qmi (ulash yoki uzish natijasida) ekanligini ko'rsatadigan kalit. 4.1 - rasmda asosan ko'priklarni muvozanatda bo'lgan hol uchun quyidagi ifoda o'rinli bo'ladi:

$$R_g = R_o \frac{I_1}{100 - I_1} \quad (4.2)$$

Ushbu elektr sxemada diagonalda kalit o'rnatilgan. Shu sababdan, ko'priklarni muvozanatda bo'lsa, kalit joylashgan zanjirning qismidan tok o'tmaydi, natijada kalitni ulasak ham galvanometrning ko'rsatib turgan toki (strelka ko'rsatib turgan raqam soni)

o'zgarmasdan turaveradi. Tanlangan R_0 uchun reoxorddagi bu holat uchun I_1 (yoki I_2) ni yozib olish kerak. Galvanometrning sezgirligini oshirish maqsadida uning ko'rsatishi mumkin qadar maksimumga yaqin bo'lsin. Ma'lumki, sxemadagi galvanometr nol galvanometr.



4.1 – rasm.

Noldan ikki tomonga ham bo'limlar 20 gacha, shuning uchun tok galvanometr strelkasini 15 – 18 bo'limlarni ko'rsatguncha tanlab olish kerak. Bunday tanlovni potensiometrlik ulangan reostat surgichining vaziyatini o'zgartirish yordamida sodir etiladi.

Shuni aytish kerakki, sxemadagi R_g va R_0 lar qiymatlariga qarab galvanometrda tok yo'nalishi teskarisiga ham o'zgarishi mumkin, ya'ni galvanometr strelkasi o'zining holatidan o'ngga yoki chapga ham og'ishi mumkin. Istalgan holatda bo'lishiga qaramasdan uning sezgirligini oshirish uchun 15 – 18 bo'lingacha tokni tanlab olib, ko'priq muvozanat holatini topib, reoxord surgichi holatlarini yozib olish zarur. Yana qarshiliklar magazinidan R_0 ni tanlab, reoxord surgichini o'zgartirib, yana muvozanat holatini topamiz. Bu tanlangan va topilgan qiymatlarni 1-jadvalga kiritamiz.

1-jadval

No	$R_0(\Omega)$	(cm)	(cm)
1.			
2.			

Galvanometrning ichki qarshiligini o'lchashdagi xatoliklar kam bo'lishi uchun qarshiliklar magazinidagi R_0 – larni shunday tanlab olish kerakki, reoxord surgichi mumkin qadar reoxord o'rtalarida (yarmida) bo'lsin.

O'lchashlar va hisoblashlar:

1. 4.1 – rasmdagi sxema tuziladi. Sxemani tok manbaiga ulashdan oldin reostat surgichini tugun tomonga keltiriladi.

2. Reoxord surgichini uning o'rtalariga qo'yiladi.

3. Diognaldagi K_2 -kalit ulangan bo'ladi va qarshiliklar magazinidan R_0 -qarshilik tanlab olinadi. Galvanometr ko'rsatishini 15 – 18 bo'limlarga kelguncha reoxord surgichini asta - sekin C tugun tomonga kerakli bo'lingacha suramiz. Endi qarshiliklar magazinidan shunday R_0 qiymatni tanlab olamizki, K_2 - kalitni uzganda va yana ulaganda galvanometr ko'rsatishi (tanlab olgan 15 – 18 oraliqda) o'zgarmasin. Agarda ko'p o'zgarsa R_0 -ni o'zgartirish, agarda juda kam o'zgarsa, reoxord surgichini o'zgartirish kerak. Bu hol uchun R_0 , I_1 , lar 1-jadvalga kiritiladi.

4. Qarshiliklar magazinidan yana R_0 -lar tanlab olinadi va yana ko'prik muvoznatlashtirib, berilgan R_0 -lar va olingan reoxord yelkalarining uzunliklari jadvalga kiritiladi.

5. Jadvalga kiritilgan o'lchash natijalarini (4.2) formulaga qo'yib, galvanometr ichki qarshiliklari (jadvaldagi har bir natijalar uchun), ularning o'rtacha qiymatlari va xatoliliklari hisoblanadi.

Nazorat savollari

1. Galvanometrlar, turlari va ishlash prinsiplari.
2. Galvanometr ichki qarshiligi va sezgirligi. Kritik qarshilik.
3. Ballistik galvanometer tuzulishi va ishlash prinsiplari.
4. Nima sababdan galvanometrlar ichki qarshiligini aniqlash kerak?
5. Elektr ish zanjirida o'zgaruvchan tokdan foydalansa bo'ladimi?
6. Galvanometr sezgirligi nimalarga bog'liq?
7. Galvanometrlarni har doim shuntlash zarurmi?
8. Galvanometrlar ichki qarshiligini aniqlashning yana qanday usullari mavjud?
9. Qanday hollarda nol galvanometrda foydalansa bo'ladi?

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]-7 bob, 68-71 §§. [3]-bob, 31-36 §§. [4]-4 bob, 14-17 §§. [5]-4 bob, 47-58 §§.

5 (56) - LABORATORIYA ISHI

MISNING ELEKTROKIMYOVIY EKVIVALENTINI ANIQLASH

Kerakli asboblari: Elektrolit uchun vanna, mis kuporosining suvdagi eritmasi, ikkita mis plastinkalar, ampermetr, reostat, kalit, o'zgarimas tok manbai, sekundomer.

Laboratoriya ishiniing maqsadi: Elektroliz qonunlarini o'rganish, misning elektrokimyoviy ekvivalentini, Faradey sonini, misning valentligini va elektronning zaryadini aniqlash.

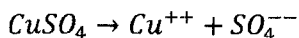
Qisqacha nazariya: Elektr otkazgichlar ikki turga bo'linadi: birinchi va ikkinchi tur o'tkazgichlar. Birinchi tur o'tkazgichlarga metallar va yarimo'tkazgichlar kiradi.

Ikkinchi turdagi o'tkazgichlarga elektrolitlar kiradi. Elektrolitlar deb atomlari yoki molekulari qarama – qarshi ionlardan (musbat va manfiy atom yoki molekula) tuzilgan bo'lib, ular bir – birlari bilan Kulon kuchlari ta'sirida tutib tura oladigan eritmalariga aytiladi. Elektrolitlarga kislotalar (HCl , HNO_3 , H_2SO_4 ,...), ishqorlar (NaOH , KOH , NH_4OH ,...) va tuzlar (NaCl , CuSO_4 , NH_4Cl ,...) ning suvdagi eritmaları kiradi.

Birinchi tur o'tkazgichlarda tok erkin elektronlarning harakatidan vujudga keladi, elektrolitda ionlarning tashqi elektr maydon ta'sirida harakati elektr tokini hosil qiladi.

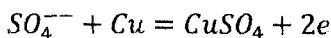
Aytaylik C idishga (5.1 – rasm) CuSO_4 mis kuporosining eritmasi quyilgan va unga ikkita – K hamda A mis elektrodlar tushirilgan bo'lsin. B batareyaning manfiy qutbi K elektrodga, musbat qutbi A elektrodga ulangan. Bunda elektrodlar zaryadlanib qoladi va ular orasida eritmada elektr maydon hosil bo'ladi. Mis kuporisi molekularining dissotsiatsiyalanishidan hosil bo'lgan ionlar bu maydon ta'sirida harakat qila boshlaydi, eritmadan tok o'tadi bunday jarayonga elektroliz deyiladi. Musbat zaryadli ionlar K katodga keladi, unga o'z zaryadlarini berib, katodda neytrallangan zarra holida ajraladi. Manfiy ionlar A anodga qarab harakat qila boshlaydi va unda ajraladi. Mis kuporosi eritmasi orqali biror vaqt davomida tok o'tkazib katodning sirtida qizg'ish metall mis qoplami o'tirayotganini osongina kuzatish mumkin. Bundan eritmada mis musbat ionlar ko'rinishida bo'lganiga ishonish mumkin.

Dissotsiatsiyalangan CuSO_4 molekulasining qolgan qismi, ya'ni SO_4 guruh manfiy ionlar hosil qilishi kerak. Shunday qilib, mis kuporosi molekulalari eriyotganda misning musbat ionlariga va SO_4 manfiy ionlarga dissotsiatsiyalanadi, degan natijaga kelemiz va uni quyidagicha yozamiz:



$++$ va $--$ qo'sh ishoralar mazkur holda ionlarning ikki zaryadli ekanini, ya'ni mos ravishda ikkita elektron yo'qotishi yoki ikkita ortiqcha elektron qo'shib olishi natijasida hosil bo'lganini bildiradi.

Misning Cu^{++} musbat ionlari katodga keladi va u yerda mis atomlari sifatida ajraladi. SO_4^{--} manfiy ionlar anodga keladi. Agar anod mis bo'lsa, SO_4^{--} ionlar anodda neytrallanib, u bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi va qaytadan mis kuporosi molekulasini hosil qiladi:



Bunda e – anodga o'tgan elektronni bildiradi. Hosil bo'lgan mis kuporosi molekulalari yana eritmaga o'tadi. Natijada mis kuporosining eritmadagi miqdori o'zgarmay qoladi; katodda mis ajralib chiqadi, anodning mis SO_4 ioni bilan kimyoviy reaksiyaga kirishib, eritmaga o'tadi.

Bu misol xarakterlidir: u bir tomondan elektrolitning o'tkazuvchanligi erigan modda molekulalarining dissotsiatsiyalangan ionlari harakatiga bog'liqligini ko'rsatadi, ikkinchi tomondan, erigan moddaning tarkibiy qismlari elektrodalarda hamma vaqt ham ajrala bermasligini ko'rsatadi. Elektrolizning pirovard natijasi ionlar ajraladigan joylarda bo'ladigan kimyoviy reaksiyalarga bog'liqdir. Bu reaksiyalar ikkilamchi reaksiyalar deyiladi, ularni hisobga olmasdan turib elektrolitik dissotsiatsiya jarayonini to'g'ri o'rganib bo'lmaydi. Ma'lumki, ikkilamchi reaksiyalarning xarakteri faqat eritma tabiatigagina emas, elektrodلarning materialiga ham bog'liq bo'ladi.

Birgina eritma elektrolizining natijalari qanday elektrod tanlanishiga qarab turlicha bo'lishi mumkin. Misol tariqasida H_2SO_4 sulfat kislotaning suvdagi eritmasi elektrolizi bilan tanishaylik. Sulfat kislota molekulalari H^+ musbat vodorod ionlariga va SO_4^{--} manfiy ionlarga dissotsiatsiyalanadi, shu bilan birga, H_2SO_4 molekulaning dissotsiatsiyalanishida ikkita vodorod ioni hamda zaryadining son

qiymati har bir vodorod ionining zaryadidan ikki marta katta bo'lgan bitta SO_4^{--} ion hosil bo'ladi; buni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

Dastlab, sulfat kislota eritmasiga qo'rg'oshin elektrodlar tushirilgan, deylik. U holda katod vazifasini bajarayotgan elektrodga gazsimon vodorod ajralib chiqadi. Anodda esa SO_4^{--} ion ajrala boshlab, anod materiali bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi va qo'rg'oshin sulfat hosil qiladi:

Eritmadagi sulfat kislota miqdori kamaya boradi, elektroliz natijasida sulfat kislota parchalanishi ro'y beradi.

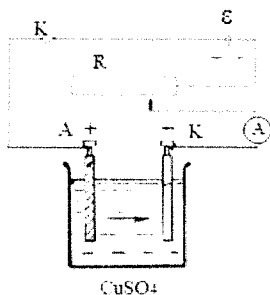
Endi xuddi shu sulfat kislota eritmasini platina elektrodlar bilan elektroliz qilaylik. Bu holda katodda avvalgidek gazsimon vodorod ajralib chiqadi. Anodda ajralgan SO_4^{--} ion esa platina bilan reaksiyaga kirishmay, suv bilan reaksiyaga kirishadi; bu reaksiya quyidagi ko'rinishda boradi:

ya'ni qaytadan sulfat kislota hosil bo'ladi, anodda esa gazsimon vodorod ajralib chiqadi. Natija quyidagicha boladi: eritmada sulfat kislota miqdori o'zgarmaydi; elektrodlarda gazsimon vodorod va kislorod ajraladi, shu bilan birga, anodda ajralgan har bir kislorod atomiga katodda ikkita vodorod atomi ajralishi to'g'ri keladi, ya'ni bitta kislota elektrolizi bilan bir vaqtda bo'ladigan ikkilamchi reaksiyalar natijasida suv parchalanadi, sulfat kislota esa qayta tiklanadi.

Bu va bundan boshqa elektroliz hodisalarning analizi ko'rsatishicha metallar va vodorod hamma vaqt musbat ionlar hosil qiladi, bu ionlarni odatda kationlar deb yuritiladi. Molekulalarning qolgan qismlari manfiy ionlar (anionlar) hosil qiladi.

Misning elektrokimyoviy ekvivalentini aniqlashdan maqsad uning kimyoviy ekvivalentini, Faradey sonini, elektronning zaryadini, misning valentligini va boshqalarni aniqlashdan iborat bo'lib, uning sxemasi 5.1 – rasmda keltirilgan. 5.1 – rasmdagi K kalitni ulasak plastinkalar tok manbainining musbat va manfiy ishoralariga ega bo'ladi, natijada elektrolitda dissosiasiyalangan musbat ionlar (Cu^{++}) katodga, manfiy ionlar (SO_4^{--}) anod tomonga harakatga keladi.

Katodga kelgan Cu^{++} mis ionlari (kationlar) katodga kelib zaryadsizlanadi va hosil bo'lgan Cu katodga o'tiradi, natijada katodning massasi ortadi. Anodga esa SO_4^- qoldiq kislota ionlari (anionlar) kelishi natijasida mis ionlari eritmaga o'tadi va anod massasi kamayadi. Buning natijasida eritma konsentratsiyasi (eritmada mis konsentratsiyasi) tajriba davomida o'zgarmaydi. Shunday qilib eritmadan katodga qancha mis o'tirsa, anoddan eritmaga shuncha mis o'tadi.



5.1 – rasm.

Elektroliz hodisasini 1836 yillarda ingliz fizigi Faradey mufassal o'rgandi va quyidagi ikkita qonunni kashf etdi:

Faradey I – qonuni: Elektrodda (katodda) ajralib chiqqan modda miqdori elektrolit orqali o'tgan zaryad miqdoriga proporsionaldir.

$$m = k \cdot q \quad (5.1)$$

bu erda $q = I \cdot t$ – ionlarning zanjirdan I tok o'tishi natijasida t vaqt ichida olib o'tgan zaryad miqdori, m – katodda ajralgan modda miqdori, k – moddaning (qaralayotgan holda misning) elektrokimyoviy ekvivalenti. Yuqoridagilarni hisobga olib, (5.1) ifodani qayta yozamiz:

$$m = k \cdot I \cdot t \quad (5.2)$$

Faradey II – qonuni: Barcha moddalarning elektrokimyoviy ekvivalenti ularning kimyoviy ekvivalentiga proporsionaldir.

$$k \sim \frac{M}{Z}; \quad k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{Z}; \quad (5.3)$$

M – moddaning molekulyar massasi, Z – misning valentligi, F – Faradey soni, $\frac{M}{Z}$ – moddaning kimyoviy ekvivalenti.

(5.1) va (5.3) formulalardan Faradeyning birlashgan qonuni kelib chiqadi, ya'ni:

$$- - \quad (5.4)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, agar q – zaryad son jihatdan F ga teng bo'lsa, u holda m – massa son jihatdan $\frac{M}{Z}$ ga teng bo'ladi.

Demak, elektrodalarda kimyoviy ekvivalentga son jihatdan teng bo'lgan modda massasi ajralib chiqishi uchun elektrolitdan Faradey soniga teng miqdorda zaryad o'tishi kerak ekan.

Katodda ajralib chiqqan moddaning miqdori ionlar soniga proporsional, ya'ni:

$$m = m_i \cdot N_i \quad (5.5)$$

m_i – bitta ionning massasi, N_i – elektroliz vaqtida o'tgan ionlar soni. Ion deganda bitta yoki bir necha elektronlarni yo'qotgan musbat ion yoki olgan (manfiy ion) atom yoki molekular tushiniladi. Bunga asosan bitta ionning massasi va zaryadi

$$m = \frac{M}{N_A}; \quad q_i = e \cdot Z \quad (5.6)$$

ga teng bo'ladi, bu yerda N_A – Avogadro soni, e – elektronning zaryadi, Z – misning valentligi, q_i – mis ionining zaryadi.

Agarda elektroliz davomida (t – vaqtda) hamma o'tgan zaryad miqdorini deb hisoblasak, u holda katodga o'tgan ionlar soni

$$N_i = \frac{q}{q_i} \quad (5.7)$$

Shunday qilib elektroliz vaqtida (t – vaqtda) katodda ajralgan modda miqdori

$$m = \frac{M}{N_A} \cdot \frac{1}{e \cdot z} \cdot q = k \cdot q \quad (5.8)$$

ga teng bo'ladi. (5.3) va (5.8) formulalardan Faradey soni uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$F = e N_A \quad (5.9)$$

O'lchashlar va natijalarni ta'hlil qilish:

1. 5.2 – rasmdagi elektr sxema tuziladi. Katodni aniqlab olish kerak. Kalitni ulab reostat surgichini surib, ampermetrdagi tokni 0,45 A ga keltirish kerak.

2. 1 – banddagi ishlar bajarilgandan keyin, kalit uziladi va katod plastinka vannadan chiqariladi, quritiladi keyin esa tarozida tortiladi. Katodning bu o'lchangan qiymati yozib olinadi (m_0).

3. Tortilgan va massasi aniqlangan katod yana vannaga joylashtirilgach, kalitni ulaymiz va bir vaqtda sekundomerni ishga tushiramiz. Ish davomida tokni doimiy saqlash kerak. 45 minut o'tgach kalitni uzamiz. Katodni vannadan chiqarib yuvamiz, quritamiz va yana tarozida tortamiz (m_1), $\Delta m_1 = m_1 - m_0$, $t = 45$ minutda katodda ajralgan misning massasini beradi.

4. Shu tariqa tajribani yana ikki marta takrorlab, olinganlarni birinchi jadvalga kiritamiz.

1-jadval.

No	m(i), (mg)	t(i), sek
1		
2		
3		

5. Har bir tajriba davomida ($t = 45$) minutda katodda ajralgan (o'tgan) misning miqdorini topamiz va (5.2) formulaga binoan elektrokimyoviy ekvivalentni hisoblaymiz.

6. Avogadro sonini (N_A), moddaning molekulyar massasini (M) tegishli jadvallardan aniqlab, qolgan kattaliklar Z , q_i , q , e , F lar hisoblanadi.

Nazorat savollari

1. Faradeyning 1 – qonunini ta'riflang va isbotini keltiring.
2. Faradeyning 2 – qonunini ta'riflang va isbotini keltiring.
3. Faradeyning umumlashgan qonunini tushuntiring.
4. Galvanoplastina va galvanostegiya nima?
5. Faradey doimiysining fizik ma'nosini tushuntiring.
6. Elektrolitik dissotsiatsiya hodisasini tushuntiring.
7. Ionlarning harakatchanligi va elektrodning elektr o'tkazuvchanligini tushuntiring.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]-18 bob, 189-193- §§.. [2]-6 bob, 92-96- §§.. [5]-5 bob, 64-69- §§.

6 (82) - LABORATORIYA ISHI

TAQASIMON MAGNIT MAYDONIDA TOKLI O'TKAZGICHGA TA'SIR ETUVCHI KUCHNI O'LCHASH

Kerakli asbob va uskunalar: Taqasimon magnit, kuch sensori, o'tkazgich halqalar to'plami, o'tkazgich halqalarlar uchun taglik, elektron dinamometr, ko'p simli ulash kabeli, yuqori energiyali manba, kichik shtativ (V – shaklida), shtativ tayoqchasi, Leybold ko'ptutgich, ko'ndalang kesimi 2.5 mm^2 bo'lgan ulash kabellari.

Laboratoriya ishinin maqsadi:

Taqasimon magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni tok kuchining funksiyasi sifatida o'lchash.

Taqasimon magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni o'tkazgich uzunligi funksiyasi sifatida o'lchash.

Taqasimon magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni magnit maydoni va tok yo'nalishi o'rtasidagi burchakning funksiyasi sifatida o'lchash.

Magnit maydonini hisoblash.

Qisqacha nazariya: Magnit maydon induksiyasi vektori, yoki soddaroq qilib aytganda magnit induksiya $\vec{B}$ vektor kattalik hisoblanadi. B magnit maydonida ϑ tezlik bilan harakatlanayotgan q zaryadga tezlikning kattaligi va yo'nalishidan hamda magnit maydoni kuchlanganligidan va yo'nalishidan bog'liq bo'lgan kuch ta'sir etadi. Bu kuchni topish uchun quyidagi munosabatdan foydalaniladi:

$$q[\vec{v}\vec{B}] \quad (6.1)$$

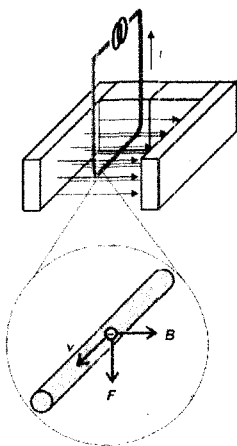
Lorents kuchi deb ataluvchi bu kuch ham vektor kattalik bo'lib u va $\vec{B}$ lar bilan aniqlanadigan tekislikka perpendikulyar ravishda tasir etadi.

Tokli o'tkazgichga magnit maydonida ta'sir etayotgan kuchni tokni hosil qiluvchi va shu maydonda harakatlanayotgan individual zaryad tashuvchilarga ta'sir etuvchi kuch tashkil etuvchilarining yig'indisi deb tushunish mumkin. (6.1) tenglamaga asosan Lorents kuchi $\vec{v}$ dreif tezlik bilan harakatlanayotgan har bir individual q zaryadga ta'sir etadi (6.1 – rasm). To'g'ri o'tkazgich uchun bu umumiy kuch:

$$l[\vec{v}\vec{B}] \quad (6.2)$$

Bu yerda n – zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi, S – o'tkazgich kondalang kesim yuzasi, l – o'tkazgichning magnit maydonida joylashgan qismining uzunligi.

Umumiy holda o'tkazgich kesimining yo'nalishini ko'rsatuvchi $\vec{l}$ vektorni kiritish qulay hisoblanadi. Bundan tashqari q ko'paytma I tok kuchiga teng. Shunday qilib magnit maydonining tokli o'tkazgich segmentiga ta'sir etuvchi kuchi quyidagi tenglamadan topiladi:



6.1 – rasm.

$$I \cdot [\vec{l}\vec{B}] \quad (6.3)$$

Bu kuchning absolyut qiymati esa quyidagi tenglamadan topiladi:

$$F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin\alpha \quad (6.3^1)$$

bu yerda α – magnit maydoni va tok kuchi yo'nalishi orasidagi burchak.

Tajriba qurilmasi va ishini bajarish tartibi

Bu tajribada 10 A gacha tok o'tkazadigan to'g'ri to'rt burchak shaklidagi otkazgich halqa taqasimon magitning gorizontal maydoniga joylashtiriladi. Otkazgichning gorizontal qismiga ta'sir etuvchi kuch o'lchanadi. Otkazgichning ikki vertikal qismiga ta'sir etuvchi kuchlar o'zaro kompensatsiyalanadi.

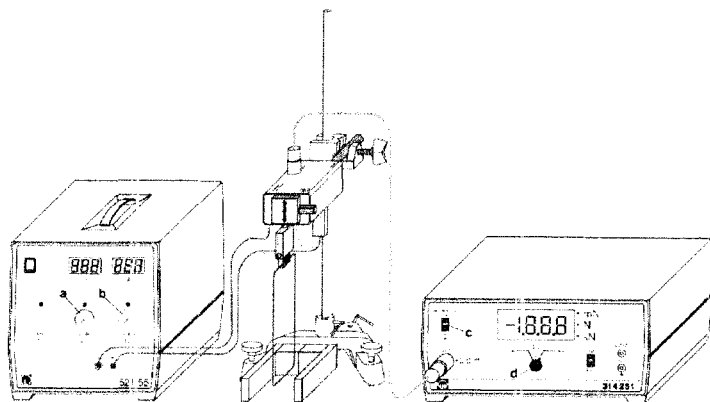
O'tkazgich halqa kuch sensoriga ulanadi. U egilgan qismga ega bo'lib unga o'lchash asbobiga biriktiriladi. Bu elementlarning elektr qarshiligi o'zgartirilishi mumkin. Qarshilikdagi o'zgarish hosil bo'ladigan kuchga to'g'ri proporsional. Unga ulangan dinamometr qarshilikdagi o'zgarishni o'lchaydi va unga mos kuchni ko'rsatadi.

6.2 – rasmda ko'rsatilgandek qurilmani yig'ing.

Qisqa tutashuv bo'lmasligi uchun o'tkazgich halqa uchun taglik kabelining izolyatsiyalanmagan qismi tegib qolmasligiga ishonch hosil qiling.

Dinamometr o'lchash diapozonining kalitini 2000 ga o'rnatib.

Tajribalar faqatgina tor qismga ega bo'lmagan o'tkazgich halqalardan foydalanib o'tkaziladi. Tokni o'rnatishning eng oson yo'li tokni nazorat qilish tugmasi (b) dan foydalanib bajarilishi mumkin. Kuchlanishni nazorat qilish tugmasi (a) hamma vaqt o'ng tarafga burilgan holda turadi.



6.2 – rasm. Magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni o'lchash qurilmasi.

Eslatmalar: O'lchanayotgan kattalikning qiymati juda kichik bo'lganligi sababli o'lchashlarga tashqi ta'sirlar oson xalaqit berishi mumkin. Atrofda temperaturaning o'zgarishidan, siljishlardan va taqillashlardan saqlaning.

Dinamometr tajribalarning boshlanishidan kamida 15 minut qizdirilishi lozim. Dinamometrni ulanga kuch sensori bilan qurilma orqa tarafidagi asisiy kalit yordamida qo'shing. 20 A tokni o'tkazgich

halqadan va ta'minlash manbaidan faqat qisqa muddat (bir necha minut) o'tkazish mumkin.

Taqasimon magnitning magnit maydoni bir jinsli emas. Barcha tajribalar uchun o'tkazgich halqani taqasimon magnit qo'llari o'rtasida shunday joylashtiringki, magnit maydonining ta'siri imkoni boricha bir jinsli bo'lsin.

a) O'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchning tok funksiyasi (I) sifatida o'lchashlar:

Dastlab kengligi 8 sm bo'lgan o'tkazgich halqani kuch sensoriga ulang.

Tokni nazorat qilish (b) tugmasini hamma vaqt chap tarafga burilgan holda va kuchlanishni nazorat qilish tugmasi (a) ni hamma vaqt o'ng tarafga burilgan holda o'rnatib. Keyin yuqori tok manbaini qo'shing.

Dinamometrning nol nuqtasini kompensatsiyalash uchun SET pozitsiyasida COMPENSATION kalitini (c) tanlang.

Tokni nazorat qilish tugmasi (b) yordamida tokni 2 A qadam bilan 10 A gacha oshiring. Tokning har bir qiymati uchun dinamometrdan kuchni yozib oling va bu qiymatlarni tajriba daftaringizga jadval tuzib yozib oling.

Tok kuchini $I = 0$ A ga o'rnatib va kuchning nol nuqtasini tekshiring.

b) O'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchning o'tkazgich uzunligi funksiyasi $F(l)$ sifatida o'lchashlar:

Dastlab kengligi 4 cm bo'lgan o'tkazgich halqani kuch sensoriga ulang.

Dinamometrning nol nuqtasini kompensatsiyalash uchun SET pozitsiyasida COMPENSATION kalitini (c) tanlang.

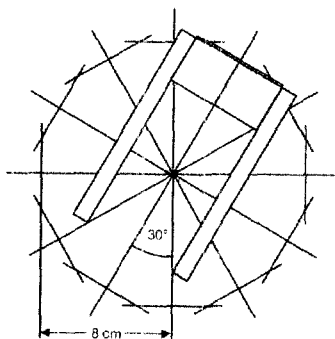
Tok kuchini $I = 6$ A sathga o'rnatib. Tokning bu qiymati uchun dinamometrdan kuchni yozib oling va bu qiymatlarni tajriba daftaringizga yozing.

Tok kuchini $I = 0$ A ga o'rnatib va kuchning nol nuqtasini tekshiring.

Tajribani 1 cm, 2 cm, 8 cm li o'tkazgich halqalar uchun takrorlang.

c) O'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchning induksiya vektori va tokning yo'nalishlari orasidagi burchak funksiyasi sifatidagi o'lchashlar:

Tavsiya: magnit maydonining bir jinslimasligini kompensatsiyalash uchun va xususiy aylanish burchagini o'rnatish uchun moslama yasang (6.3 – rasimga qarang).



6.3 – rasm. Taqasimon magnitni kerakli holda joylashtirish uchun moslamadan foydalanish.

Bu moslama taqasimon magnitni kerakli holda joylashtirishni osonlashtiradi va aniqlashtiradi.

Tokni nazorat qilish tugmasini chap tarafga buring va 4 cm kenglikdagi o'tkazgich halqani kuch sensoriga ulang.

Moslamani o'tkazgich halqaning atrofiga shunday joylashtiringki, moslamaning markazi o'tkazgich halqaning gorizontal qismining o'rtasiga joylashsin va moslama chiziqlaridan biri o'tkazgich gorizontal qismiga parallel bo'lsin.

Taqasimon magnitni shunday joylashtiringki, magnit maydon va o'tkazgich gorizontal qismi parallel bo'lsin.

Dinamometrning nol nuqtasini kompensatsiyalash uchun SET pozitsiyasida COMPENSATION kalitini (c) tanlang.

Tok kuchi sathini $I = 6$ A qilib o'rnatang.

Magnitni 30^0 burchakli qadam bilan 360^0 gacha buring va har bir burchak uchun dinamometrdan kuchni yozib oling.

Tok kuchini $I = 0$ A ga o'rnatang va kuchning nol nuqtasini tekshiring.

Yuqoridagi o'lchashlardan olingan natijalar asosida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchning barcha parametrlarga bog'liqlik grafiklarini millimetrl qog'ozda chizing va tahlil qiling.

O'ldashlardan olingan natijalar asosida taqasimom doimiy magnitning magnit maydonining induksiya vektorini (6.3¹) – formulaga asosan hisoblang va tahlil qiling.

Nazorat savollari

1. Magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch. Amper kuchi.
2. Parallel toklarning o'zaro magnit ta'siri.
3. Chap qo'l qoidasini tushuntiring.
4. Parallel bo'lmagan toklarning o'zaro magnit ta'sirini tushuntiring.
5. Magnit o'zaro ta'sirlarini qanday yo'qotish mumkin.
6. Magnit maydon kuchlanganligi 1 A/m ni fizik ma'nosini tushuntiring.
7. Magnit maydonida joylashgan tokli kontur. Magnit momenti.
8. Magnit maydonida o'zgaruvchan tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch.
9. Tokli konturni magnit maydonida ko'chirishda bajarilgan ish.
10. Taqasimon magnit shakli boshqa shaklga o'tkazilsa, tajriba natijalariga qanday ta'sir etadi?
11. Bir jinsli bo'lmagan magnit maydonida tokli konturga ta'sir etuvchi kuch.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]-8 bob, 75 - 89- §§.. [2]-6 bob, 92-96- §§.. [5]-5 bob, 64-69- §§.

7 (83) - LABORATORIYA ISHI

TOKLI TO'G'RI O'TKAZGICH VA AYLANMA HALQANING MAGNIT MAYDONINI O'LCHASH

Kerakli asbob va uskunalari: O'tkazgichlar to'plami, teslametr, aksial B – proba, tangensial B – probe, ko'p o'zakli kabel, yuqori energiyali manba, kichik optik stol, shtepsel elementlari tutgichi, leybold ko'ptutgich, shtativ(V – shaklda), ikki yo'lli adapterlar to'plami, ulash simlari.

Laboratoriya ishining maqsadi: To'g'ri o'tkazgich va aylanma halqaning magnit maydonining induksiyasini tok kuchining funksiyasi sifatida o'lchash;

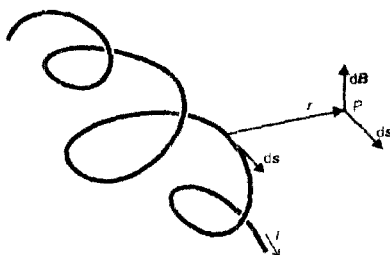
To'g'ri o'tkazgich magnit maydonining induksiyasini o'tkazgich o'qidan hisoblanadigan masofaning funksiyasi sifatida o'lchash;

Aylanma halqa shaklidagi o'tkazgich magnit maydonining induksiyasini halqa radiusining funksiyasi sifatida va halqa o'qidagi nuqtadan halqa markazigacha masofaning funksiyasi sifatida o'lchash.

Qisqacha nazariya: Bio – Savar – Laplas qonuniga asosan I tok o'tayotgan o'tkazgich atrofidagi P nuqtadagi magnit maydoni o'tkazgichning cheksiz kichik qismlarining magnit maydonlarining ulushlarining yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$\vec{B} = \dots \quad (7.1)$$

O'tkazgichning uzunligi va yo'nalishi $d\vec{s}$ vektor yordamida ifodalanadi. O'tkazgichning kichik qismidan P nuqtaga o'tkazilgan radius vektor $\vec{r}$ orqali berilgan (7.1 – rasmga qarang).

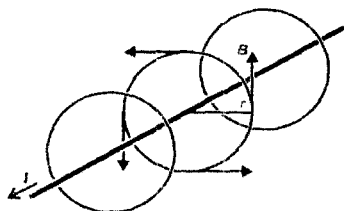


7.1 – rasm.

Shuning uchun umumiy magnit maydon integral hisob yordamida aniqlanadi. Bu holda analitik yechim faqat ma'lum simmetriyaga ega bo'lgan o'tkazgichlar uchun hisoblanishi mumkin bo'ladi. Masalan cheksiz uzun o'tkazgichning magnit maydoni o'tkazgich o'qidan r masofada quyidagiga teng bo'ladi:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{2}{r} \quad (7.2)$$

Maydon kuch chiziqlari silindr o'qi atrofida konsentrik shaklda bo'ladi. (7.2 – rasimga qarang)

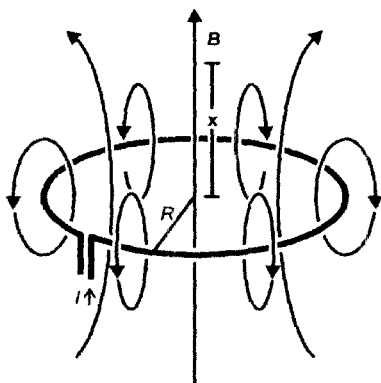


7.2 – rasm.

Radiusi R bo'gan aylanma halqa shaklidagi o'tkazgichning aylana o'qi ustida halqa markazidan x masofadagi nuqtaning magnit maydoni quyidagicha:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot 2\pi \cdot \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (7.3)$$

Uning maydon kuch chiziqlari aylana o'qiga parallel bo'ladi (7.3 – rasimga qarang).

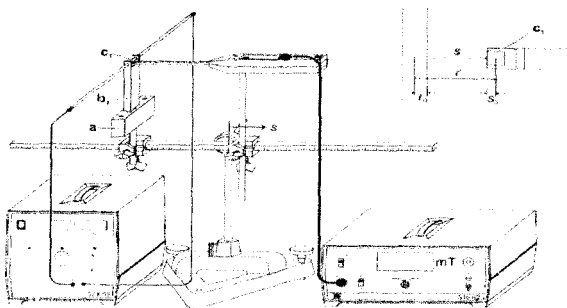


7.3 – rasm. Aylanma halqa shaklidagi o'tkazgichning magnit maydoni

Tajriba qurilmasi va ishning bajarish tartibi

a) **To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni.** Bu tajribada yuqorida qayd etilgan o'tkazgichlarning magnit maydoni mos ravishda aksial yoki tangensial B – probe metodi yordamida o'lchanadi. B – probening Xoll datchigi yupqa plastinka shaklida bo'lib, u magnit maydonining o'z yuzasiga perpendikulyar bo'lgan komponentalariga sezgir bo'ladi. Shuning uchun magnit maydoni kuchlanganligining nafaqat qiymatini balki uning yo'nalishini ham aniqlash mumkin. To'g'ri o'tkazgich uchun magnit maydon induksiyasi B ning r masofadan bog'liqligi o'rganiladi, aylanma shakldagi otkazgich uchun esa fazoviy koordinata x dan bog'liqligi o'rganiladi. Bundan tashqari, magnit maydon induksiyasi B va tok kuchi I o'rtasidagi proportsionallik ham tekshirib ko'riladi.

Tajriba qurilmasi 7.4 – rasmda tasvirlangan.



7.4 – rasm. To'g'ri o'tkazgichning magnit maydonini o'lchash uchun tajriba qurilmasi.

1. Kichik optik qurilmani shtativga o'rnatish va uni gorizontal holatda joylashtirish.
2. (a) shtepsel uchun tutgichni Leyboldga mahkamlang.
3. To'g'ri o'tkazgich uchun tutgichni mahkamlang, to'g'ri o'tkazgichni unga o'rnatish va katta tokli manbaga ulang.
4. Tangensial B – probeni teslametrga ulang va teslametрни nolini o'rnatish (teslametr uchun ko'rsatmalarga qarang).

5. Tangensial B – probening chap uchini Leyboldga shkalada 50.0 cm belgiga va to'g'ri o'tkazgich o'rtasining balandligiga to'g'irlab o'rnatish.

6. To'g'ri o'tkazgichni Xoll datchigi tomon deyarli unga tegadigan darajada yaqin qilib o'rnatish ($l = 0$ bo'lsin).

7. Tok kuchi I ni har 2 A qiymatga 0 A dan, 10 A gacha oshirish. Har safar B magnit maydonini o'lchang, qiymatini yozib oling.

8. $I = 10$ A ga B – probeni unga tomon qadam – ba qadam siljiting, B magnit maydonini masofaning funksiyasi sifatida o'lchang va qiymatlarini yozib oling.

9. Olingan natijalar bo'yicha tokli to'g'ri o'tkazgich magnit maydonining induksiyasini o'tkazgich o'qidan hisoblanadigan masofaga bog'liqlik grafigini chizib tahlil qiling.

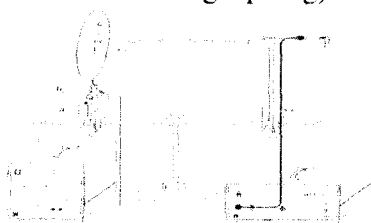
b) Aylanma halqa shaklidagi o'tkazgichning magnit maydoni.

Tajriba qurilmasi 7.5 – rasmda tasvirlangan.

1. To'g'ri o'tkazgich uchun tutgichni o'tkazgich halqa uchun adapter bilan almashtirish va unga diametric 40 mm bo'lgan o'tkazgich halqani birlashtirish.

2. Otkazgich halqani ulash kabellari yordamida tutgichning (a) shlepselli elementining pozetkalariga ulash.

3. Aksial B – probe ni teslametrga ulash va teslametning nolini o'rnatish (teslametr uchun ko'rsatmalarga qarang)



7.5 – rasm. Aylanma halqa shaklidagi o'tkazgichning magnit maydonini o'lchash uchun tajriba qurilmasi.

4. Aksial B – probe ni Leybold ga chap uchi 70.0 cm shkala belgisiga to'g'irlab joylashtirish. B – probe ni o'tkazgich halqa markaziga to'g'rilab joylashtirish.

5. O'tkazgich halqani imkoni boricha Xoll datchigiga aniq joylashtirish.

6. I tok kuchini har safar 2 A qiymatga 0 A dan to 10 A qiymatgacha oshiring. Har safar magnit maydonini o'lchang va qiymatini yozib oling.

7. $I = 10\text{ A}$ da B – probe ni chap tarafga va ong tarafga qadam – ba qadam siljiting, har safar magnit maydonini o'lchang, ya'ni magnit maydonini fazoviy koordinata x ning funksiyasi sifatida o'lchang. O'lchagan qiymatlarni yozib oling.

8. 40 mm li o'tkazgich halqani 80 mm li o'tkazgich halqa bilan almashtiring va keyin 120 mm li o'tkazgich halqa bilan almashtiring. Barcha hollarda magnit maydonini fazoviy koordinata x ning funksiyasi sifatida o'lchang.

9. Olingan natijalar asosida aylanma halqa shaklidagi o'tkazgich magnit maydonining induksiyasini halqa radiusiga bog'liqlik funksiyasi va halqa o'qidagi nuqtadan halqa markazigacha bo'lgan masofaga bog'liqlik grafigini tuzib tahlil qiling.

Nazorat savollari

1. Magnit maydonlar uchun superpozitsiya qonunini tushuntiring va isbotini keltiring.

2. Bio – Savar – Laplas qonunini tushuntiring va qo'llanilish chegarasini ko'rsating

3. To'g'ri tok magnit maydonini hisoblash formulasini keltirib chiqaring.

4. Aylanma tok magnit maydonini hisoblash formulasini keltirib chiqaring va tushuntiring.

5. To'g'ri va aylanma tok magnit maydonlarini o'rganishning ilmiy va amaliy ahamiyatlarini tushuntiring.

6. Xoll datchigi tuzulishi va ishlash prinsiplarini tushuntiring.

7. O'lchash natijalarining absolut va nisbiy xatoliklarini tushuntiring.

8. Magnit maydon induksiyasi va kuchlanganligi fizik ma'nolarini tushuntiring.

9. Yer magnit maydoni o'lchash natijalariga qanday ta'sir ko'rsatadi?

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]-28 bob, 189-193-paragraflar. [2]-6 bob, 92-96-paragraflar. [5]-5 bob, 64-69-paragraflar.

8 (54)- LABORATORIYA ISHI

YER MAGNIT MAYDON KUCHLANGANLIGINING GORIZONTAL TASHKIL ETUVCHISINI ANIQLASH

Kerakli asboblari: Tangens – Bussol, ampermetr, reostat, o'zgarimas tok manbai, qo'sh kalit.

Laboratoriya ishinin g maqsadi: O'tkazgichdan elektr toki o'tishi bilan bog'langan magnit hodisalar va yer magnetizmini va shunga bog'liq bo'lgan masalalarni yechishda bu hodisalardan foydalana bilishni o'rganishdir.

Qisqacha nazariya: Yerning magnit maydoni mavjudligibirinchii marotaba angliyalik shifokor Gilbert tomonidan e'tirof etilgan. Gilbert magnit rudasidan olingan sharcha bilan magnit strelokasi orasidagi o'zaro ta'sirni o'rganib chiqib Yer ulkan magnit degan xulosaga keldi.

Yerning janubiy magnit qutbi 1831 yilda angliyalik tadqiqotchi Djon Ross tomonidan Kanada arxipelagida, Yerning shimoliy magnit qutbi esa 1841 yilda Djeym Ross (Djon Rossning jiyani) tomonidan Antarktidada ekanligi aniqlangan.

So'nggi 160 million yil ichida Yerning shimoliy va janubiy magnit qutblari o'z o'rnini 100 marta almashtirgan. Oxirgi almashtirish taxminan 720 ming yil avval sodir bo'lgan.

Geomagnit maydon tabiati

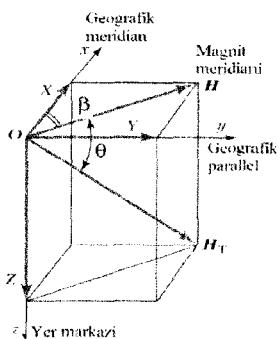
Hozirgi paytda, geomagnit maydon asosan Yerning suyuq metall yadrosida yuzaga keluvchi oquvchi toklar tufayli paydo bo'ladi degan faraz keng tarqalgan. Magnit maydoning bunday paydo bo'lish modeli "gidromagnit dinamo" deb ataladi. Gidromagnit dinamo (dinamo effekti) tushunchasi shundan iboratki, bunda o'tkazuvchan suyuqlik yoki gaz plazmasi harakati tufayli o'z - o'zidan magnit maydoni paydo bo'ladi.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, agar konvektiv oqimlar o'q simmetriyasiga ega bo'lmasa unda gidrodinamo ish bajarishi mumkin ekan. Yerda aylanish o'qi va magnit maydon o'qlari ustma - ust tushmaganligi sababli yuqoridagi shart bajariladi.

Hisob kitoblar shuni ko'rsatadiki, geodinamonin g ishi magnit maydoni fluktuatsiyalariga sabab bo'luvchi erigan nikel - temir oqimlaridagi xotik o'zgarishlar bilan bog'liq ekan. Yer magnit

maydonining inversiyasi (o'zgarishi) juda katta fluktuatsiya bo'lib, uni oldindan bashorat qilish hozirgi paytda mumkin emas. Magnit dinamosi mexanizmi Yerning magnit qutblari siljishi va almashinish hodisalarini qoniqarli ravishda ifodalaydi va Venerada nega magnit maydon yo'qligini tushuntiradi. Yana shuni ta'kidlash kerakki, Yerning magnit maydoniga ionosferadagi (atmosferaning 400-500 km dagi yuqori qismi) toklar ham o'z hissasini qo'shadi.

Shunday qilib, Yer tabiiy magnit bo'lib, uning magnit qutblari geografik qutblariga yaqin (300 km) joylashgan. Biror nuqtada Yer magnit maydonining kattaligi haqida to'liq ma'lumotga ega bo'lish uchun Yer magnetizmining uchta elementini yaxshi bilishimiz lozim; bular – magnit maydoni induksiyasining gorizontal tashkil etuvchisi, magnit og'ishi va magnit qiyalanishi.



8.1-rasm

Magnit og'ishi – Yer yuzasidagi geografik va magnit meridianlar orasidagi β burchak (8.1-rasm). Magnit strelkamizning shimoliy uchi geografik meridianga nisbatan sharq tarafga og'gan bo'lsa magnit og'ishi musbat, g'arb tomonga og'gan bo'lsa manfiy hisoblanadi. Magnit og'ishining qiymatlari magnit xaritalarda qayd etiladi va kompas orqali haqiqiy meridianni aniqlashda foydalaniladi.

Magnit qiyalanish – θ gorizont tekisligi va magnit kuch chiziqlari orasidagi burchak. Yerning magnit qutblari va turli katta magnit anomaliyasi bor hududlarda magnit qiyalanish 90^0 ga teng bo'ladi.

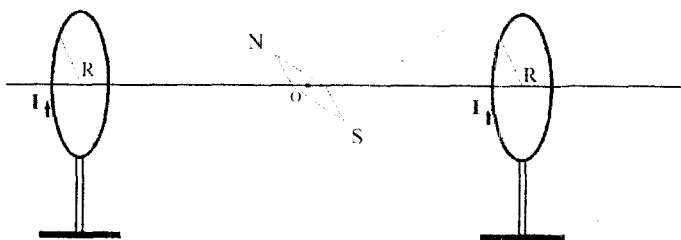
Biror nuqtada magnit maydon induksiyasining qiymatini aniqlash uchun berilgan hudud uchun magnit meridiani tekisligini ko'rib chiqamiz. Geomagnit meridian deb magnit maydon kuch chiziqlarining Yer sathiga tushirilgan proeksiyasi tushuniladi. Magnit meridianlar aslida murakkab egri chiziqlar bo'lib Yerning shimoliy va janubiy qutblarida birlashadi.

Amalda esa Yer magnit maydonining gorizontal tashkil etuvchisini to'g'ridan - to'g'ri aniqlash ancha qulayligi ma'lum bo'ldi. Shuning uchun, ko'p hollarda, Yerning magnit maydoni uchta kattalik

bilan xarakterlanadi: bular magnit og'ishi, magnit qiyalanishi va magnit maydonining gorizontal tashkil etuvchisining son qiymati.

Yer magnit maydoni induksiyasining gorizontal tashkil etuvchisini aniqlash uchun biror nuqtada yo'nalishi gorizontal bo'lgan sinov magnit maydoni va Yer magnit maydoni gorizontal tashkil etuvchisining superpozitsiyasini ko'rib chiqish kerak.

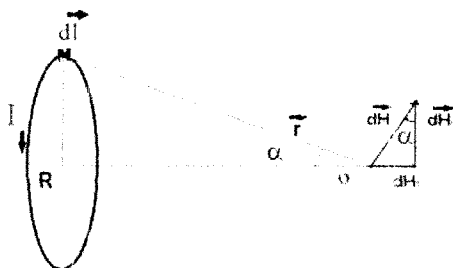
Bunday masalani yechish uchun, magnit sterlkasi tangens – bussol (bitta g'altak) markazida o'rnatilishi o'rni, oralarida magnit maydoni bir jinsli bo'ladigan ikkita g'altak (Gelmgolts g'altaklari) markazlarini o'rtasida, bu g'altaklar markazidan o'tgan o'qda joylashgan bo'ladi. Gelmgolts g'altagi ikkita ketma – ket ulangan g'altakdan iborat bo'lib, ularning R radiuslari g'altaklar orasidagi masofaga tengdir. Gelmgolts g'altaklari ketma – ket ulangani uchun o'ramlardan o'tgan tok bir xil bo'ladi. G'altaktagi toklar hosil qilgan magnit maydonlar yo'nalishi bir xil bo'lib, natijaviy maydonning yo'nalishi tashkil etuvchilar yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. O nuqtadagi natijaviy magnit maydon kuchlanganligi $\vec{H}$, ikkita (birinchi va ikkinchi) g'altakning (8.2 – rasm) shu nuqtada hosil qilgan $\vec{H}_1$ va $\vec{H}_2$ maydon kuchlanganliklarining yig'indisiga teng bo'ladi (ya'ni: $\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$).



8.2 – rasm.

Har bir g'altak uchun aylanma tokning markazidan o'tuvchi o'qdagi istalgan nuqtaning magnit maydon kuchlanganligi formulasini ishlatib, magnit strelka o'rnatilgan joydagi (O nuqtadagi) bitta g'altakdan hosil bo'lgan magnit maydon kuchlanganligini topamiz (8.3 – rasm).

O'ram uzunligini dl elementlarga bo'lib chiqamiz va 8.2 – rasmdan ko'ringanidek, o'ramning hamma elementlari O nuqtadan bir xil (r) masofada joylashgan bo'ladi.



8.3 – rasm.

O'ram radiusini R , o'ram markazidan magnet strelkasi joylashgan nuqtagacha bo'lgan masofani h va o'ramdan o'tayotgan tokni I desak, Bio – Savar – Laplas qonuniga binoan dl tok elementidan r masofada joylashgan O nuqtadagi magnet maydon kuchlanganligi

$$d\vec{H} = k_I \cdot \frac{[I d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{r^3}, \quad dH = k_I \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin \theta}{r^2} \quad (8.1)$$

formula bilan ifodalanadi. Bundagi burchak tok elementi bilan radius vektor orasidagi burchak, k_I -birliklar sistemasiga bog'liq bo'lgan koeffitsient, (SGS birliklar sistemasida $k_I = \frac{1}{c}$, SI birliklar sistemasida $k_I = \frac{1}{4\pi}$) 8.2 – rasmdan ravshanki, O nuqtada tokli bitta o'ram hosil qilgan magnet maydon kuchlanganligi

$$= \int dH_t = \int dH \sin \alpha \quad (8.2)$$

bo'ladi. Bu erdagi α - radius vektor bilan o'q orasidagi burchak.

(8.1) formulani (8.2) ga qo'yib, integrallash natijasida tokli bitta o'ramdan hosil bo'lgan magnet maydon kuchlanganligini topamiz:

$$H_1 = k_I \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot I \cdot R^2}{r^3} = k_I \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot I \cdot R^2}{\sqrt{(R^2 + h^2)^3}} \quad (8.3)$$

Ikkita g'altaklarni shunday ketma – ket ulaymizki, g'altaklarning O nuqtada hosil qilgan magnet maydon kuchlanganliklari bir xil yo'nalgan bo'lsin, u holda superpozitsiya prinsipiga asosan umumiy hosil bo'lgan maydon kuchlanganligi:

$$\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$$

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + 2 \cdot H_1 \cdot H_2 \cdot \cos(\vec{H}_1, \vec{H}_2)},$$

bu erda $(\vec{H}_1, \vec{H}_2) = 0^\circ$ bo'lgani uchun: $H = H_1 + H_2$ kelib chiqadi.

G'altaklardagi o'ramlar soni $N_1 = N_2 = N$ bo'lsa, u holda

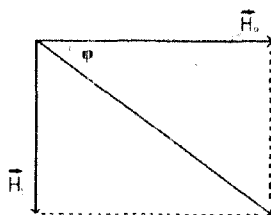
$$H = 2H_1 \cdot N = k_1 \frac{4 \cdot \pi \cdot I \cdot R^2 N}{\sqrt{(R^2 + h^2)^3}} \quad (8.4)$$

Ikkita g'altakdan O nuqtada vujudga kelgan aylanma tokning magnit maydon kuchlanganligining SI sistemasidagi formulasi quyidagicha bo'ladi:

$$H = \frac{I \cdot R^2 \cdot N}{\sqrt{(R^2 + h^2)^3}} \quad (8.4^1)$$

R va h larning son qiymatlari chizg'ich bilan o'lchanadi. N esa bitta g'altak uchun sanaladi. Bu formuladagi I Amperlarda, R va h metrlerde o'lchansa, $[H]$ -A/m larda hisoblanadi.

Shunday qilib, g'altakdan elektr toki o'tayotganda, strelka bir paytda ikkita maydon -Yerning magnit maydoni va aylanma tok vujudga keltirgan maydoni ta'sirida bo'ladi. Kompas strelkasining orientatsiyasi natijaviy kuchlanganliklar vektori yo'nalishi tomonida bo'ladi. Shuning uchun aylanma tokning magnit maydonini Yerning magnit maydoniga tik joylashtirish kerak (8.4 – rasm)



8.4 – rasm.

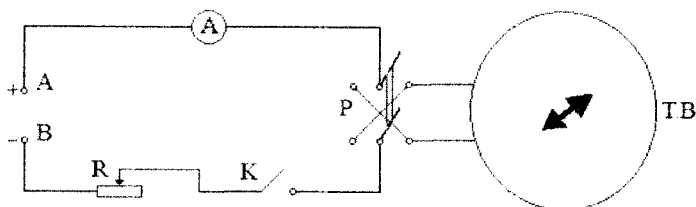
Kompas strelkasining (Yerning magnit maydon yo'nalishiga (H_0 nisbatan) og'ish burchagini φ bilan belgilasak, Yer magnit maydonining gorizonttal tashkil etuvchisi

$$H_y = \frac{H_y}{\operatorname{tg} \varphi}$$

yoki

$$H_0 = \frac{R^2 \cdot N}{\sqrt{(R^2 + h^2)^3}} \cdot \frac{I}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (8.5)$$

bo'ladi.



8.5 – rasm.

Ishning bajarish tartibi:

1. Laboratoriya ishining elektr sxemasi 8.5 – rasmda ko'rsatilgandek yig'iladi, «A» va «B» doimiy tok manbayining klemmalari, R – reostat, K – kalit, P – kommutator bo'lib, uning yordamida tangens – bussoldagi tokning yo'nalishini o'zgartirish mumkin. TB – tangens – bussol, A – ampermetr.

2. T.B o'ramining tekisligini magnit strelkasi yo'nalishida o'rnatiladi (strelka yaqinida temir va po'lat buyumlari bo'lmasligi zarur.)

3. Tok qiymatini tanlab olish:

a) R reostat surilgichini siljitib, tangens bussolga ma'lum tok yuboriladi va u yoziladi. Tokning bu qiymatiga to'g'ri kelgan magnit strelkasining ikki tomonidagi ko'rsatishlari (burchaklari) yozib olinadi;

b) Tok qiymatini doimiy saqlab, kommutator yordamida tangens bussoldagi tok yo'nalishini o'zgartirib, yana strelkaning ikki tomonidagi ko'rsatishlari yoziladi.

v) R reostat yoradmiida tokni o'zgartirgan holda yuqoridagi o'lchashlar yana qaytariladi (φ - burchak 45^0 dan oshmasligi kerak).

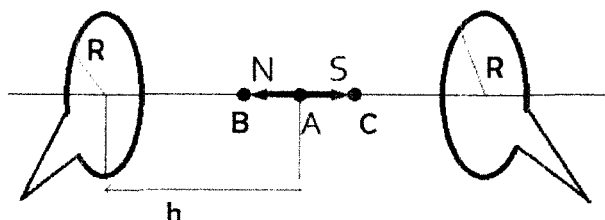
g) Chizg'ich yordamida o'ramning diametri o'lchanadi va o'ramlar soni sanaladi;

d) O'lchash natijalari quyidagi jadvalga yoziladi:

1-jadval.

№	$I (A)$	Kompas strelkasining og'ishi				$\langle \varphi \rangle$	$\text{tg} \langle \varphi \rangle$	$H_0 (A/m)$
		φ_1	φ_2	φ_3	φ_4			
1								
2								
...								

Bu laboratoriya ishini bajarishda Gelmgolts g'altagi o'rniga bitta g'altak olib, bu g'altak o'qi o'rtasiga magnit strelkasi (kompas) joylashtirilsa ham bo'ladi. Biroq Gelmgolts g'altagidagi hosil bo'lgan magnit maydon kuchlanganligi, bitta tokli g'altak magnit maydon kuchlanganligiga nisbatan birjinslidir.



8.6 – rasmi.

Markazda joylashgan magnit strelkasi nuqtaviy emas, balki magnit strelka uzunligi (8.8 – rasmi) taxminan 4 cm lar chamasiga bo'ladi. U holda uchlari o'q markaziga nisbatan 2 cm kattalikga ega. Hozir biz (markaziga nisbatan) 2 cm li magnit strelkasini Gelmgolts g'altagi markaziga va bitta o'ramga ega bo'lgan g'altak markaziga joylashtirib, ularning qaysi birida magnit strelkasi kattaligidagi maydonlarning birjinsligini tekshiramiz.

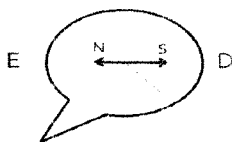
Masalani osonlashtirish uchun g'altaklardagi o'ramlar soni, g'altaklar radiuslari, ulardagi toklarni bir xil deb faraz qilamiz.

8.6 – rasmda o'zaro parallel o'rnatilgan g'altaklarning geometric markazlarini tutashtiruvchi to'g'ri chiziqning o'rtasida kompas joylashtirilgan holat tasvirlangan bo'lib, tokli g'altaklarning bu nuqtadagi magnit maydoni kuchlanganligining natijaviysi quyidagi qonuniyatlar asosida topiladi:

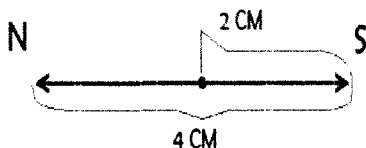
$$H_A = H_1 + H_2 = k \frac{4\pi I R^2 N}{\sqrt{(R^2 + h^2)^3}},$$

$$H_B = H_1' + H_2' = k_1 \cdot \frac{2\pi I R^2 N}{\sqrt{[R^2 + (h - BA)^2]^3}} + k_1 \frac{2\pi I R^2 N}{\sqrt{[R^2 + (h + BA)^2]^3}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Birjinsli} \\ \text{Gelmgolts} \\ \text{g'altakda} \end{array} \right\} = \frac{H_A - H_B}{H_A} \cdot 100\%$$



8.7 – rasm.



8.8 – rasm.

8.7 – rasmdan

$$H_D = k_1 \frac{2\pi IN}{R}; \quad H_E = k_1 \frac{2\pi J R^2 N}{\sqrt{(R^2 + ED^2)^3}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Birjinsli} \\ \text{bitta} \\ \text{g'altakda} \end{array} \right\} = \frac{H_D - H_E}{H_D} 100\%; \quad \begin{array}{l} \text{Birjinslik} \\ \text{Gelmgolst} \\ \text{Birjinslik} \\ \text{Bittag'altakda} \end{array} \gg 1.$$

Demak Gelmgolts g'altagidagi hosil qilingan magnit maydon kuchlanganligi bitta g'altanikiga qaraganda ancha katta ekan. Bundan shunday natija chiqarish kerakki, magnit strelkasi (hamma uzunligi) bir jinsli magnit maydonida joylashtirilgan.

O'lchash natijalarini hisoblash:

1. (8.5) formuladagi tangens – bussol doimiysini hisoblash kerak: $C = \frac{R^2 N}{\sqrt{(R^2 + h^2)^3}}$
2. (8.5) formula $H_0 = C \cdot \frac{I}{\lg \varphi}$ ga asosan 1 – jadvaldan olingan natijalarga binoan H_0 – larni hisoblanadi.
3. Hisoblangan H_0 – lardan uning o'rtacha qiymati hisoblanadi.
4. O'rtacha kvadratik xatolik hisoblanadi.
5. Nisbiy xatolik foizlarda topiladi.

Nazorat savollari

1. Yer magnetizmi elementlari deganda nimani tushunish kerak?
2. Magnit maydoni va uning xarakteristikallari.

3. Bio – Savar – Laplas qonunining integral va differensial ko'rinishlari.

4. Aylanma tok o'qida magnit maydonini hisoblash.

5. Magnit maydon induksiyasi va kuchlanganligi orasidagi bog'lanish.

6. Ersted va A/m orasidagi munosabatni keltirib chiqaring.

7. Magnit maydon kuchlanganligi vektorining sirkulyatsiyasi haqidagi teorema. To'la tok qonuni.

8. Nima uchun magnit maydoni uyurmali xarakterga ega?

9. To'g'ri tok magnit maydoni.

10. Magnetlanish vektori.

11. Muhitning magnit singdiruvchanligi va qabul qiluvchanligi.

12. Magnit maydonni o'rganishning boshqa usullari.

13. Gelmgolts g'altagi nima? Uning qanday ko'rinishlari mavjud?

14. Nima uchun tok Gelmgols g'altagida kommutatsiyalanadi?

15. Tajriba natijalarining xatoliklarini tushuntiring.

16. Yer magnit maydonining vujudga kelishi sabablarini tushuntiring.

17. Magnit inversiyasi nima?

18. Yer magnit maydonini o'rganish qanday ahamiyatga ega?

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]-8 bob, 75-80-paragraflar. [4]- 7 bob, 29-32-paragraflar. [5]- 8 bob, 100-106-paragraflar. [6]-III-qism, 1 bob, 5-8-paragraflar.

9 (86) – LABORATORIYA ISHI

YER MAGNIT MAYDONINI AYLANUVCHI INDUKSION G'ALTAK YORDAMIDA O'LCHASH

Kerakli asbob va uskunalar: Juft Gelmgolts g'altaklari, sensor CASSY USB, mikrovoltmetr, CASSY Lab, ulash kabeli 2,5 mm², 200 cm, qizil; ulash kabeli 2,5 mm², 200 cm, ko'k.

Qo'shimcha rekomendatsiya:

Eksperimental motor, eksperimental motor uchun kontroller

Qo'shimcha talablar

1 PC, Windows 2000/XP/Vista

Laboratoriya ishining maqsadi:

Yer magnit maydonining komponentlarini aniqlash, Yer magnit maydonining og'ish burchagini aniqlash.

Qisqacha nazariya: O'ramlar soni N ta, yuzasi $S = \pi R^2$ bo'lgan aylanma induksion g'altak aylanish o'qining diametridan otuvchi o'q atrofida o'zgarmas ω burchak tezlik bilan bir jinsli B magnit maydonida aylansa uni kesib o'tuvchi magnit oqimi

(9.1)

Bu yerda ω – burchak tezlik, R – induksion g'altakning radiusi, N – induksion g'altakning o'ramlar soni. (1) tenglamada aylanish o'qi B magnit maydoniga perpendikulyar yonalgan. B magnit maydonini induksiylayotgan kuchlanishi U ning amplituda qiymatini aniqlash mumkin:

$$\text{—} \quad (9.2)$$

ayanish davrida foydalanib, induksiylangan kuchlanishning maksimal qiymati uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$\text{—} \quad (9.3)$$

$$\text{—} \quad (9.4)$$

Induksion g'altakning z o'qi atrofida aylanish uchun Dekart koordinatalar sistemasida (9.1 – rasm) kuchlanish amplitudasi quyidagicha aniqlanadi:

$$a \sqrt{B} \quad (9.5)$$

Induksion kuchlanish Yerning quyidagi magnit maydonida induksiyanadi:

$$B = \begin{Bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{Bmatrix} \quad (9.6)$$

Simmetriya tufayli x – yoki y – yo'nalishlar uchun quyidagilar o'rinli bo'ladi:

$$U_x = a \sqrt{B_y^2 + B_z^2} \quad (9.7)$$

$$U_y = a \sqrt{B_x^2 + B_z^2} \quad (9.8)$$

Yer magnit maydonining komponentalari (9.5), (9.7) va (9.8) tenglamalar sistemasini yechish orqali hisoblanishi mumkin.

$$B_x = \sqrt{\frac{U_z^2 + U_y^2 - U_x^2}{2a^2}} \quad (9.9)$$

$$B_x = \sqrt{\frac{U_z^2 + U_y^2 - U_x^2}{2a^2}} \quad (9.11)$$

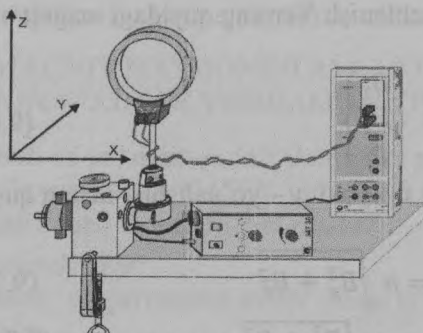
Xususiyl holda Yer magnit maydonining umumiy qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} = \sqrt{\frac{U_z^2 + U_y^2 + U_x^2}{2a^2}} \quad (9.12)$$

Yer magnit maydonining gorizontga nisbatan og'ish burchagi φ quyidagi tenglamadan topilishi mumkin:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{B_z}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}} = \sqrt{\frac{U_z^2 + U_y^2 + U_x^2}{2U_z^2}} \quad (9.13)$$

Bu formula matematik jihatdan to'g'ri, ammo o'lchash noaniqligi tufayli kvadrat ildizning argument ekvatorga yaqin joylardagi tajribalar uchun manfiy bo'lishi mumkin. Bu tajribada induksion g'altakning aylanish o'qi to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasining x , y va z - yo'nalishlari bo'yicha o'rnatiladi. Har bir holda induksiyaning kuchlanish amplitudasi vaqtning funksiyasi sifatida CASSY bilan o'lchanadi. O'lchangan signallardan amplituda va chastota Yerning magnit maydon kuchlanganligi va og'ish burchagini aniqlash uchun foydalaniladi.



9.1 – rasm. Eksperimental motor bilan o'lchanadigan tajriba qurilmasining ko'rinishi

Tajriba qurilmasi: Tajriba motorini stol ustining burchagiga 9.1 – rasmda ko'rsatilgandek joylashtiring. Qurilmaning g'altagi x , y va z o'qlari atrofida buralishi mumkin bo'lsin.

Mikrovoltmetrni va induksion g'altakni bir – biriga ulash uchun 2 m uzunlikdagi aylanma ulash simidan foydalaning.

Ishning bajarish tartibi:

Tajribani motor yordamida o'tkazish: CASSY misollar faylidan "Earth magnetic field" ni ishga tushiring. Eslatma: By fayl CASSY misollar faylida saqlanmagan. U kompyuter "Hard disk"idan funksional tugma F3 ni bosish bilan ishga tushirilishi lozim.

Misollar faylidagi berilganlarni funksional tugma F4 ni bosish bilan tozalang.

Tajriba motorining tezligini 0 ga o'rnatish.

Motorni ehtiyotkorlik bilan qo'shing va uning tezligini taqriban sekundiga 0.3 aylanishgacha oshiring.

Aylanma ulash kabelini qo'l bilan shunday yo'naltiringki, ular tajriba motori bilan o'rab olinsin. O'tkazgich halqa aylanayotganida u tugunlarda ushlab qolinmasligiga amin bo'ling.

Induksion kuchlanishni vaqtning funksiyasi sifatida o'lchashni F9 funksional tugmasini bosish yordamida boshlang.

Eslatma: O'lchash 20 sekunddan keyin avtomatik ravishda to'xtaydi. O'lchash parametrlarining detallari uchun ... knopkasini bosish va "measuring parametr" menyusidan ularni ko'ring. O'lchashlar

tugagandan keyin motorning o'chirilganligiga ishonch hosil qiling. Tajriba motorini teskariga aylantiring va uni qulay fursatda to'xtating.

Aylanish o'qini x – yo'nalishga o'zgartiring va o'lchashlarni dastlabki burchak tezlik bilan takrorlang.

Va nihoyat induksion kuchlanishni vaqtning funksiyasi sifatida aylanish o'qining y – yo'nalishi uchun tajriba motorini 90° ga buring.

Induksion g'altakning d diametrini o'lchang.

Tajriba motorisiz o'lchashlarni bajarish: CASSY misollar faylidan "Earth magnetic field" ni ishga tushiring.

Eslatma: By fayl CASSY misollar faylida saqlanmagan. U kompyuter "Hard disk" idan funksional tugmasi F3 ni bosish bilan ishga tushirilishi lozim.

Misollar faylidagi berilganlarni funksional tugma F4 ni bosish bilan tozalang.

Tajriba motorining tezligini 0 ga o'rnatang.

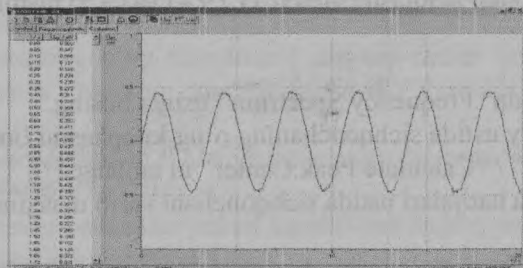
Induksion kuchlanishni vaqtning funksiyasi sifatida o'lchashni F9 funksional tugmani bosish yordamida boshlang.

Induksion g'altakni z o'qi atrofida qo'l bilan aylantiring.

Eslatma: O'lchash 20 sekunddan keyin avtomatik ravishda to'xtaydi. O'lchash parametrlarining detallari uchun ... knopkasini bosing va "measuring parametr" menyusidan ularni ko'ring.

O'lchashlarni y va x - o'qlar atrofida aylantirishlar uchun takrorlang.

O'lchash misollari: Misol sifatida, x o'qi atrofida aylantirishlar uchun kuchlanish grafigi 9.2 – rasmda keltirilgan. y va z - o'qlar atrofida aylantirishlar uchun tajriba natijalari 9.5 – rasm va 9.6 – rasmlarda.



9.2 – rasm. U_x induksiyalangan kuchlanish vaqtning funksiyasi sifatida

(z o'qi aylanish o'qi)

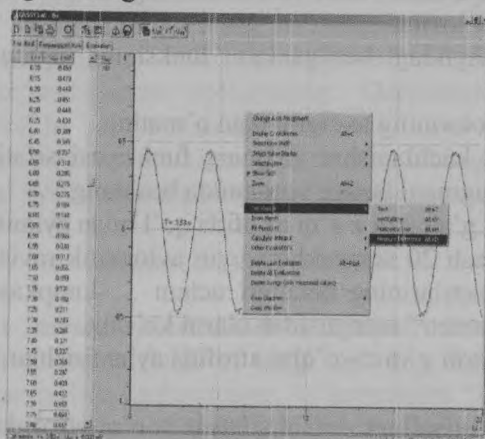
Hisoblash va natijalar

Yer magnit maydonining komponentlarini aniqlash uchun amplituda va chastota aniqlanishi lozim. Chastotani aniqlashning bir necha yo'llari mavjud.

I - USUL

Display ustida sichqonchani o'ng tugmasini bosib va "Set Marker/ Measure Difference" ni tanlang. (9.3 – rasm)

Kursorni nol kuchlanish holati ustiga bosing va buni T davrdan keying holat ustiga bosing.



9.3 – rasm.

Alt T sizga asosiy chiziqning natijasini ekranda ko'rishga imkon beradi. (9.3 – rasm)

Chastotani aniqlash (Metod 1). (9.4) va (9.5) rasmlarni taqqoslang

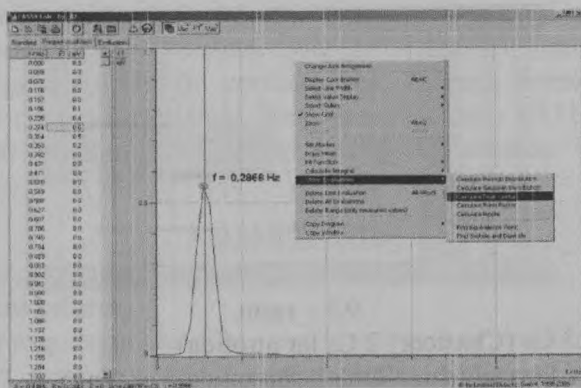
Metod 2

Jadvalda "Frequency Spectrum" ustiga bosing.

Display ustida sichqonchani o'ng knopkasini bosib va "Other Evaluations" / "Calculate Peak Center" ni tanlang.

Tajriba natijalari ustida sichqonchani surib maksimumni belgilang.

Alt – T sizga asosiy chiziqning natijasini displeyda ko'rishga imkon beradi.(9.4 – rasm)



9.4 – rasm.

9.4 – rasm. Chastotani aniqlash (metod 1). 9.3 – rasm va 9.5 – rasmni taqqoslang.

Yer magnit maydononing komponentlarini aniqlash uchun amplitudani aniqlash lozim. Induksiyalangan kuchlanish amplitudasini aniqlash uchun ikki yo'l mavjud.

Metod 1

Display ustida sichqonchani o'ng knopkasini bosib va "Set Marker/ Measure

Difference" ni tanlang. (9.3 – rasm)

Sichqonchani nol kuchlanish holati ustiga bosib va buni maksimum kuchlanish ustida takrorlang.

Alt – T sizga asosiy chiziqlarning natijasini displayda ko'rishga imkon beradi.

Metod 2

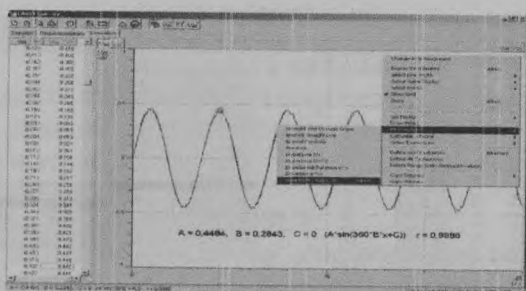
Bu metodda chastotani va amplitudani aniqlash uchun "Fitting tool" dan foydalaniladi.

Sichqonchani o'ng knopkasini display ustida bosib "Fitting tool" ni displayga chiqaring va "Fit function"/"Free Fit" ni tanlang yoki Alt F ni bosib.

Dastlab mos keluvchi funksiyani tanlang – bu erda $f(x, A, B, C, D) = A \cdot \sin(360 \cdot B \cdot x + C)$

Mos keluvchi parameter uchun kerakli baholash qiymatlarini kiriting (boshlang'ich qiymatlar)

$A = U_0 = 1 \text{ V}$ (amplituda, diagrammaning y – o'qidan yozib oling).



9.5 – rasm.

$B = 0.3$ Gs (Chastota, 2 Gs lar atrofigida)

$C = 0$ (faza siljishi, o'lchash sharoitida 0 ga teng)

"Display result automatically as a new channel" ni tanlang.

"Continue with Range Marking" knopkasi bilan davom ettiring.

Alt T sizga natijalarni displeyda ko'rishga imkon beradi.

Eslatma: Mos keluvchi algoritim yaxshi baholash qiymatlarini talab qiladi. Bu tanlangan model uchun, ya'ni 9.14 – tenglama uchun, chastotaning boshlang'ich qiymati tajribaviy qiymatlarga yaqin qilib tanlanishi lozim.

Qoshimcha ma'lumotlar

Tajribadagi asosiy xatolik o'tkazgich halqa yaqinida joylashgan magnitlangan po'lat jismlar sababli magnit maydonining buzilishidan hosil bo'ladi. Yuqori o'lchash aniqligiga erishish uchun g'altakning parametrlari imkoni boricha katta qilib tanlab olinishi zarur. Er magnit maydonining og'ishi bo'lmaganda (magnit ekvatorida) er magnit maydonining qiymati $31.2 \mu\text{T}$ ga teng va magnit qutblarida 2 marta kattaroq bo'ladi. Ekvatorga yaqin joyda tajribani bajarishda muammo tug'iladi. Ekvatorida magnit maydonining qiyalik burchagi 0 ga yaqin va xuddi shu holda $B(z)$ ham nolga yaqin bo'ladi. (9.11) va (9.13) tenglamalar katta sonlarni ayiradi va nazariyada kichik musbat sonlarni hosil qiladi. Bu kichik farq kichik o'lchash xatoliklari tufayli ham (po'lat bo'lagi) manfiy bo'lib qolishi mumkin va (9.11) va (9.13) tenglamalardagi kvadrat ildiz echimga ega bo'lmaydi. Ekvatorga yaqin joylarda og'ish burchagi uchun natijalar olish uchun B_{iz} to'g'ridan – to'g'ri o'lchanishi kerak. (9.7) tenglamadan foydalanib biz gorizontaal aylanish o'qi bo'yicha tajriba o'tkazamiz va $B_z = 0$ ga aylanish o'qini shimol janubga to'g'rilab erishamiz. Bu esa

kuchlanishning minimumini izlash bilan bajarilishi mumkin. Keyin B_z ning qiymati (9.7) tenglamadan hisoblanadi va (9.13) tenglamaning o'ta qismiga qo'yiladi. Bu tajribada biz B_z ning qiymatini uning ishorasisiz o'lchaymiz, chunki ekvatorning janubida (9.11) va (9.13) tenglamalar kvadrat funksiyaning manfiy natijalaridan foydalanish lozim.

Nazorat savollari

1. Elektromagnit induksiya hodisasini ta'riflang va asosiy tenglamasini keltiring.

2. Yer magnetizmi haqidagi asosiy tushunchalar va elementlari.

3. Yer magnit maydon induksiyasining gorizontall va vertikal tashkil etuvchilari.

4. To'g'ri tok magnit maydonini hisoblash.

5. Solenoid magnit maydonini hisoblash.

6. Nima uchun induksion g'altak shimoliy, sharqiy va vertikal yo'nalishlarda aylantiriladi?

7. Magnit induksiyasini hisoblash formulasini keltirib chiqaring.

8. G'altakning aylanish tezligi o'lchash natijalariga ta'sir etadimi?

9. Magnit maydon induksiyasini geografik kenglikga bog'liqligini tushuntiring.

10. Magnit shamollari o'lchash natijalariga qanday ta'sir etadi?

11. Yer magnit maydoni qanday tajribalarni o'tkazishda o'z ta'sirini ko'rsatadi va undan qanday ximoyalanadi?

12. Yerning magnitlanishi nazariyasi haqida nimalarni bilasiz?

13. Magnit inversiyasi nima?

14. Yer magnit maydonini aniqlashning qanday usullarini bilasiz?

15. Qanday sayyoralar magnit maydoniga ega? Oyda magnit maydoni mavjudmi?

16. Tajriba natijalaridagi xatoliklar nimalarga bog'liq?

17. Yer magnit maydonini aylanuvchan induksion g'altak yordamida o'lchashning afzalliklari va kamchiliklari.

18. Yer magnetizm elementlarini o'rganish qanday ahamiyatga ega?

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]-21 bob, 218, 220-paragraflar, [3]-15 bob, 92-95-paragraflar, [5]-13 bob, 182, 182-paragraflar.

10 (59) - LABORATORIYA ISHI

KO'PRIK USULI YORDAMIDA KONDENSATORLARNING SIG'IMINI O'LCHASH

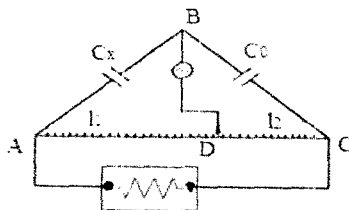
Kerakli asbob va uskunalar: Ma'lum sig'imli kondensatorlar to'plami, noaniq sig'imli kondensatorlar, o'zgaruvchan tok manbai, reoxord, tok indikator, ulovchi similar.

Laboratoriya ishining maqsadi: Kondensatorlarning sig'imini aniqlash, kondensatorlar sistemasining umumiy sig'imini aniqlash va nazariy formulalar bilan taqqoslash.

Qisqacha nazariya: 3 – laboratoriya ishida o'zgarmas tok ko'prigi yordamida o'tkazgichlarning qarshiligini o'lchash usuli bilan tanishgan edik. Bu ko'priq sxemasini yana bir marta ko'z oldimizga keltiraylik. Ko'priq yelkalariga R_x , R_0 , R_1 , R_2 rezistorlar ulangan bo'lib, AC diogonalga o'zgarmas tok manbai, BD diogonalga galvanometr (tok indikator) ulangan. Ko'priq muvozanatda bo'lganida galvanometrdan o'tgan tok $I_g = 0$ bo'lib noma'lum qarshilikni topish uchun quyidagi ifodani olgan edik:

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2} \quad (10.1)$$

Agar noma'lum kondensatorlar sig'imini o'lchashimiz (topishimiz) kerak bo'lsa, u holda quyidagicha sxema tuzamiz (10.1 – rasm). Bu sxema avvalgi sxemadan farqli bo'lib, BD – diogonalga o'zgaruvchan tok manbai ulangan, AC diogonalga esa ossillograf ulangan. AC – reoxord. Ko'priq yelkalari sig'imlari C_x va C_0 bo'lgan kondensatorlar; R_1 va R_2 lar AC reoxord yelkalarining qarshiliklaridir.



10.1 – rasm.

Ko'priq usulida kondensator sig'imini o'lchashning rezistor qarshiligini o'lchashdan farqi quyidagilardan iborat:

I. O'lchash o'zgaruvchan tokda olib boriladi. Buning sababi - o'zgaruvchan tokda kondensator davriy ravishda zaryadlanib va razryadlanib turadi. O'zgaruvchan tokda esa kondensatorlar R_1 va R_2 rezistorlar orqali zaryadlanadi. Natijada reoxorddagi R_1 va R_2 larning istalgan qiymatlarida (D tugunning holatida) A va B tugunlardagi potentsiallar o'zaro teng bo'ladi.

II. Bu holda sxemada to'liq muvozanat bo'lmaydi (indikator nolni ko'rsatmaydi), chunki zanjir elkalaridagi tok va kuchlanishning amplituda qiymatlari orasida faza farqlari mavjud bo'ladi.

III. Agar sxemaga kichik sig'imli kondensatorlar ulangan bo'lsa, u holda reoxord surguchi D ni siljitganda katta intervalda tok indikator ko'rsatib turishi mumkin. Bunday holda o'sha interval o'rtasi olinishi lozim.

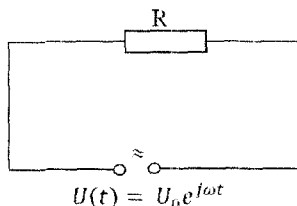
Shunday qilib, ko'prik muvozanatga keltirilganda elkalaridagi kondensator sig'implarining nisbatlari emas, balki o'zgaruvchan tokga ulangan kondensatorlarning o'zgaruvchan tokga ko'rsatgan sig'im qarshiliklarining nisbatlari olinishi kerak (10.1 – rasm).

Hozir biz sig'im qarshiliklari qanday kelib chiqishini batafsil ko'rib chiqamiz. O'zgaruvchan tok kattaligi va yo'nalishi davriy ravishda teng oraliq vaqtida o'zgarib turadi. Bunday o'zgarish sinusoida (yoki kosinusoida) ko'rinishida ifodalanishi mumkin. O'zgaruvchan tok zanjiriga faqat qarqshiligi R ga teng bo'lgan rezistorni va sig'imi C bo'lgan kondensatorni alohida – alohida ulaymiz (10.2 – rasm). O'zgaruvchan tok zanjiridagi tokni $i(t)$ bilan, tokning amplituda qiymatini i_0 bilan belgilaymiz. O'zgaruvchan tokning E.Yu.K.sini

$$U(t) = U_0 e^{j\omega t} \quad (10.1)$$

ko'rinishda olamiz.

1. O'zgaruvchan tok zanjirida faqat R bo'lsin (10.2 – rasm).



10.2 – rasm.

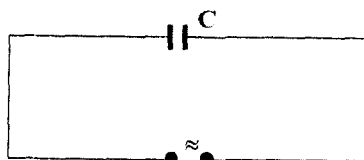
Bunday zanjirdagi tok qanday qonun bilan o'zgaradi? Bu jarayonni kvazistasionar hisoblab, yopiq zanjir uchun Kirxgofning ikkinchi qoidasini ishlatamiz.

(10.2)

Bu yerdagi R ni Omik qarshilik yoki aktiv qarshilik deyiladi.

- o'zgaruvchan tok zanjirdagi tokning o'zgarish qonuni shu formula bilan ifodalanar ekan.

2. O'zgaruvchan tok zanjirida faqat kondensator (C) ulangan bo'lsin (10.3 – rasm). Bu zanjirdagi tok qanday qonun bilan ifodalanadi.



$$U(t) = U_0 e^{j\omega t}$$

10.3 – rasm.

Bu jarayonni kvazistasionar deb hisoblasak — dan kelib chiqadi.

Bu tenglama kondensatorda zaryad miqdorining vaqt bo'yicha o'zgarish qonunini ifodalaydi.

Elektr tokining ta'rifidan:

$$\underline{d(q)}$$

bundan

O'zgaruvchan tok zanjirida faqat C bo'lgan holda tok kuchining o'zgarish qonuni kelib chiqadi. Oxirgi tenglamani maxrajidagi kattalik

— bo'lib, kompleks ko'rinishida tasvirlangan va kompleks sig'im qarshiligidir. X_c — esa sig'im qarshilik yoki reaktiv qarshilik deyiladi. Oxirgi ifodani sig'im qarshilik orqali quyidagicha ifodalaymiz:

$$i(t) = \frac{U_0}{\frac{1}{\omega C}} \cdot j e^{j\omega t} = \frac{U_0}{R_0} \cdot e^{j\omega t} \cdot e^{j\frac{\pi}{2}} = i_0 e^{j\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)} \quad (10.3)$$

Bu formuladan ko'rinadiki o'zgaruvchan tok zanjirida faqat kondensator (C) bo'lganida tok shu qonunga muvofiq o'zgarar ekan.

Mana bu tushuncha va formulalarga ega bo'lganimizdan keyin, o'zgaruvchan tok ko'prigi uchun (10.1 – rasm) muvozanat shartini quyidagicha yozamiz:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (10.4)$$

ya'ni ko'prik yelkalarining kompleks qarshiliklar proporsiyasi kabi yoziladi. Bu yerda:

$$z_{C_x} = -j \frac{1}{\omega C_x}, \quad z_{C_0} = -j \frac{1}{\omega C_0},$$

$$z_1 = R_1, \quad z_2 = R_2$$

Bularni (10.4) ga qo'ysak:

$$C_x = C_0 \frac{R_2}{R_1} \quad (10.5)$$

ni olamiz. (10.5) – formula o'zgaruvchan tokda ishlaydigan ko'prik sxemasi yordamida noma'lum kondensator sig'imini topish formulasidir. Agar (10.5) ifodadagi C_0 ni SI sistemaidagi sig'im birligi – Farada (F) bilan belgilasak, C_x ham shu birlikda ifodalanadi.

Reoxord diametri o'zgarmas va bir jinsli o'tkazgichdan yasalgan uchun

$$R_1 = \frac{l_1}{S}; R_2 = \frac{l_2}{S}, \quad l_1 + l_2 = 100 \quad \text{va} \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{l_2}{100 - l_2}$$

ekanligini hisobga olib, (10.5) formulani quyidagicha ifodalaymiz:

$$C_x = C_0 \frac{l_2}{100 - l_2} \quad (10.6)$$

Ishning bajarish tartibi

1. 10.1 - rasmdagi elektr sxema yig'iladi.
2. Sxemaga C_x noma'lum kondensatorlardan biri C_{x1} ulanib, ma'lum sig'imli kondensatorlar magazinidan C_0 tanlanadi. C_0 ning qiymatini shunday tanlash kerakki, reoxord surilgichi D ni siljitib, tok indikatori (ossillograf yoki telefon) minimum ko'rsatganida (ekranda to'g'ri chiziq bo'lishiga erishilganda, yoki telefonda minimal tovush eshitilganida), D surilgichni reoxordning 50 - bo'limi atrofida joylashtiriladi (reoxord o'rtalarida).
3. D surilgichni siljitib, tok indikatori minimum ko'rsatganida, reoxord shkalasidan I_1 va I_2 kattaliklar yozib olinadi. (Reoxord uzunligi 100 cm, $I_1 + I_2 = 100$ cm).
4. Shu tarzda C_{x2} va C_{x3} lar uchun ham natijalar olinadi.
5. Noma'lum kondensatorlarni (C_{x1} , C_{x2} , $C_{x3}...$) turli kombinasiyalarda ketma – ket, parallel va aralash ulashlar uchun ham 2 va 3 bandedagi aytilganlar takrorlanadi. Olingan tajriba natijalari jadvalga kiritiladi.

O'lchash natijalarini hisoblash

Jadvaldagi tajriba natijalariga asosan (10.5) formula yordamida C_{x1} -lar hisoblanadi.

C_{x1} , C_{x2} , C_{x3} larning har bittasi uchun ($\bar{C}_{x1}$, $\bar{C}_{x2}$, $\bar{C}_{x3}$) o'rtacha qiymatlari, o'rtacha kvadratik hatoliklari va ularning nisbiy hatoliklari aniqlanadi.

Istalgan kombinasiyalarda kondensatorlarni ulashdagi hollar uchun ham o'rtacha qiymatlari, o'rtacha kvadratik hatoliklari va nisbiy hatoliklari hisoblanadi.

2 – bandedagi topilgan ($\bar{C}_{x1}$, $\bar{C}_{x2}$, $\bar{C}_{x3}$) uchta kondensatorlarning o'rtacha qiymatlariga asosan nazariy tomondan ularni turli kombinasiyalarda ulash natijasidagi qiymatlari hisoblanadi va bu nazariy qiymatlar tajribada olingan tegishli qiymatlar bilan taqqoslab ko'riladi.

Nazorat savollari

1. Elektr sig'imi. Sig'im birliklari. Yakkalangan o'kazgich sig'imi.

2. Yassi, sferik va silindrik kondensator sig'imi.
3. Yer shari sig'imi va uni o'lchash.
4. Kondensatorlar va ularning turlari, vazifalari.
5. Kondensatorlarning o'lchash qoidalari.
6. O'zgaruvchan va o'zgarmas tokli elektr zanjirlarida kondensatorlar.
7. Sferik kondensator elektr maydoni.
8. Reaktiv qarshiliklar. Nima uchun reaktiv qarshiliklarda issiqlik ajralmaydi.
9. Murakkab kondensatorlar. Sirqish toklari.
10. Elektr sig'imni aniqlashning boshqa usullarini tushuntiring.
11. Super kondensatorlar.
12. Ko'prik sxemaning afzalliklari va kamchiliklarini tushuntiring.
13. Elektrolitik kondensatorlar, ularning vazifalari hamda tayyorlanish texnologiyalari.
14. Zamonaviy kondensatorlarning fan texnikada qo'llanilishi.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]-21 bob, 218, 220-paragraflar, [3]-15 bob, 92-95-paragraflar, [5]-13 bob, 182, 182-paragraflar.

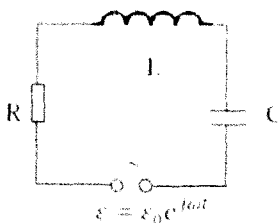
11 (65) - LABORATORIYA ISHI

O'ZGARUVCHAN TOK UCHUN OM QONUNINI TEKSHIRISH

Kerakli asboblari: O'zgaruvchan tok generatori, qarshiliklar magazini, sig'irlar magazini, induktivlik (g'altak), milliampermetr, voltmeter.

Laboratoriya ishiniing maqsadi:

Qisqacha nazariya: O'zgaruvchan tok zanjirida ketma – ket ulangan aktiv qarshilik R , induktivlik L va sig'im C lar dan iborat sxemani ko'ramiz (11.1 – rasm).



11.1 – rasm.

Zanjirga ulangan tok manbainiing E. Yu. Ki

(11.1)

ko'rinishda berilgan bo'lsa, bu zanjirdagi tok qanday qonun bilan o'zgaradi va yana E. Yu. K. ning amplituda qiymati va tokning amplituda qiymatlari orasidagi fazalar farqi qanday bo'ladi? Jarayonni kvazistasionar hisoblab, bu yopiq zanjir uchun Kirxgofning ikkinchi qoidasini qo'llaymiz.

(11.2)

Bu yerda $U_R = iR$, $U_C = \frac{q}{C}$, $\varepsilon_{ind} = -L \frac{di}{dt}$ ekanini nazarga olib, quyidagicha ikkinchi tartibli to'liq differensial tenglamaga ega bo'lamiz.

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = \varepsilon_0 e^{j\omega t} j\omega \quad (11.3)$$

Bu tenglama yechimini quyidagicha izlaymiz

(11.4)

(11.4) dan $\frac{di}{dt}$ va $\frac{d^2i}{dt^2}$ larni topib, (11.3) tenglamaga qo'yamiz, keyin haqiqiy va mavhum qismlarini tenglab, quyidagi ikkita tenglikga ega bo'lamiz:

$$\left. \begin{aligned} R \sin \varphi + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \cos \varphi &= 0 \\ R \cos \varphi - \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \sin \varphi &= \frac{\varepsilon_0}{i_0} \end{aligned} \right\} \quad (11.5)$$

(11.5) tengliklarning birinchisidan:

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (11.6)$$

(11.6) tengliklarni kvadratga oshirib, qo'shsak

$$i_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} \quad (11.7)$$

larni olamiz. Bu erda i_0 va ε_0 lar tok kuchi va E.Yu.K larning amplitudaviy qiymatlari. (11.7) ifodaning maxraji

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (11.8)$$

zanjirning to'liq qarshiligini (impedans) beradi. (11.8) da R - Omik qarshilik (Ω), $X_L = \omega L$ - induktiv qarshilik (Ω), $X_C = \frac{1}{\omega C}$ - sig'im qarshilik (Ω), $\omega = 2\pi\nu$ - siklik chastota, L - induktivlik (Henri), C - sig'im (F), ν - chastota (Hz)

Shunday qilib, agarda R , L , C -lar o'zgaruvchan tok zanjiriga ketma-ket ulansa va unga E.Yu.K. $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 e^{j\omega t}$ ko'rinishda bersak, zanjirdagi tok

$$i(t) = \frac{\varepsilon_0}{Z} \cdot \exp \left(j \left(\omega t - \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \right) \right)$$

ko'rinishdagi qonun bilan o'zgarar ekan.

$\varepsilon(t)$ va $i(t)$ larni taqqoslash shuni ko'rsatadiki, E.Yu.K ning amplituda qiymati tokning amplituda qiymatidan φ - ga oldinda bo'lar ekan (agarda, $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ bo'lsa).

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad \text{da uchta hol bo'lishi mumkin.}$$

I. $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ bo'lsa, φ - manfiy ishorali,

II. $\omega L < \frac{1}{\omega C}$ bo'lsa, φ - musbat ishorali,

III. $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ bo'lsa, $\omega^2 = \frac{1}{LC} = \omega_{\text{rez}}^2$, bu holda rezonans hodisasi sodir bo'ladi.

Majburiy tebranish chastotasining kontur xususiy tebranish chastotasiga juda ham yaqinlashishi tebranish amplitudasini keskin kuchayishiga olib keladi. Bu hodisani rezonans hodisasi deyiladi. Ya'ni rezonansda $\varphi=0$ бўлиб, $Z=R$ bo'ladi. Rezonans chastotasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\nu_{\text{rez}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (11.9)$$

Agarda kontur rezonansga sozlansa, kontur qarshiligi minimum ($Z = R$) bo'ladi va (11.7) ga asosan konturdagi tok maksimum bo'ladi. (11.7) va (11.8) -formulalardan:

$$i_0 = \frac{\varepsilon_0}{Z} \quad (11.7^1)$$

(11.7¹) ni o'zgaruvchan tok uchun Om qonuni deyiladi.

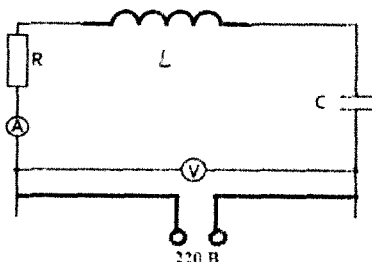
O'zgaruvchan tokni o'lchaydigan asboblarda – ampermetr va voltmetrlar uning effektiv qiymatlarini ko'rsatadi. Tok va kuchlanishlarning amplituda (i_0 , ε_0) va effektiv ($i_{\text{ef}} = i$, $\varepsilon_{\text{ef}} = U$) qiymatlari orasidagi bog'lanish: $i = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$, $\varepsilon = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{2}}$ bo'lgani uchun, o'zgaruvchan tok uchun Om qonunini tok va kuchlanishning effektiv qiymatlari yordamida quyidagicha ifodalaymiz:

$$i = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (11.7^2)$$

O'zgaruvchan tok uchun Om qonunini keltirib chiqarganimizdan keyin uni tekshira boshlaymiz.

I – USUL

11.2 rasmdagi elektr sxemani yig'ib, $R=\text{const}$, $L=\text{const}$, $v=\text{const}$ va i - ni doimiy saqlab sig'imler magazinidan C - larni o'zgartirib, ularga mos kelagan U_i -lar 1 – jadvalga yoziladi.



11.2 – rasm.

Kondensatorning sig'imi va voltmetrning ko'rsatishi o'zgarishlariga binoan (11.7) formulani quyidagicha ifodalaymiz.

$$\left[\left(\frac{U_K}{i} \right)^2 - \left(\frac{1}{\omega C_K} \right)^2 \right] = R^2 + (\omega L)^2 + (-2\omega L) \left(\frac{1}{\omega C_K} \right)^2 \quad (11.10)$$

Ushbu belgilashlarni kiritib,

$$X_K = \left(\frac{1}{\omega C_K} \right)^2, Y_K = \left[\left(\frac{U_K}{i} \right)^2 - X_K^2 \right]; A = R^2 + (\omega L)^2, B = -2\omega L$$

quyidagi to'g'ri chiziq tenglamasini hosil qilamiz

$$y_K = A + B X_K \quad (11.11)$$

1- jadval.

K	C(i) (mkF)	U(i) (V)
1		
2		
3		
...		

Tajribadan olingan va 1- jadvalga kiritilgan kattaliklarni (11.11) formulaga qo'yib, K-ta tenglamalar sistemasi uchun eng kichik kvadratlar usulini qo'llab, tenglamadagi A va B koeffisientlarini topamiz.

1) Topilgan A va B koeffisientlardan ularga kirgan parametrlarni, ya'ni L , $R_0 = R + X_L$, v_{rez} va boshqalarni topiladi.

2) 1- jadvaldan olingan kattaliklarga binoan X_K bilan ω orasidagi bog'lanish grafigi chiziladi.

3) A va B qiymatlar topilgan holda, bu qiymatlarni $V_K = A + B X_K$ ga qo'yib, yana 1-jadvalga asosan $X_K = X_k' = \frac{1}{2\pi g C_k}$ qiymatlarni qo'yib, V_K bog'lanish grafigi chiziladi. (2) va (3) bandlarga asoslanib chizilgan grafiklar taqqoslanadi

4) 11.2 - rasmda berilgan sxemadagi L va C lardan v_{rez} ni hisoblab eng kichik kvadratlar usuliga binoan topilgan v_{rez} bilan taqqoslanadi.

II – USUL

(11.10) formulani quyidagicha yozamiz:

$$\left(\frac{U_K}{i}\right)^2 = R^2 + (\omega L)^2 + (-2\omega L) \cdot \left(\frac{1}{\omega C_K}\right) + \left(\frac{1}{\omega C_K}\right)^2$$

(11.13)

va belgilashlar kiritib

$$X_K = \frac{1}{2\pi v C_K}, Y_K = \left(\frac{U_K}{i}\right)^2$$

$$A = [R^2 + (2\pi v L)^2], \quad B = (-4\pi v L), \quad D = 1$$

quyidagi tenglamani olamiz.

$$Y_K = A + B X_K + D X_K^2 \quad (11.14)$$

1-jadvaldagi tajriba natijalarini (11.14) formulaga qo'yib, K-ta tenglamalar sistemasi uchun eng kichik kvadratlar usulini ishlatib, (11.14) tenglamadagi koeffisientlar A, B, D lar topiladi.

1) bu koeffisientlarga kirgan L, v_{pes} , $R = R_0 + X_L$ va bularning hatoliklarini topish kerak.

2) 1-javabga kiritilgan natijalarga asosan (11.14) formulaga X_K - kattaliklarni topib, Y_K bilan X_K orasidagi tajribadagi bog'lanish grafigi chiziladi.

3) Topilgan A, B, D kattaliklarning qiymatlarini (11.14) formulaga qo'yib turli X_K - lar uchun nazariy grafik chiziladi va tajribadan, nazariyadan olingan grafiklar taqqoslanadi.

4) Tajriba natijalaridan va nazariyadan hisoblangan v_{rez} larni taqqoslanadi.

III - USUL

11.2 - rasm yordamida, $L=const$, $R=const$, $C=const$ va i -ni doimiy saqlab, tovush generatoridan chastota ν ni o'zgartirib, unga to'g'ri kelagan U_i -lar 2-jadvalga kiritiladi.

2-jadval

K	$\nu(I)$, (Gs)	$U(i)$, B
1	ν_1	U_1
2	ν_2	U_2
3	ν_3	U_3
.	.	.
.	.	.
.	.	.

2-jadvaldagi natijalarga asosan (11.7²) formulani quyidagicha yozamiz:

$$\left(\frac{U_K}{i}\right)^2 = R^2 - \frac{2L}{C} + L^2 \cdot \omega^2 + \left(\frac{1}{C}\right)^2 \cdot \frac{1}{\omega_R^2} \quad (11.16)$$

$$\omega_K = 2\pi\nu_K$$

$$\left(\frac{U_K}{i}\right)^2 = \left(R^2 - \frac{2L}{C}\right) + L^2 (2\pi\nu_K)^2 + \left(\frac{1}{C}\right)^2 \cdot \frac{1}{(2\pi\nu_K)^2} \quad (11.16^1)$$

Quyidagi belgilashlarni kiritib.

$$X_K = (2\pi\nu_K)^2 ; \quad Y_K = \left(\frac{U_K}{i}\right)^2 ; \quad A = \left(R^2 - \frac{2L}{C}\right) ; \quad B = L^2 ; \quad D = \left(\frac{1}{C}\right)^2$$

ushbu tenglamani hosil qilamiz:

$$Y_K = A + B \cdot X_K + \dots \quad (11.17)$$

Bu formulaga 2-jadvaldagi natijalarni qo'yib, K-ta tenglamalar sistemasini olamiz. Bularga eng kichik kvadratlar usulidan foydalanib tenglama koeffisientlari A, B, D lar topiladi.

1). Ushbu A, B, D larga kirgan fizik kattaliklar: L, C, R₀lar va ularning xatoliklari topiladi.

2). 2 jadvalga asosan X_K bilan Y_K larning bog'lanish grafigi chiziladi (tajribada olingan grafik).

3) A, B, D larning qiymatlari (11.17) formulaga qo'yilib, turli X_K lar uchun nazariy grafik chiziladi va bu grafik tajriba grafigi bilan solishtiriladi.

4) $\nu_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ rezonans chastotasi, eng kichik kvadratlar usuli bilan topilgan rezonans chastotasi bilan solishtiriladi.

IV-USUL

(11.8) formulada keltirilgan zanjirning to'liq qarshiligi o'zgaruvchan tok chastotasiga bog'liq. Bu yerda $R = \text{const}$, $L = \text{const}$, $C = \text{const}$ (11.8) formuladan ko'rinadiki:

1) $\omega = 0$ da $Z(\omega)$ cheksizlikka intiladi;

2) $\omega > 0$ qiymatlarda $Z(\omega)$ kamaya boradi.

3) $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ bo'lganda $\omega, \frac{1}{\sqrt{LC}}$ bo'ladi va $Z(\omega_r) = R$ bo'lib, eng kichik qiymatga ega bo'ladi.

4) $\omega > \omega_p$ bo'lganda $Z(\omega)$ lar qiymati yana orta boradi.

5) tajribada berilgan R, L, C va 2-jadvaldagi ν_k lar qiymatlariga asosan (11.8) – formula uchun $Z(\omega)$ lar hisoblanadi va $Z(\omega)$ bilan ω orasidagi bog'lanish grafigi chiziladi. Bu chizilgan grafikada ω_z topiladi va bu grafik 1,2,3,4 bandlarda aytilganlar bilan taqqoslanadi.

Nazorat savollari

1. O'zgaruvchan toklar uchun Ohm qonunini ta'riflang va isbotini keltiring.
2. O'zgaruvchan tok zanjirida aktiv qarshilik, kondensator va induktiv g'altak bo'lgan hollar uchun tok va kuchlanishlar tebranishlari orasidagi munosabatlar.
3. Kuchlanishlar rezonansi.
4. Toklar rezonansi.
5. O'zgaruvchan tok zanjirida bajarilgan ish. Aktiv va reaktiv qarshiliklar bo'lgan hol.
6. Quvvat koeffitsienti va uni oshirish usullari.
7. O'zgaruvchan tokning samarador qiymatlari.
8. O'zgaruvchan tok generatorlari.
9. Ikki va uch fazali o'zgaruvchan toklar.
10. Skin effekti.
11. O'zgaruvchan toklarni rostlash. Drossellar.
12. Sinxron va assinxron dvigatellar.
13. Nima uchun reaktiv qarshiliklarda issiqlik ajralmaydi?
14. Nima uchun kondensatorda kuchlanish tebranishlari tok tebranishlarida $\pi/2$ faza kechikadi?
15. Nima uchun induktiv g'altakda tok tebranishlari kuchlanish tebranishlaridan $\pi/2$ faza kechikadi?
16. Nima uchun aktiv qarshilikda tok va kuchlanish tebranishlari orasida faza siljishlar kuzatilmaydi?
17. O'zgaruvchan toklarning doimiy toklardan afzalliklariva kamchiliklari.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1]-21 bob, 217-220-paragraflar; [2]-10 bob, 129, 130-paragraflar; [3]-15 bob, 92-96-paragraflar; [5]-13 bob, 178-183-paragraflar.

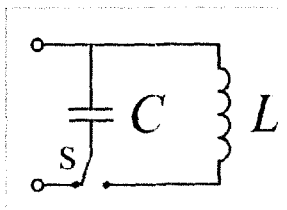
12 - LABORATORIYA ISHI

ERKIN ELEKTROMAGNIT TEBRANISHLAR

Ishga kerakli asbob va uskunalar: Yuqori induktivli chulq'am, kondensator, asos taglik (bir juft), bridging plugs, DC ta'minlash manbai $0... \pm 15$ V, multimeter LD analogli, qo'l sekundomeri, ulash simlari.

Ishning maqsadi: Elektr tebranishlar konturi bilan tanishish, tebranish konturinin xususiy chastotasini aniqlash, tebranish zanjirida tok va kuchlanish o'zgarishini tahlil qilish.

Qisqacha nazariya: Bugungi kunda kommunikatsiya va hisoblash texnikalarini elektromagnit tebranish konturlarisiz ta'savur qilib bo'lmaydi. Ideal LC elektromagnit tebranish konturida energiya yo'qotilishi, so'nish bo'lmaydi. Ammo bu hol faqat nazariy jihatdan mumkin. Amalda esa tebranish konturlarida elektromagnit tebranishlar kam bo'lsada so'nadi. Misol qilib so'nuvchi garmonik ossilyatorni keltirish mumkin. Tebranish konturi bir biriga ulangan kondensator va induktiv g'altakdan iborat bo'ladi. So'nuvchi tebranish konturida L va C zanjirga ketma – ket ravishda aktiv qarshilik ham mavjud bo'ladi.



12.1 – rasm. Kalitli tebranish konturi

Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha,

$$\sum_i U_i = 0 \quad (12.1)$$

Bu tenglama zanjirdagi barcha kuchlanishlar yig'indisi nolga teng ekanligini bildiradi. Bu qonun ichki qarshilikka ega bo'lgan tebranish konturida ham o'rinlidir (12.1 – rasmga qarang). Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan tebranish konturida:

$$- \quad (12.2)$$

Ma'lumki, kondensator sig'imi —, aktiv qarshilik kuchlanishi (Om qonuni) va g'altakdagi reaktiv kuchlanishi kabi aniqlanadi. I tok kuchining diferensial tenglamasini (12.2) tenglama hadlarini L ga bo'lib, — I , deb hisoblab quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$(12.3)$$

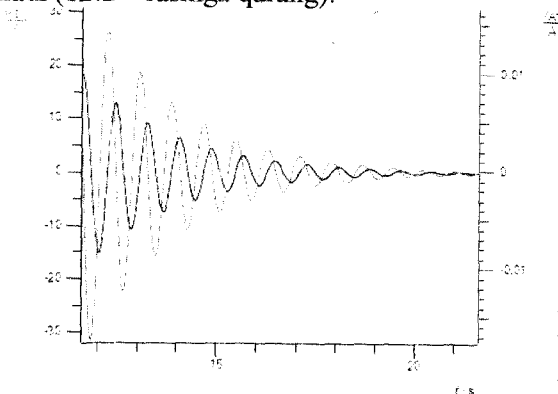
bu yerda $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ — xususiy chastota, — konturning asilligi. Bu matematik differensial tenglamani yechish uchta xususiy holga olib keladi.

(12.3) tenglama $I(t) = I_0 \cdot e^{-i\omega t}$ kabi yechimga olib keladi, bu erda I_0 tebranish amplitudasi, $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$ — tebranish chastotasi.

Birinchi hol $\omega_0^2 - \gamma^2 < 0$, bu holda sistema muvozanat holatiga eksponensial qonuniyat asosida tebranishlar hosil qilmasdan qaytadi.

Ikkinchi hol $\omega_0^2 - \gamma^2 = 0$, bu hol kritik (keskin) so'nish holati deyiladi. Sistema tebranishlarsiz tezda muvozanat holatiga qaytadi.

Uchinchi hol $\omega_0^2 - \gamma^2 > 0$, bunda sistemada tebranishlar kuzatiladi va amplitude eksponensial qonun bo'yicha kamayib boradi, so'nish kuzatiladi (12.2 — rasimga qarang).



12.2 — rasim. Kuchlanish va tok kuchi tebranishlari.

Bu tajribada faqat oxirgi holatni kuzatish mumkin. Kondensatordai boshlang'ich kuchlanish U_0 bo'lsa, induktiv g'altakda o'tuvchi tok kuchi quyidagicha aniqlanadi:

(12.4)

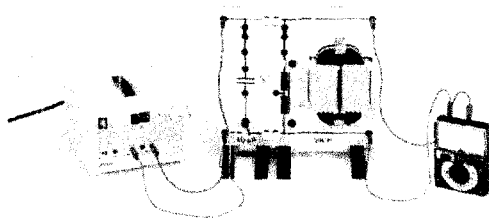
bu yerda boshlang'ich tok kuchi —, — yuqorida keltirilgani kabi. Kondensatordagi kuchlanish undagi zaryad miqdoriga mutanosib, shuning uchun zaryad miqdori tok kuchining integraliga proporsional bo'ladi. (12.4) tenglamadagi kosinus tok kuchi va kuchlanish qiymatlari orasida 90° faza siljishi borligini bildiradi;

(12.5)

Tajriba qurilmasi

Qurilma 12.3 – rasmda keltirilgan.

1. Dastlab, kondensatorni razryadlash uchun qisqa tutashtiring.
2. Induktiv g'altak va kondensatorni asos taglikka o'rnatish.
3. Induktiv g'altak va kondensatorni bir chiziqli joylashtirish va ularni ikkita shtepsellar bilan ulash.
4. Kondensatorga o'zgarimas tok manbaini ulash, o'rtadagi Yerga ulash chiqishiga ulamang.
5. Kuchlanish muruvatini 0 V ga qo'ying.
6. Multimeterni induktiv g'altakka parallel ulash va DC kuchlanishni 3 V ga qo'ying.
7. Ta'minlash manbaini stendga ulash.
8. Qo'l sekundomerini ishga tayyorlang.



12.3 – rasm. Tajriba qurilmasi.

Ishni bajarish tartibi

1. Kondensator ostidagi kalitni chap tomonga ulang. 12.3 – rasm asosida (kalit 12.1 - rasmda «S» bilan belgilangan).
2. Ta'minlash manbaini ulang.
3. Ta'minlash kuchlanishini 3 V qilib tanlang.
4. Kuchlanish ortishdan to'xtamaguncha va kondensator to'la zaryadlanmaguncha kuting.
5. Endi kalitni manbadan induktiv g'altakga ulang va tebranish konturiga kuchlanish bering.
6. Kuchlanishning ikki maksimumi orasidagi vaqtni aniqlash uchun qo'l sekunderidan foydalaning.
7. Kondensatorni zaryadlash uchun oxirgi uch amalni takrorlang va boshqa kuchlanish maksimumlari orasidagi vaqtni 4 marta o'lchang.
8. Ta'minlash manbaini tarmoqdan uzing va kondensatorni ta'minlash manbidan ajrating.
9. Razryadlash uchun kondensator qutblarini qisqa tutashtiring.

O'lchash namunasi

Baholash – solishtirish: Dastlab, Ikki maksimum orasidagi Δt vaqtning o'rtacha qiymatini hisoblang. Bunda Δt ni topish uchun T davrni topishning Tomson formulasidan foydalaning:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{LC} \quad (12.6)$$

Bundan, L va C ko'paytmasini topish mumkin:

$$L \cdot C = \frac{\Delta t^2}{4 \cdot \pi^2} \quad (12.7)$$

Nazariya va tajribani solishtirish uchun LC ning aniq qiymatlarini HF ni bilgan holda (qurilmaga qarang) aniqlash mumkin:

	Nazariya bo'yicha	Tajribada

Natijalar

LC qiymatlarning nazariya va tajribada olinganlari orasida farq mavjud. Elektr qarshilik nazariya qiymatidan taqriban 0.4% ga kamroq. Shuning uchun farqning sababini boshqa joydan qidirish lozim. Bu yerdagi asosiy sabab induktivlikning tok kuchiga

bog'liqligidir. G'altak o'zagi magnit singdiruvchanligi magnit maydoni kuchlanganligiga bog'liq va u o'z navbatida tok kuchiga chiziqli bog'liq bo'ladi.

Texnika xavfsizligi yo'riqnomasi

Tajriba qurilmasida tajribalar hayot uchun xavfsiz past kuchlanishlarda olib borilishi zarur:

- DC – o'zgarmas tok kuchlanishi maximum - 60 V,
- AC – o'zgaruvchan tok kuchlanishi maximum – 25 V.

Nazorat savollari

1. Kvazistatsionar tok nima?
2. Tebranish konturi tenglamasini yozing va tushuntiring
3. Erkin so'nmas elektr tebranishlarni hosil qilish shartlari nimalardan iborat?
4. Erkin so'nuvchi elektr tebranishlarni tushuntiring
5. Kontur aslligi nima?
6. Kondensatorning aperiodik razryadlanishi deganda nimani tushuniladi?
7. Konturning kritik qarshiligi nima?

Foydalanilgan adabiyotlar :

[1]-21 bob, 217-220-paragraflar; [2]-10 bob, 129, 130-paragraflar; [3]-15 bob, 92-96-paragraflar; [5]-13 bob, 178-183-paragraflar.

13 (84) – LABORATORIYA ISHI

MAGNIT O'ZAKKA EGA BO'LMAGAN INDUKTIV G'ALTAKNING MAGNIT MAYDONINI O'LCHASH

Kerakli asbob va uskunalar: O'ramlar konsentratsiyasi variable, o'zgaruvchan g'altak, yuqori tokli manba, teslameter, aksial B – probe, ko'p o'zakli sim, g'altak va trubka uchun tutgich, egarsimon asos.

Laboratoriya ishining maqsadi: Magnit o'zakka ega bo'lmagan induktiv g'altakning magnit maydonini undan o'tayotgan I tok kuchining funksiyasi sifatida o'lchash, magnit o'zakka ega bo'lmagan induktiv g'altakning magnit maydonini uning uzunligi L va o'ramlar soni N ning funksiyasi sifatida o'lchash.

Qisqacha nazariya: Elektr toki o'tkazayotgan o'tkazgichlar orasida pondemotor (mexanik) o'zaro ta'sir kuchlari paydo bo'ladi. Bu kuchlarning kattaligi o'tayotgan tokning miqdori va o'tkazgichlarning o'zaro joylashishiga bog'liq bo'ladi.

Istalgan tokli o'tkazgichning atrofidagi fazoning hamma nuqtalarida toklar hosil qilgan kuch maydoni mavjud bo'ladi. Bu maydon tokning magnit maydoni deb ataladi. "Magnit maydoni" iborasi ingliz fizigi M.Faradey tomonidan kiritilgan. Faradey fikricha, ham elektr ham magnit o'zaro ta'sirlar qandaydir yagona moddiy maydon ta'siri natijasida paydo bo'ladi.

Tokli o'tkazgichlar hosil qilgan makroskopik magnit maydon zaryadlangan zarrachalarning (elektronlar, protonlar, ionlar) harakati natijasida hosil bo'ladi.

Magnit maydonining asosiy xarakteristikasi sifatida magnit maydon induksiyasi vektori $\vec{B}$ hisoblanadi. U turli mikroskopik maydonlar yig'indisining o'rtacha qiymatini ifodalaydi.

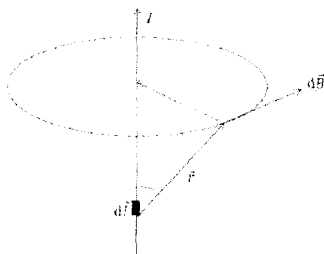
Harakatlanayotgan zaryad hosil qilgan magnit induksiyasi B ning qiymati va yo'nalishi zaryad kattaligiga, uning tezligiga va o'lchanayotgan nuqtadan qancha masofada joylashganiga bog'liq bo'lishi tushunarli. Agar zaryad o'rniga tok elementi - Idl olinsa, o'tkazgich joylashgan fazoning istalgan nuqtasida magnit maydon vektorini hisoblab chiqish mumkin.

Bio-Savar-Laplas qonuni tok elementi hosil qilgan magnit maydoni induktsiyasini topishga imkon beradi:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (13.1)$$

Bu yerda I – tok elementi, l – o'tkazgichdagi tok kuchi, $d\vec{l}$ – vektor, u modul bo'yicha o'tkazgich dl uzunligiga teng va yo'nalishi tok yo'nalishi bilan bir hil, μ – muhitning magnit singdiruvchanligi (vakuum uchun $\mu = 1$), $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Hn/m – magnit doimiysi, o'tkazgich elementi dl o'rtasi bilan magnit induksiyasi o'lchanayotgan nuqta orasidagi radius – vektor.

$\vec{B}$ – vektor yo'nalishi ikki vektorning vektor ko'paytmasi qoidasiga ko'ra aniqlanadi va markazi $d\vec{l}$ – vektor bo'ylab yo'nalgan o'q atrofida konsentrik aylanalardan iborat bo'ladi. Bu aylanalar magnit maydon kuch chiziqlari deb ataladi. $d\vec{l}$, $\vec{r}$ va $d\vec{B}$ vektorlar o'ng parma qoidasiga bo'ysunadi (13.1 – rasm).



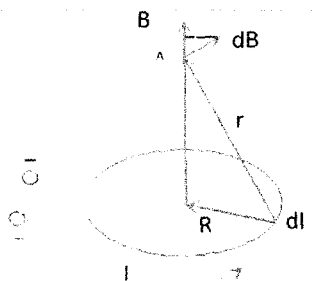
13.1 – rasm.

Magnit maydoni induksiyasi $\vec{B}$ ning kattaligi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$|dB| = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl \sin \alpha}{r^2} \quad (13.2)$$

Bu yerda α – $d\vec{l}$ va $\vec{r}$ vektorlar orasidagi burchak.

Aylanma tokli o'tkazgichni ko'rib chiqaylik. Shu aylananing markazidan o'tgan va aylana tekisligiga perpendikulyar o'qda joylashgan biron nuqtadagi magnit maydon induksiya vektori $\vec{B}$ ning kattaligi va yo'nalishini aniqlaylik (13.2 – rasm).



13.2 – rasm.

R radiusli aylanma tokda biror dl element ajratib olaylik. Undan simmetriya o'qida joylashgan A nuqtagacha radius – vektor o'tkazamiz. A nuqtada $d\vec{B}$ vektorning yo'nalishi (13.1) vektor ko'paytma orqali aniqlanadi.

Magnit maydonlari superpozitsiyasi printsipiga ko'ra A nuqtadagi magnit maydonining natijaviy induksiyasi aylanma tok hamma elementlarining hosil qilgan maydonlari yig'indisiga teng bo'ladi.

Natijaviy maydonning yo'nalishi simmetriya o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'ladi va uning kattaligi quyidagi integral orqali topiladi:

$$B = \int_L s\beta = \frac{I\cos\alpha}{R^2} \int dl \quad (13.3)$$

bu yerda α – $\vec{r}$ va $d\vec{l}$ vektorlari orasidagi burchak, (α);
va aylanma o'tkazgich radiusi R orasidagi burchak; $\int dl$ – aylanma o'tkazgich uzunligi.

Integrallash amalini bajarib quyidagi ifodani topamiz:

$$\frac{I\cos\alpha}{R^2} \int dl = \frac{I\cos\alpha}{R^2} \cdot 2\pi R \quad (13.4)$$

bu yerda a – aylana markazidan A nuqtagacha bo'lgan masofa; I – konturdagi (yassi chulg'amdagi) tok kuchi.

Agar aylanma o'tkazgich havoda joylashgan bo'lsa (13.4) ifodadagi muhitning magnit singdiruvchanligi μ ni taxminan 1 ga teng deb olish mumkin.

Solenoidning magnit maydoni

Solenoid deb izolyatsiyalangan simdan yasalgan o'ramlari ko'p bo'lgan silindrik ko'rinishdagi cho'lg'amga aytiladi. Solenoiddagi

vint qadami kichik bo'lsa cho'lg'amning har bir qismini aylana deb qabul qilish mumkin. Simmetriya nuqtai nazaridan qaraganda, solenoid ichida hosil bo'lgan magnit maydon induksiyasi uning o'qi bo'ylab yo'nalgan va tok yo'nalishi bilan o'ng vint sistemani tashkil etadi (13.3 – rasm).

Solenoid o'qidagi magnit maydonni quyidagicha hisoblash mumkin. Solenoidda kichik dl bo'lakcha olaylik. Bu uzunlikka ndl dona o'ramlar ($n=N/L$ – uzunlik birligiga to'g'ri keladigan o'ramlar soni, N - o'ramlarning umumiy soni, L - solenoid uzunligi) to'g'ri keladi. Har bir o'ramdagi tok kuchini I deb olsak, unda solenoidning dl bo'lagini $Indl$ aylanma tok deb qabul qilsak bo'ladi. Solenoid o'qida shu bo'lak hosil qilgan magnit maydon induksiyasi, (13.4) ga ko'ra, quyidagiga teng:

$$dB_x = \frac{\mu_0 R^2 I ndl}{2 \cdot (R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (13.5)$$

bu yerda x - gorizontaal o'q bo'ylab dl bilan A nuqta orasidagi masofa, R - o'ram radiusi (13.4 – rasm).

Solenoid o'qining musbat yo'nalishi (solenoid o'qining musbat yo'nalishi solenoiddagi tok bilan o'ng parma qoidasiga asosan bog'langan) bilan nuqtamizdan dl bo'lakka o'tkazilgan radius – vektor orasida β burchak kiritaylik. Unda

$$l = x = R \operatorname{tg} \beta, \quad r^2 = R^2 + x^2 = R^2 / \sin^2 \beta$$

bu yerdan $dl = -\frac{R \cdot d\beta}{\sin^2 \beta}$. Unda dB_x quyidagicha bo'ladi:

$$dB_x = -\frac{\mu_0 I n \sin \beta d\beta}{2} \quad (13.6)$$

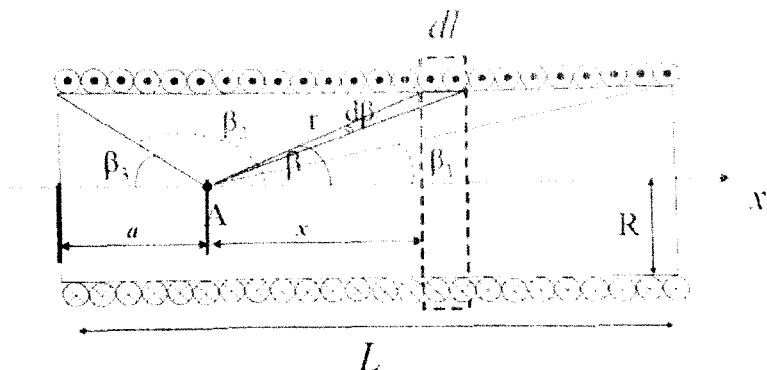
A nuqtada magnit maydon induksiyasining umumiy qiymatini aniqlash uchun hamma dl bo'laklar hosil qilgan hamma dB_x larning yig'indisini topish kerak, yoki (13.6) ifodani β burchak bo'yicha integrallash lozim:

$$B_x = -\frac{\mu_0 I n}{2} \int_{\beta_2}^{\beta_1} \sin \beta d\beta = \frac{\mu_0 I n}{2} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) = \frac{\mu_0 I n}{2} (\cos \beta_1 + \cos \beta_3) \quad (13.7)$$

bu yerda $\cos \beta_1 = \frac{L-a}{\sqrt{R^2 + (L-a)^2}}$ $\cos \beta_3 = \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}}$. ga teng.

Solenoidning chap tomonidagi nuqtada $\beta_3 = \pi/2$ shuning uchun induksiya

— formula bo'yicha hisoblanadi. Cheksiz uzun solenoid uchun $\beta_1 = 0$ va kuchlanganligi B va bundan solenoid ichidagi magnit maydon ga teng bo'ladi.



13.4 – rasm.

Tajriba qurilmasi

Tajriba qurilmasi 13.5 – rasmda tasvirlangan. Uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi o'ramlar soni o'zgaruvchan bo'lgan induktiv g'altakni trubka va g'altak uchun moslangan shtativga o'rnatish va uni yuqori tokli manbaga ulang.

Aksial B – namunani teslametrga ko'p o'zakli sim orqali ulang, uni namuna manbasidan chiquvchi shtativ tayoqchasiga mahkamlang va Xoll datchigi (a) induktiv g'altakning ichki qismining markaziga joylashadigan qilib yo'naltiring.

Tajribalarni bajarish tartibi

a) Tok kuchi I ning funksiyasi sifatida o'lchashlar: Teslametrdagi 20 mT o'lchash diapazonini tanlang va uni kompensatsiya ruchkasi yordamida 0 ni kalibrovka qiling.

(b,c) ulash klemmalarini birgalikda simmetrik ravishda shunday o'rnatishki g'altak uzunligi 15 cm bo'lgan (b klemma 12.5 cm da, c klemma 27.5 cm da joylashsin)

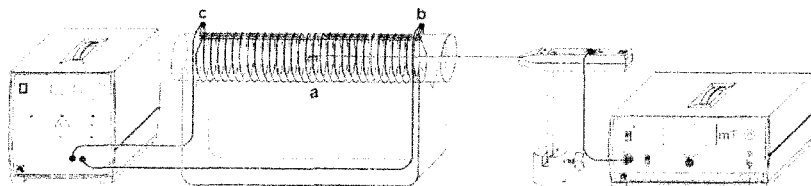
Tok kuchi I ni har safar 2 A dan orttirib borib unga mos keluvchi B magnit maydonini aniqlang. ($I=20$ A gacha)

Tok kuchi I ni har safar 2 A dan kamaytirib borib unga mos

keluvchi B magnit maydonini aniqlang. ($I=0$ A gacha) va teslametr nolini tekshirib ko'ring.

b) G'altak uzunligi L ning funksiyasi sifatida o'chashlar: G'altakdan o'tayotgan tok kuchini $I=20$ A ga o'rming.

G'altakning uzunligi L ni o'zgartirish uchun b va c klemmalarni simmetrik ravishda ikki tarafga siljiting va har safar B magnit maydonini o'lchang.



13.5 – rasm.

Har bir yangi tajribada tok kuchini kamaytira borib uning qiymati 0 ga borguncha takrorlang va teslametr nolini tekshirib ko'ring.

O'lchash misollari

a). Tok kuchi I ning funksiyasi sifatida o'lchashlar (1 – jadval). $N = 30$ va $L = 15$ cm uchun o'lchashlar.

1 – jadval

No	I , A	B , mT
1		
2		
...		

b) G'altak uzunligi L ning funksiyasi sifatida o'chashlar (2 – jadval). $N=30$ va $I=20$ A uchun o'lchashlar.

2 – jadval

No	L , cm	B , mT
1		
2		

Hisoblashlar va natijalar

1. B magnit maydoni induktsiyasining tok kuchi I ga bog'liqligi grafigi chizilsin va tahlil qilinsin.

2. B magnit maydoni induktsiyasining g'altak birlik uzunlikka to'g'ri keluvchi o'ramlar soni $n = N/L$ ga bog'liqligi grafigi chizilsin va tahlil qilinsin.

Nazorat savollari

1. Magnit oqimi. Induktivlik va uning birliklari.
2. Magnit maydon energiyasi va zichligi.
3. Solenoid va toroid induktivliklarini hisoblash.
4. Induktiv g'altak magnit maydonini hasoblash formulasini keltirib chiqaring.
5. Nima uchun uzun g'altak ichida magnit maydoni bir jinsli bo'ladi?
6. Nima uchun uzun g'altak tashqarisida magnit maydon deyarli kuzatilmaydi?
7. Magnit o'zakli induktiv g'altak ichida magnit maydoni qanday usullarda o'lchanadi?
8. Agar induktiv g'altak bifilyar bo'lsa o'zakli va o'zaksiz g'altak ichida magnit maydon qanday bo'ladi?
9. Magnit o'zakka ega bo'lmagan induktiv g'altakning magnit maydonini o'lchash xatoliklari nimalarga bog'liq?
10. Magnit shamollari o'lchash natijalariga qanday ta'sir etadi?
11. O'zak ichida harakatlanuvchi magnit datchik qanday tuzilishga ega va uning ishlash prinsipi nimaga asoslangan?

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]-21 bob, 217-220-paragraflar; [2]-10 bob, 129, 130-paragraflar; [3]-15 bob, 92-96-paragraflar; [5]-13 bob, 178-183-paragraflar.

14 (88) – LABORATORIYA ISHI

VAKUUMLI DIODNING VOLT - AMPER XARAKTERISTIKASINI O'RGANISH

Kerakli asbob va uskunalar: Planar diod, universal taglik, o'zgarmas tok manbai, ampermetr, voltmeter, taqsimlash qutisi, xavfsiz ulash simlari.

Laboratoriya ishining maqsadi: Vakuumli diodning volt – amper xarakteristikasini katodni qizdirish kuchlanishining uch qiymatida o'lchash, hajmiy manfiy zaryadning anod maydoniga qarshi ta'sir sohasini va VAX ining to'yinish sohasini aniqlash, Boguslavskiy - Lengmyur qonunini tekshirish.

Qisqacha nazariya: Metallarda issiqlik harakatida ishtirok etuvchi o'tkazuvchanlik elektronlari mavjud bo'lishi ma'lum. Elektronlar metall ichida saqlangani uchun sirt yaqinida elektronlarga ta'sir qiluvchi va metallning ichiga qarab yo'nalgan kuchlar mavjud bo'ladi.

Bu kuchlar elektronlar va panjaraning musbat ionlari orasidagi tortishish tufayli paydo bo'ladi.

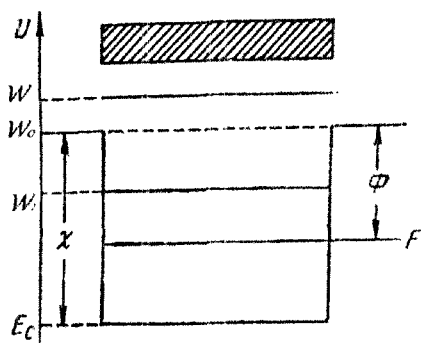
Bunday o'zaro ta'sir natijasida metallarning sirtqi qatlamida elektr maydon hosil bo'ladi, potensial esa tashqi fazodan metall ichiga o'tishda qandaydir φ kattalikka ortadi. Bunga mos ravishda elektronning potensial energiyasi $e \cdot \varphi$ qadar kamayadi.

Chekli metall uchun elektronning potensial energiyasi taqsimoti 14.1 – rasmdagi energetik diagrammada ko'rsatilgan.

Bu yerda W_0 – metall tashqarisida tinch turgan elektronning sathi, E_c – o'tkazuvchanlik elektronlarining eng kichik energiyasi (o'tkazuvchanlik zonasining tubi).

Potensial energiya taqsimoti potensial o'ra ko'rinishda bo'ladi. Uning chuqurligi $\chi = e \cdot \varphi = W_0 - E_c$ ga teng.

Bu kattalik elektron yaqinlik deb ataladi va moddaning muhim xarakteristikasidir.



14.1 – rasm. Elektronning potensial energiyasi U ning chekli metallda taqsimlanishi: χ elektron yaqinlik, $\phi = W_0 - F$ – termoelektron chiqish ishi.

Agar metall ichida elektron W_0 dan kichik bo'lgan W_1 to'la energiyaga ega bo'lsa (14.1 – rasm), u holda elektron metallni tashlab keta olmaydi. Elektronning metalldan uchib chiqish sharti W bo'ladi.

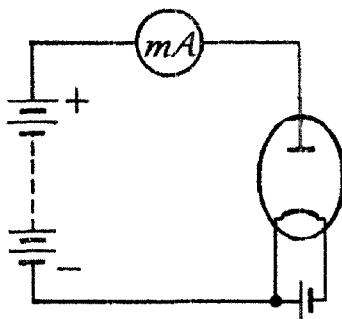
Xona temperaturalarida metallar va yarimo'tkazgichlardagi deyarli barcha elektronlar uchun bu shart bajarilmaydi va elektronlar o'tkazgich chegarasida bog'langandir. Biroq elektronlarga turli usullar bilan qo'shimcha energiya berish mumkin. Bunday holda metall elektronlarning bir qismi metallni tashlab chiqish imkoniyatiga ega bo'ladi va biz elektronlar chiqarish, ya'ni elektron emissiya hodisasini kuzatamiz.

Elektronlarga energiya qanday usulda berilishiga bog'liq holda biz elektron emissiyaning turli xillari to'g'risida gapirishimiz mumkin. Agar elektronlar jismlar temperaturasining ko'tarilishi natijasida jism issiqlik energiyasi hisobiga energiya olayotgan bo'lsa bunday emissiya termoelektron emissiya; elektronlarga yorug'lik yordamida energiya berilayotgan bo'lsa, bunday emissiya fotoemissiya yoki fotoelektr effekti; agar energiya elektronlarga biror tashqi boshqa zarralar (elektronlar, ionlar) bilan bombardimon qilishda berilgan bo'lsa, bunday emissiya ikkilamchi elektron emissiya deb ataladi.

Termoelektron emissiyani kuzatish uchun havosi so'rib olingan ikki elektrodli lampadan foydalanish mumkin. Uning bir elektrodi

qiyin eriydigan material (volfram, molibden va h.k) dan yasalgan, tok bilan maxsus chug'lantiriladigan sim (katod), ikkinchisi esa termoelektronlarni qabul qilivchi sovuq elektrod (anod). Bunday lampalar radiotexnikada o'zgaruvchan toklarni to'g'irlashda keng qo'llanilgan. Diodning anodi ko'pincha silindr shaklida yasaliib uning ichiga chug'lanadigan katod joylashtiriladi. Agar vakuumli diod, kuchlanish manbai va milliampermetrdan iborat elektr zanjir tuzilsa (14.2 – rasm), u holda katod sovuq bo'lganda zanjirda tok paydo bo'lmaydi, chunki diod ichidagi kuchli siyraklangan gazda (vakuumda) zaryadlangan zarralar yo'q va shuning uchun diodning elektr o'tkazuvchanligi amalda nolga teng bo'ladi. Agar diod katodini qo'shimcha tok manbai yordamida yuqori temperaturagacha chug'lantirilsa, milliampermetr tok paydo bo'lganini qayd qiladi.

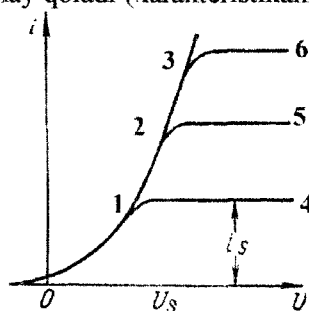
Diod zanjirida tok faqat batareyaning musbat qutbi anod bilan, manfiy qutbi esa katod bilan ulangandagina paydo bo'ladi. Agar diodga berilgan potentsiallar farqining ishorasi o'zgartirilsa, u holda katodni qanchalik kuchli chug'lantirsak ham zanjirda tok paydo bo'lmaydi. Bu hol katodning manfiy zarralar, ya'ni elektronlar chiqarishini va musbat ionlar metallni sezilarli miqdorda tark etmasligini bildiradi.



14.2 – rasm. Termoelektron emissiyani kuzatish sxemasi.

Dioddagi termoelektron tok kuchi anodning katodga nisbatan qanday kattalikda potentsialga ega ekaniga bog'liqdir (biz katodning o'zida kuchlanish tushishi juda kichik deb hisoblaymiz va shuning uchun anod potentsiali katodning qaysi nuqtasiga nisbatan o'lchanishini aniqlab o'tirmaymiz). Dioddagi tok kuchining anod kuchlanishiga bog'liqligini tasvirovchi egri chiziq (volt – amper

xarakteristikasi) 14.3 - rasmda tasvirlangan. (014 egri chiziq). Anod potentsiali 0 ga teng bo'lganda, diod orqali o'tgan tok kuchi juda kichik bo'ladi. Anodning musbat potentsiali ortganda tok kuchi 0 egri chiziqqa muvofiq ortadi. Anod kuchlanishining yanada ortishida tok kuchi biror maksimal i_s qiymatga erishadi, bu qiymat diodniir to'yinish toki deb ataladi va bu qiymat endi anod kuchlanishig deyarli bog'liq bo'lmay qoladi (xarakteristikaning 14 qismi).

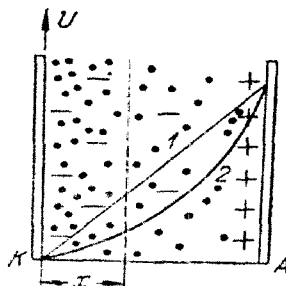


14.3 – rasm. Katodning turli temperaturalarida diodning volt – amper xarakteristikalari.

Katod temperaturasi ortgan sari to'yinish toki qiymati ortib boradi va volt-amper xarakteristika xarakteristika 0125, 01236 va h.k. egri chiziqlar bilan tasvirlanadi. Tokning i_s to'yinish tokidan kichik qiymatlarida tok kuchining kuchlanishga bog'lanishi barcha temperaturalarda aynan bir 0123 egri chiziq bilan tasvirlanadi. Turli temperaturalarda to'yinish toki i_s ning qiymati turlicha bo'ladi, katod temperaturasi ortganda bu qiymatlar tez kattalashadi. Bunda to'yinish toki qaror topadigan anod kuchlanishi ham ortadi. Ko'rib turibmizki vakuumli diodning volt amper xarakteristikasi to'g'ri chiziq bo'lmas ekan, binobarin, vakuumli diod Om qonuniga bo'ysunmaydigan o'tkazgichga misol bo'lar ekan.

Diod tokining kuchlanishga bog'liq bo'lishining sababi oddiy. Termoelektron emissiya bo'lganida katod va anod orasidagi fazoviy vaqtning ixtiyoriy paytida katoddan anodga qarab harakatlanuvchi elektronlar bo'ladi, bu elektronlar manfiy zaryad bulutini hosil qiladi (fazoviy zaryad). Bu fazoviy zaryad diodda potensial taqsimotini o'zgartiradi. Agar katod va anod bir – biriga parallel bo'lgan yasash plastinkalar bo'lsa (14.4 – rasm), u holda fazoviy zaryad

bo'lmaganida (sovuq katodda) yassi kondensatorni tashkil qiluvchi katod va anod orasida potensial taqsimoti 1 tog'ri chiziq bilan tasvirlanadi. Termoelektron tok bo'lganida (katod chug'langanida) katod va anod orasida fazoviy zaryad hosil bo'ladi va potensial taqsimoti o'zgaradi; bu taqsimot endi 2 egri chiziq bilan ifodalanadi. Bunda har qanday x tekislikda potensialning qiymati fazoviy zaryad bo'lmagandagidan kichik bo'ladi, binobarin, elektronlar harakati tezligi ham fazoviy zaryad bo'lganda kamayadi. Anod kuchlanishi ortganda elektronlarning fazoviy zaryad bulutidagi konsentratsiyasi kamayadi. Shuning uchun fazoviy zaryadning tormozlash ta'siri ham kamayadi va anod toki ortadi.



14.4 – rasm. Dioddagi fazoviy zaryad va uning potensialni qayta taqsimlanishiga ta'siri: 1 – potensialning fazoviy zaryad bo'lmagandagi taqsimlanishi, 2 – potensialning fazoviy zaryad bo'lgandagi taqsimlanishi.

Diod toki i ning anod potentsiali U ga bog'lanishi quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$i = C \cdot U^{\frac{3}{2}} \quad (14.1)$$

Bunda C – elektrodning shakli va o'lchamlariga bog'liq bo'ladi.

Yassi diod uchun

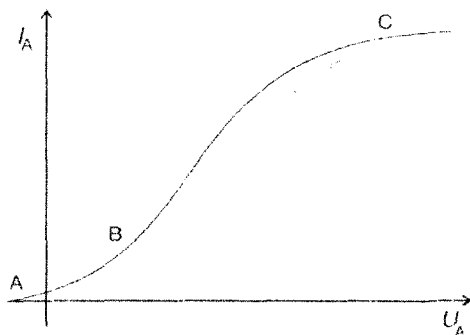
$$C = \frac{4}{9} \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d^2} \cdot \sqrt{\frac{2e}{m}} \quad (14.2)$$

bu yerda $\frac{e}{m}$ – elektronning solishtirma zaryadi, d – katod va anod orasidagi masofa, S – katodning sirti (anod sirtiga teng), ϵ_0 – elektr doimiysi.

14.1 – formula 14.3 – rasmdagi 0123 egri chiziqni ifodalaydi. Bu formula Boguslavskiy – Lengmyur qonuni yoki “3/2 qonuni” deb ataladi.

Anod potentsiali vaqt birligi ichida katod chiqarayotgan barcha elektronlar anodga borib tushadigan darajada katta bo'lganida tok o'zining maksimal qiymatiga erishadi va anod kuchlanishiga bog'liq bo'lmay qoladi. To'yinish tokining j_s , ya'ni katod sirtining har bir birligiga to'g'ri keluvchi to'yinish toki kuchi katodning emissiyon qobiliyatini xarakterlaydi, bu kattalik katodning tabiatiga va uning temperaturasiga bog'liq bo'ladi.

Demak, umuman olganda, vakuumli diod yarim o'tkazgichli diodga o'xshash xossalarga ega. Yarimo'tkazgichli diodlar rivojlanish bilan vakuumli diodlar tobora muhimligini yo'qotib bormoqda. Bugungi kunda integral zanjirlarda kam joy egallaganliklari uchun asosan yarimo'tkazgichli qurilmalardan foydalanilmoqda. Bu tajribada vakuumli diodning volt – amper xarakteristikasi (VAX) o'rganiladi. VAX anod toki I_A ning anod kuchlanishi U_A dan bog'liqligini ifodalaydi. 14.5 – rasmda diodni VAX ning grafik shakli ko'rsatilgan.



14.5 – rasm. Vakuumli diod tokining kuchlanishga bog'liqligi (VAX).

Vakuumli diod volt – amper xarakteristikasida uch sohani bir - biridan farqlash mumkin.

Teskari kuchlanish sohasi (A): Bu soha anod potentsiali katod potentsialiga nisbatan manfiy bo'lgan soha hisoblanadi. Bu sohada elektronlar elektr maydoniga qarshi yo'nalishda harakatlana olmaydi.

Elektronlar katoddan $E_{\text{kin}} > 0$ kinetik energiya bilan ajralib chiqqanlari uchun anod kuchlanishi eng tez elektronlarni to'xtatib qolgununga qadar anod toki mavjud bo'ladi.

Hajmiy zaryadlar chegaralanish sohasi (B): Kichik maydon kuchlanganligida katoddan ajralib chiqayotgan elektronlarning barchasi ham anodga yetib bora olmaydi. Ular katodni atrofida xuddi bulutga o'xshab manfiy fazoviy zaryadni hosil qiladi. Shuning uchun past kuchlanishlarda anodda boshlanadigan elektr maydon kuch chiziqlari katodgacha yetib bormasdan shu elektronlarning fazoviy manfiy zaryadida tugaydi. Anoddan boshlanib chiqayotgan elektr maydon shunday qilib to'siqqa uchraydi. Qachonki kuchlanishning ortishi maydon kuch chiziqlarini katod atrofi sferasiga chuqurroq va chuqurroq kiritib olganda anod toki orta boradi.

Tajriba qurilmasi

Tajriba qurilmasi 14.6 – rasmda tasvirlangan. Qurilmani ulash quyidagi ketma – ketlikda bajarilishi mumkin:

P diodni universal shtativga kiritish uchun shisha shtiftlarni yaxshilab joyiga yo'naltiring va keyin barcha shtift kontaktlari ularning rozetkalariga o'rnatguncha ehtiyotlik bilan bising.

Tok manbaini taqsimlash shiti orqali tarmoqqa ulang.

Qizdirish kuchlanishi chiqishining (a) manfiy qutbini va tok manbaidagi 500 V chiqish (b) ni xavfsiz ulash simlari bilan ulang va bundan tashqari ularni taqsimlashtirishning "Yer" rozetkasiga ulang.

Qizdirish kuchlanishi chiqishining manfiy qutbini universal shtativning F4 rozetkasiga va musbat qutbini F3 rozetkasiga ulash uchun xavfsiz ulash simlaridan foydalaning.

I_A anod tokini o'lchash uchun anod ulash kabelini ampermetrning minus klemmasiga ulang va ampermetrning plus klemmasini 500 V chiqishning musbat qutbiga ulang.

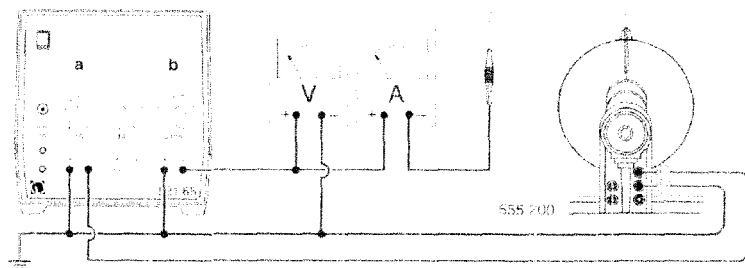
U_A anod kuchlanishini o'lchash uchun voltmetrni 500 V chiqishga ulang.

Mos keluvchi o'lchash diapazonini tanlang (masalan, ampermetrda mA va voltmetrda 500 V).

Tok manbaini va ampermetrni kuting. Diodning qizdirish simi

birdaniga qizil bolib yonish kerk.

Agar zarurat tug'lsa diodni tekshirib ko'rish uchun oling va universal shtativ P diod o'rtasidagi kontaktlar yaxshi ulanganligini tekshirib ko'ring.



14.6– rasm.

Tajribalarni o'tkazish

Aylanma potentsiometr yordamida 5.0 V qizdirish kuchlanishini o'rnatang.

U_A anod kuchlanishini aylanma potentsiometr (b) yordamida 0 V dan boshlab orttira borib bir qancha kuchlanishlar uchun anod toki I_A ni yozib oling (o'lchash misollariga qarang).

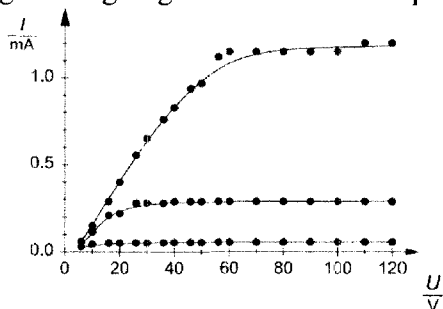
Kuchlanishning 5.5 V va 6.0 V qiymatlari uchun ham tajribalarni takrorlang.

Eslatma: Vakuumli diodga qizdirish kuchlanishi ulanganda yoki kuchlanishning qiymati o'zgarganda qizdirgich yangi temperaturaga bir necha sekund ichida erishadi. Shuning uchun qizdirgich ulangandan tajribalarni boshlash mumkin.

Hisoblashlar va natijalar

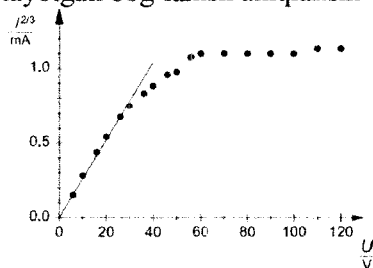
14.7 – rasmda qizdirish kuchlanishining uch har xil qiymati U_1 , U_2 va U_3 lar uchun anod toki I_A ning anod kuchlanishi U_A dan bog'liqligi keltirilgan. Hajmiy zaryadlarning chegaralash sohasi va to'yinish sohasi C aniq ajralib turibdi. Qizdirish kuchlanishining kattaroq bo'lishi to'yinish tokining kattaroq bo'lishiga olib keladi. Bu esa to'yinish tokining katoddan ajralib chiqayotgan elektronlar soniga tog'ri proporsional bo'lish faktini tasdiqlaydi. Olingan natijalar asosida 14.7 – rasmda ko'rsatilgandek

parametrlarning bog'lanish grafigi chizilsin va tahlil qilinsin.



14.7 – rasm.

Boguslavskiy – Lengmyur tenglamasini tekshirib ko'rish uchun anod I tokining anod kuchlanishi U_A dan bog'liqligi 14.8 – rasmda chizilgan. (14.1) tenglamaga asosan chiziqli bo'lishi kutilayotgan bog'lanish grafikdan aniq ko'rinadi va bu qonunning to'g'riligini tasdiqlaydi. Olingan natijalar asosida chiziqli bo'lishi kutilayotgan bog'lanish aniqlansin va tahlil qilinsin.



14.8 – rasm.

Nazorat savollari

1. Termoelektron emissiya xodisasi. Elektronning chiqish ishi.
2. Vakuimli diodning tuzulishi, ishlash prinsipi va vazifasi.
3. Vakuimli diod uchun volt-amper harakteristikasi.
4. Nima uchun anod kuchlanishi berilmasa ham, vakuumli doidda anod toki mavjud bo'ladi? Sababi nimada?
5. Nima uchun tajribada to'yinish tokiga keskin o'tilmaydi?
6. Elektron bulut anod tokiga qanday ta'sir etadi?
7. 3/2 qonunini tushuntiring va isbotlang.

8. To'yinish toki zichligini haroratga bog'liqligi. Deshman formulasi.

9. Fermi sathi nima?

10. Termoelektron chiqish ishini aniqlashning Richardson usuli.

11. Termoelektron chiqish ishini aniqlashning to'la tok usuli.

12. Yarimo'tkazgichli diodning tuzilishi, ishlash prinsipi va vazifasi.

13. Vakuumli diod yordamida o'zgaruvchan toklarni to'g'irlash.

14. Termoelektron emissiya hodisasini fan va texnikada qo'llanishi.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]-15 bob, 156-157-paragraflar; [2]-10 bob, 129, 130-paragraflar; [3]-15 bob, 92-96-paragraflar; [5]-13 bob, 178-183-paragraflar.

ELEKTR O'LCHOV ASBOBLARI

Elektr ($q, I, U, \dots$) va magnit ($B, \Phi, L, \dots$) kattaliklarni miqdoriy o'lchash uchun turli xil elektr o'lchash asboblari (galvanometrlar, G, ampermetrlar, A, voltmeterlar, V va boshqalar) va ularning turli xil sxemalardagi kombinatsiyalari qo'llaniladi.

Elektrik kattaliklarni ularning namoyon bo'lishi va ta'sirlariga qarab o'lchanadi: a) mexanik ta'sir; masalan ikki plastina orasidagi potentsiallar farqini o'zaro tortishish kuchi orqali o'lchash mumkin; b) kimyoviy ta'sir; masalan, oqib o'tgan elektr miqdorini elektrodlarda yig'ilgan modda miqdoriga qarab aniqlash mumkin; v) issiqlik ta'siri; o'tkazgichning qizishiga qarab va h.k. Bir turdagi kattalikni o'lchash o'rniga u bilan bog'liq bo'lgan boshqa turdagi kattalikni o'lchash mumkin. Masalan, zanjirning bir qismidagi qarshilikni bilgan holda va voltmeter orqali kuchlanish tushishini o'lchab Ohm qonuni bo'yicha tok kuchini topish mumkin. O'lchashlar to'g'ridan – to'g'ri (elektrometr bilan q ni o'lchash) yoki qiyosiy (ko'prik sxemasi yordamida R ni o'lchash) bo'lishi mumkin. Ko'p hollarda, o'lchashlar oxir – oqibat yoki strekkaning siljishiga yoki shkaladagi nur o'lchashga keltiriladi.

O'lchov asboblari ikki turga bo'linadi: 1) to'g'ridan – to'g'ri o'lchash asboblari (qarshiliklar, elektr yurituvchi kuchlar, sig'imgirlar etalonlari) va 2) kattalikning o'lchov birliklari bilan solishtiruvchi asboblari. O'lchov mexanizmining o'zi, ko'pincha, mexanik ta'sirlardan himoyalangan korpus ichida joylashgan bo'ladi. Qo'shimcha detallar korpus tashqarisida joylashgan bo'lishi mumkin. Asboblari quyidagi turlarga bo'linadi: a) o'lchash xarakteriga qarab: to'g'ridan – to'g'ri o'lchaydigan va o'zi yozib oladigan; b) ishlatish sharoitlariga qarab: statsionar, mobil va transportda joylashtirilgan; v) o'lchash aniqligi bo'yicha: sinflarga - 0.2; 0.5; 1; 1.5; 2; sinfga tegishli sonlar o'lchash chegarasidagi xatolikning foizini bildiradi va asbobimiz shkalasiga belgilab yoziladi; g) ishlash printsipiga qarab: magnitoelektrik, elektromagnitik, issiqlik, elektrodinamik va boshqacha bo'lishi mumkin. Asbobning ishlash printsipini ko'rsatuvchi belgi ham uning shkalasiga yoziladi (ushbu belgilar quyidagi 1 – jadvalda keltirilgan).

Bundan tashqari, shkalaga asbobning boshqa xarakteristiklari ham yoziladi: tok turi – o'zgarmas (—) yoki o'zgaruvchan (~); asbobning joylanishi - vertikal ($\uparrow$), gorizontal ($\rightarrow$) yoki burchak ostida ($\angle 60^\circ$); himoya qobig'ini buzuvchi kuchlanish ($\sqrt{2}$ kV) va b.

Sistema	Shartli belgi	Sistema	Shartli belgi
Magnitoelektrik		Elektrodinamik	
Eletromagnit		Issiqlik	

Magnitoelektrik asboblari

Laboratoriyalarda, ko'pgina hollarda, tokli g'altakka ta'sir etuvchi magnit maydoni printsipiga asoslangan magnitoelektrik asboblari ishlatiladi. Asosiy magnitoelektrik asbob – galvanometr hisoblanadi. U sezgirligi yuqori asbob bo'lib, kuchsiz toklar va boshqa elektr kattaliklarni o'lchaydi. 1– rasmda strelkali galvanometrning sxemasi keltirilgan. Ingichka simdan yasalgan g'altak (ramka) doimiy magnit qutblari orasida aylanishi mumkin. Magnit maydonini kuchaytirish uchun ichkarida temir o'zak o'rnatilgan. G'altakdan tok o'tkazilganda strelka maydon bo'ylab joylashishga harakat qiladi. G'altakka ta'sir etuvchi moment M_{ay} tok kuchimiz I ga proporsional, ya'ni $M_{ay} = k_1 I$, bu yerda koeffitsiyent magnit hosil qilgan maydon kuchlanganligiga, g'altakdagi o'ramlar soniga, asbobimiz o'lchamlari va undagi elementlarning o'zaro joylashuviga bog'liq. G'altak va unga bog'langan strelkani biror φ burchakka burganimizda Π prujinamiz cho'ziladi va qarshi moment M_{el} ni paydo qiladi. Bu moment aylanish burchagimiz φ ga to'g'ri proporsional, ya'ni $M_{el} = k_2 \varphi$, bu yerda koeffitsiyent prujinaning o'lchamlari va materialiga bog'liq.

Muvozanat paytida

$$M_{ay} = M_{el} \quad \text{ya'ni} \quad k_1 I = k_2 \varphi \quad \text{va} \quad I \sim \varphi \sim n$$

(1)

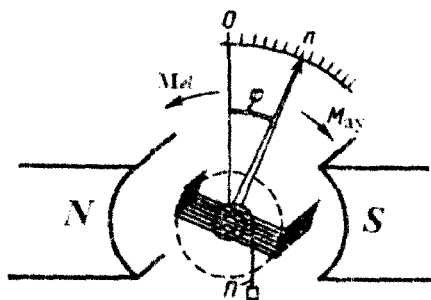
bu yerda n strelka shkalasida ko'rsatgan bo'limlar soni. (1) ifodadan magnitoelektrik galvanometrning shkalasi bir tekis ekanligi ko'rinish turibdi. Demak,

$$I = C \cdot n \quad \text{yoki} \quad n = S \cdot I$$

Proporsionallik koeffitsiyenti C qurilma parametrlariga bog'liq bo'lib, qurilma doimiysi deb ataladi. Unga teskari kattalik $S = \frac{1}{C}$

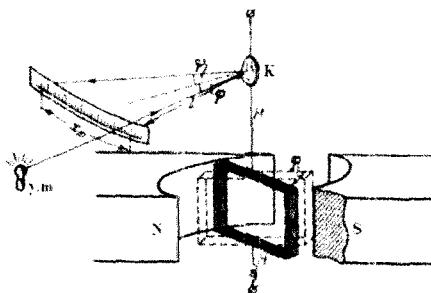
asbobning sezgirliги deb ataladi. Ko'pincha, galvanometrning doimiysi miqdorda uchraydi.

Galvanometr sezgirliğini oshirish uchun uning harakatchan qismini yengillashtiriladi va spiral prujinani elastik o'raluvchi ipga almashtiriladi. Ipga ramka deb ataluvchi kichkina g'altak osiladi. Shunga o'xshash ko'zguli galvanometrning sxemasi 2 – rasmda tasvirlangan.



1 – rasm.

Burchak φ ni ipga o'ralishni belgilash uchun unga kichkinagina ko'zgu 3 ulanadi. Yorug'lik nuri manbadan chiqadi, ko'zguda aks etadi va asbobdan ma'lum masofadagi joylashgan shaffof shkalaga tushadi. Ko'zgu burilganda yorug'lik nuri mos ravishda shkaladagi tegishli bo'limda aks etadi. Shkala bilan ko'zgu orasidagi masofa 1 m bo'lsa mm da o'lchanadi.



2 – rasm.

Yuqori sezgirliги bois galvanometrning doimiysi

— ga teng bo'ladi. Bunday kichik

tokni

elektrokimyoviy yo'l bilan o'lchaydigan bo'lsak elektrodlarda 1 mg kumush ajralishi uchun 3000 yil ketar ekan.

Ramkachaga qo'shimcha yukchalarni osib (3 – rasm) uning inersiya momentini I ni oshiramiz, buning natijasida ko'zguli galvanometr ballistik galvanometrga aylanadi va uning yordamida qisqa tok impulslarini o'lchash mumkin bo'ladi. Agar ramka orqali kichik Δt vaqt ichida I tok o'tsa, unda o'tgan zaryad ramkaga ta'sir qilayotgan impuls momentiga proporsional, ya'ni q bo'ladi. Mexanika qonunlariga ko'ra, bu impuls momenti ramkaning harakat impuls momenti ortirmasiga teng

),

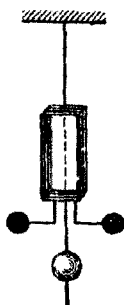
Bu yerda ω – ramkaning harakat oxiridagi aylanishning burchak tezligi. Turtki natijasida ramka $I\omega^2/2$ kinetik energiyaga erishadi va ipni tortib aylantirishni boshlaydi. Bunda taranglik kuchlariga qarshi ish bajariladi va taxminan 5 – 10 sekund vaqt o'tgandan keyin ramka biror φ burchakka burilib aylanishdan to'xtaydi. Shu paytda ramka olgan kinetik energiya ipning elastik deformatsiya potentsial energiyasiga aylanadi, ya'ni

$$\frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} C_b \varphi^2,$$

bu yerda C_b — ipning taranglik koeffitsiyenti. Bu yerdan va quyidagi ifodadan o'tgan zaryad q uchun

$$(2)$$

bo'ladi. C_b – kattalik galvanometrnin ballistik doimiysi deb ataladi va uning qiymati taxminan 10^{-9} — atrofida bo'ladi.

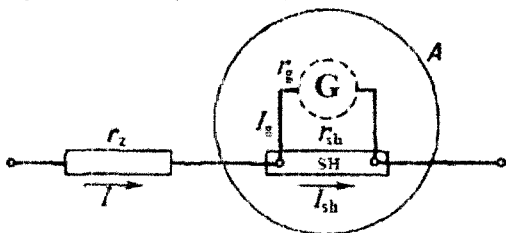


3 – rasm.

Harakat to'xtagach ip qayta yechila boshlaydi va ramka so'nuvchi (ishqalanish tufayli) tebranma harakat qila boshlaydi. Tebranishlarni to'xtatish uchun ramkani qisqa tutashtiriladi va paydo bo'lgan induksion toklar harakatni tormozlaydi.

Galvanometr ramkasi ingichka simdan o'ralgani sababli undan katta toklarni o'tkazish mumkin emas. Shuning uchun, ramkani kuydirmaslik maqsadida galvanometr oddiy zanjirga ulanmaydi.

I tokni o'lchash uchun zanjirga ampermetr ulanadi. Ampermetr bu – galvanometr va unga, 4 – rasmda ko'rsatilgandek, parallel ulangan kichik qarshilikdan (shunt) iborat.



4 – rasmi.

Tok tugunlarda tarmoqlanganda uning katta qismi shunt orqali o'tsa kichik qismi I_g galvanometr orqali o'tadi. r bo'lgani uchun Kirxgof qoidalariga ko'ra

Bunda

(3)

Galvanometrdagi I_g tok zanjirjagi I tokdan ancha kichik lekin unga to'g'ri proporsional. Shu proporsionallikdan foydalanib galvanometr shkalasini zanjirdagi tok qiymatiga moslab graduировka qilish mumkin. O'lchashlarda ampermetrni zanjirga ketma – ket ulash kerak. G'altaknini kuydirmaslik uchun uni tok manbasiga qisqa tutushtirib bo'lmaydi. Zanjirdagi quvvat isrofini kamaytirish uchun ampermetr qarshiligi $r_a = r_g r_{sh} / (r_g + r_{sh})$ zanjirdagi qarshiliklardan kam bo'lishi lozim.

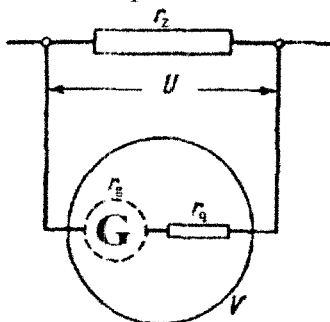
Ko'p shkalali ampermetrlarda shuntlar yig'masi bo'lib, ular tok qiymatiga qarab o'zgarib turishi mumkin.

Galvanometrqa qo'shimcha katta qarshilikni $r_q \gg r_g$ ulab, o'tayotgan tokni kamaytirib, asbobimizni voltmetr sifatida ishlatish mumkin. Voltmetr zanjirdagi U kuchlanish tushishini o'lchash uchun, 5 – rasmda ko'rsatilgandek, qarshilikka parallel ulanadi. Om qonuniga ko'ra, voltmetrdan (galvanometrdan) o'tayotgan tok kuchi I_V zanjir

$$I_V = \frac{U}{R_V} = \frac{U}{r_g + r_q} \quad (4)$$

dagi kuchlanish tushishiga to'g'ri proporsional.

Bu proporsionallikdan foydalanib galvanometr shkalasini U kuchlanishga moslab graduировka qilish mumkin.



5 – rasm.

Voltmetrning zanjirga ulanishi natijasida zanjirdagi kuchlanish qiymati uncha o'zgarماسligi uchun uning qarshiligi zanjirdagi qarshilikdan juda katta bo'lishi kerak $r_V \gg r_z$. Unda qarshiliklarni parallel ulanish qoidasi

$$r_{yig'} = \frac{r_V r_z}{r_V + r_z}$$

voltmetr ulanganda deyarli o'zgarmaydi.

Ko'p shkalali voltmترلarlarda qarshiliklar yig'masi bo'lib, ular kuchlanish qiymatiga qarab o'zgarib turishi mumkin.

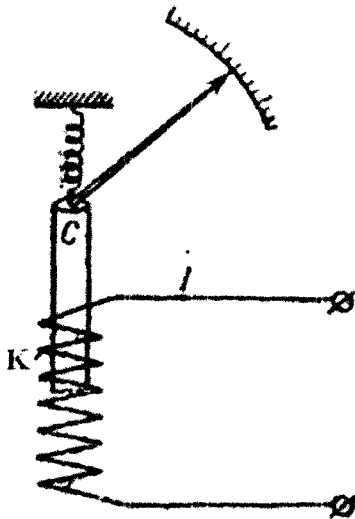
Elektr o'lchov asboblarning o'zgacha sistemalari

Magnitoelektrik asboblار sistemasi yuqori sezgirlikka ega, ammo faqat o'zgarماس toklarni o'lchash uchun yaroqli. Shuning uchun, o'lchash texnikasida boshqa qator asbob sistemalari ishlatiladi. Ulardan foydalanib nafaqat o'zgarماس balki o'zgaruvchan toklarni ham o'lchash mumkin. Ulardan ba'zilarini ko'rib chiqamiz. 6 – rasmda elektromagnit sistemadagi asbob sxemasi tasvirlangan.

K g'altakdan I tok o'tganida unda magnit maydoni paydo bo'ladi va prujinaga osilgan C temir o'zakni g'altak ichiga tortadi.

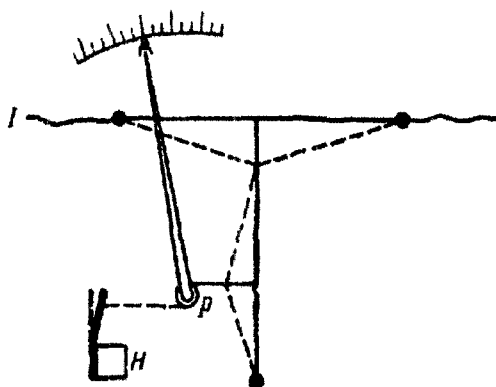
Tokning qiymati qanchalik katta bo'lsa prujina tortilishi va unga bog'langan strelkaning burilishi shuncha katta bo'ladi. Konstruktiv jihatdan bunday asboblarni quyidagicha yasaladi: o'zak qandaydir shaklda yasalib, strelka bilan aylanish o'qi atrofida birga aylanadi. Pujina esa magnitoelektrik galvanometrdaidek spiral shaklida bo'ladi.

7 – rasmda issiqlik o'tkazish hodisasiga asoslangan o'lchov asbobining elektr sxemasi keltirilgan. O'tkazgich orqali o'tayotgan I tok uni qizdiradi va buning natijasida sim o'tkazgich cho'ziladi. Richaklar sistemasi orqali bu yuzaga keladigan siljish P rolikka o'ralgan H ipning bir uchiga uzatiladi.



6 – rasm.

Bunda ipning ikkinchi uchi plastinkasimon prujina yordamida cho'ziladi va g'altak burilib asbob strelkasini o'zi bilan birgalikda aylanma harakatga keltiradi. Joule – Lens qonuniga ko'ra ajralib chiqqan issiqlik miqdori va ipning qizishi tok kuchining kvadratiga proporsional bo'lganligi tufayli issiqlik ampermetri shkalasi bir tekis emas. Bu sistemadagi elektr o'lchov asboblariidan taqribiy o'lchashlar qanoatlantiradigan hollardagina foydalaniladi, chunki ular yetarlicha katta issiqlik inersiyasiga ega.



7 – rasmi.

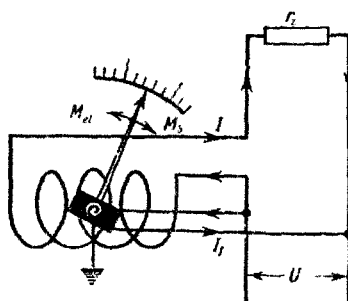
O'lchov asboblarning elektrodinamik sistemalarida ikkita tokli g'altakning o'zaro ta'siridan foydalaniladi. 8 – rasmda elektrodinamik vattmetr W keltirilgan. Birinchi kichik qarshilikli katta g'altak zanjirda ketma – ket ulangan. Bu g'altak orqali zanjirdan oqib o'tayotgan I tok o'tadi va u g'altakda I tokka proporsional bo'lgan B induksiyali magnit maydonini hosil qiladi. Ushbu g'altak ichida uning o'qiga perpendikulyar ravishda xuddi voltmeter kabi ulanadigan katta qarshilikli ikkinchi g'altak o'rnatilgan.

Bu g'altakdagi I_1 tok U kuchlanish tushishiga proporsional. Birinchi g'altakning magnit momenti ikkinchi g'altakka B induksiyali magnit maydoniga va ikkinchi g'altakdagi I_1 tokka proporsional bo'lgan buriluvchi moment bilan ta'sir ko'rsatadi, ya'ni $M_b = BI_1$; chunki $B \sim I_1$, va $I_1 \sim U$, shu sababli $M_b \sim IU$.

Ikkinchi g'altak burilib turib, spiralsimon prujinani cho'zadi, va buruvchi moment elastik kuchlar momenti bilan tenglashadi. U holda g'altakning burilish burchagi va u bilan bog'langan strelka

(5)

IU ko'paytmaga proporsional bo'lar ekan, ya'ni tok tufayli zanjirda ajraladigan quvvatga proporsional bo'ladi.



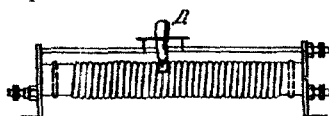
8 – rasm.

Ba'zi bir kattaliklarni o'lchash maxsus o'lchov sxemalarini o'z ichiga olgan, xususan tarkibida turli elektron lampalar bo'lgan ulchov asboblardan foydalanishni talab qiladi.

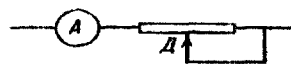
Reostat va potentsiometrlar

Zanjirdagi toklarni o'lchash uchun odatda reostat deb ataluvchi o'zgaruvchan qarshiliklar unda ketma – ket ulanadi. Reostat qattiq nometall karkasga o'ralgan ma'lum kesimga ega bo'lgan ochiq metall simdan iborat sistema (9 – rasm).

Bu g'altakka parallel ravishda quyidagi rasmda ko'rsatilgandek metall sterjen o'rnatilgan bo'lib, unga Δ surgich deb yuritiluvchi kontakt (surgich) o'rnatilgan. Surgichning vaziyatiga bog'liq ravishda asosiy simning bir qismidan tok oqib o'tadi, simning qarshiligi uning uzunligiga proporsional.



9 – rasm.



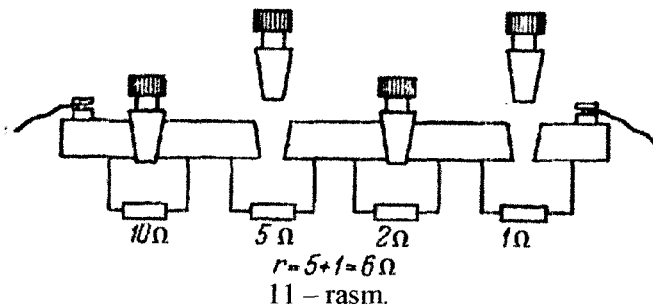
10 –

rasm.

Reostatning ulanish sxemasi 10 – rasmda keltirilgan. Reostat korpusida uning to'la qarshiligi va undan o'tishi mumkin bo'lgan tokning maksimal qiymati keltiriladi.

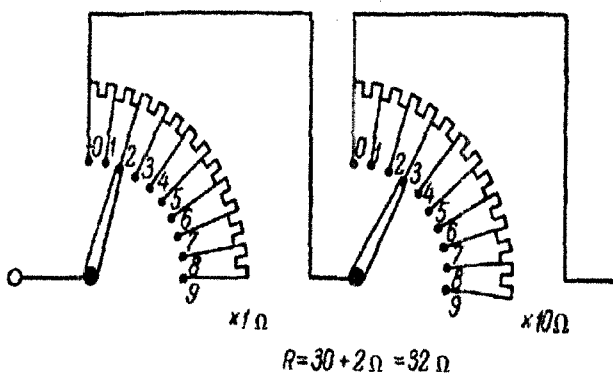
Keng intervalda turli qarshiliklarni tanlab olish maqsadida ko'pchilik hollarda qarshiliklar magazini deb ataluvchi qurilmalardan foydalaniladi. 11 – rasmda maxsus tirqishlarga joylashtiriladigan yetarlicha kichik qarshilikli mis plastinkalardan tashkil topgan shtepselli qarshiliklar magazini keltirilgan. Tirqishlar orasida maxsus

aniq qarshilikka ega bo'lgan g'altak o'ramlari joylashtirilgan. Tirqishlarga maxsus shtepsellarni joylashtirib g'altaklarni qisqa tutashtirib ularni zanjirga ulash mumkin. Bunday qarshiliklar magazini qarshiligi qisqa tutashtirilmagan g'altakchalar qarshiliklari yig'indisidan iborat, ya'ni qaysi shtepsellar olib qo'yilganiga qarab aniqlanadi.



11 – rasmi.

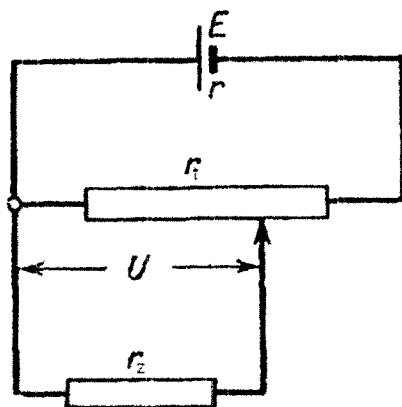
Richagli qarshiliklar magazinida g'altaklar bir xil qarshilikka ega bo'lgan guruhlar (1 Ω, 10 Ω, 100 Ω va boshqalar) ketma – ket ulanadi va xuddi 12 – rasmda ko'rsatilgandek har bir g'altakdan alohida – alohida simlar chiqariladi, elektr zanjiriga kerakli bo'lgan qarshilikni ulash mumkin.



12 – rasmi.

Kuchlanishni bo'lish uchun reostatning uch qisqichi ham ishlatiladi va so'nggi qisqich bevosita 13 – rasmda ko'rsatilgan potensiometr sxemasi bo'yicha ulanadi. Potensiometrning to'la qarshiligiga kuchlanish manbai bilan ketma – ket ulanadi. Potensiometr qizib ketmasligi uchun undan kichik tok oqib o'tishi va

uning qarshiligi manbaning ichki qarshiligi r dan yetarlicha katta bo'lishi kerak.



13 – rasm.

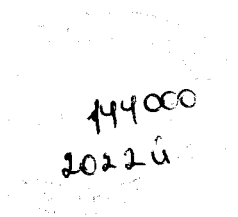
Agar istemolchi zanjirida manbaning to'la kuchlanishi ε ning bo'lishi shart bo'lmasa, u holda biror chetki nuqta va potentsiometr surgichi orasida ulanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Калашников С. Г. Электричество. Москва, Физматлит 2004 г.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т о м – III. Электричество. Москва, Физматлит 2015 г.
3. Савельев И.В. Курс общий физики. т о м. II – Электричество, Москва, КноРус 2012 г.
4. Зисман Г.А., Тодес О. М. Курс общей физики. II – т о м, Электричество и магнетизм. Москва, Лань 2019 г.
5. Телеснин П.В., Яковлев В.Ф. Курс физики, Электричество, Просвещение, Москва 1969 й.
6. Штрауф Е.А. Курс физики. II – том, Судпромиздат, Ленинград 1963 й.
7. Зелдович Я.Б. Мишкис А.Д. Элементы прикладной математики, II-бўлим, Математическая обработка результатов опыта. Физматлит, Москва 2008 г.
8. Зайдел А.Н. Элементарные оценки ошибок измерений. Наука, Москва 1968 й.
9. Алешкевич В.А. Электромагнетизм, Физматлит, Москва 2014
10. Киселев Д.Ф., Жукарев А.С., Иванов С.А., Киров С.А., Лукашева Е.В. Электричество и магнетизм. Методика решения задач. Москва, Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова 2010 г.
11. Русаков Е.В. Электричество и магнетизм. Разработка семинарских занятий (Университетский курс общей физики). М., Физический факультет МГУ, 2015.
12. Physics for Scientists and Engineers. Sixth edition. Paul A. Tipler. Gene Mosca 2008.
13. Лабораторные работы общего физического практикума. Казань, КГУ, 2006 г.

MUNDARIJA

SO'Z BOSHI	3
1. NAZARIY MATERIALLAR. 1. VAKUUMDA O'ZGARMAS ELEKTR MAYDONI. KULON QONUNI. GAUSSNING ELEKTROSATIK TEOREMASI	5
2. ELEKTROSTATIK MAYDONDAGI BAJARILGAN ISH. POTENSIAL	9
3. ELEKTR MAYDONIDA O'TKAZGICHLAR. ELEKTR SIG'IMI	14
4. ELEKTROSTATIK MAYDONDAGI DIELEKTRIKLAR	18
5. ELEKTR MAYDON ENERGIYASI. PONDEROMOTOR KUCHLAR	23
6. O'ZGARMAS ELEKTR TOKI	28
7. STACIONAR TOKNING VAKUUMDAGI MAGNIT MAYDONI	35
8. ELEKTROMAGNIT INDUKCIYA, O'ZINDUKCIYA VA O'ZARO INDUKCIYA KOEFFICIENTLARI	41
9. MAGNITOSTATIKADA ENERGIYA VA KUCHLAR	45
10. O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRLARI	47
1 (60)- LABORATORIYA ISHI. ELEKTROSTATIK MAYDONNI O'RGANISH	63
2(70) - LABORATORIYA ISHI. KONDENSATORNING ZARYADLANISH VA RAZRYADLANISH JARAYONLARINI O'RGANISH	75
3 (81)- LABORATORIYA ISHI. O'ZGARMAS TOK KO'PRIGI YORDAMIDA QARSHILIKLARNI O'LCHASH	83
4 (57)- LABORATORIYA ISHI. O'ZGARMAS TOK KO'PRIGI USULIDA GALVANOMIYETRNING ICHKI QARSHILIGINI O'LCHASH	89
5 (56) - LABORATORIYA ISHI. MISNING ELEKTROKIMYOVIY EKIVALENTINI ANIQLASH	92
6 (82) - LABORATORIYA ISHI. TAQASIMON MAGNIT MAYDONIDA TOKLI O'TKAZGICHGA TA'SIR ETUVCHI KUCHNI O'LCHASH	98
7 (83) - LABORATORIYA ISHI. TOKLI TO'G'RI O'TKAZGICH VA AYLANMA HALQANING MAGNIT MAYDONINI O'LCHASH	104
8 (54)- LABORATORIYA ISHI. YER MAGNIT MAYDON KUCHLANGANLIGINING GORIZONTAL TASHKIL ETUVCHISINI ANIQLASH	109
9 (86) – LABORATORIYA ISHI YER MAGNIT MAYDONINI AYLANUVCHI INDUKSION G'ALTAK YORDAMIDA O'LCHASH	118
10 (59) - LABORATORIYA ISHI. KO'PRIK USULI YORDAMIDA KONDENSATORLARNING SIG'IMINI O'LCHASH	126
11 (65) - LABORATORIYA ISHI. O'ZGARUVCHAN TOK UCHUN OM QONUNINI TEKSHIRISH	132
12 - LABORATORIYA ISHI. ERKIN ELEKTROMAGNIT TEBRANISHLAR	140
13 (84) – LABORATORIYA ISHI. MAGNIT O'ZAKKA EGA BO'LMAGAN INDUKTIV G'ALTAKNING MAGNIT MAYDONINI O'LCHASH	145
14 (88) – LABORATORIYA ISHI. VAKUUMLI DIODNING VOLT - AMPER XARAKTERISTIKASINI O'RGANISH	152
ELEKTR O'LCHOV ASBOBLARI	162
FÖYDALANILGAN ADABIYOTLAR	173



**N.A.NURMATOV, G.T.RAXMONOV, R.ALIMOV,
O.Z.SULTONOV, I.X.XAMIDJONOV**

ELEKTR VA MAGNETIZM FANIDAN PRAKTIKUM

Uslubiy qo'llanma

Toshkent - "Innovatsiya-Ziyo" - 2021

Muharrir: Xolsaidov F. B.

*Nashriyot litsenziyasi AI №023, 27.10.2018.
Bosishga 14.12.2021. da ruxsat etildi. Bichimi 60x84.
"Times New Roman" garniturası.
Ofset bosma usulida bosildi.*

*Shartli bosma tabog'i 11. Nashr bosma tabog'i 11.
Adadi 100 nusxa.*

*"Innovatsiya-Ziyo" MCHJ matbaa bo'limida chop etildi.
Manzil: Toshkent shahri, Farhod ko'chasi, 6-a uy.*



+99893 552-11-21

Muallif va nashriyot rozilligisiz chop etish ta'qiqlanadi.

ISBN 978-9943-7258-7-4



9 789943 725874