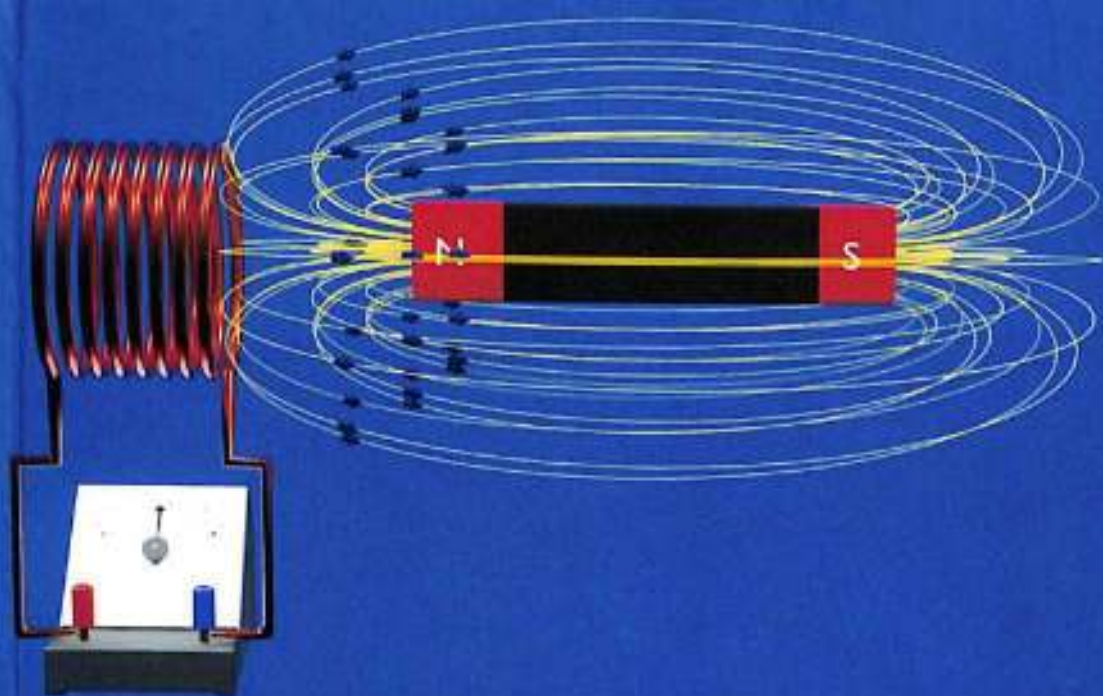


E.X. YUSUPOV,  
A.CH. DURSOATOV,  
SH.T. TURSUNOV.

# ELEKTR VA MAGNETIZM FANIDAN PRAKTIKUM



O'QUV QO'LLANMA

**ЎЗБЕКISTON RESPUBLIKASI OLIV TA'LIM,  
FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**DENOV TADBIRKORLIK VA PEDAGOGIKA INSTITUTI  
UMUMIY FIZIKA VA QURILISH MUHANDISLIGI KAFEDRASI**

**E.X. YUSUPOV, A.CH. DURSOATOV, SH. T. TURSUNOV.**

# **ELEKTR VA MAGNETIZM FANIDAN PRAKTIKUM**

**(O'quv qo'llanma)**

**TERMIZ – 2025**

UO'K: 537.8(075.8)  
KBK 22.334ya73  
Y 91

E.X. Yusupov, A.Ch. Dursoatov, Sh.T. Tursunov. Elektr va magnetizm fanidan praktikum. (O'quv qo'llanma). – T.: « " TERMIZ PUBLISHING CENTER " ma'sulyati cheklangan jamiyat», 2025, 264 bet.

Ushbu O'quv qo'llanma 60530900 – Fizika ta'lim yo'nalishi talabalari uchun umumiy fizika kursining Elektr va magnetizm bo'limiga doir 26 ta laboratoriya mashqlari berilgan bo'lib, bu mashqlar 2 ta asosiy va 6 ta alohida laboratoriya ishi sistemasiga jamlangan.

#### Taqrizchilar:

G'.Raimov – TerDU "Nazariy fizika" kafedrasida dotsenti,(PhD)  
Sh. Boymirov – "Umumiy fizika va qurilish muhandisligi" kafedrasida v.b. dotsenti, (PhD).

*Uslubiy ko'rsatma Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti o'quv-uslubiy Kengashining 2025-yil 28-aprelda bo'lib o'tgan 9-sonli yig'ilishida ko'rib chiqildi va chop etishga tavsiya etildi.*

*Mazkur O'quv qo'llanma O'zbekiston respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligining "21" avgust 2025-yildagi 316-son qaroriga asosan nashr etishga tavsiya etilgan. № 385378*

ISBN: 978-9910-624-14-8

© E.X. Yusupov, A.Ch. Dursoatov, Sh.T. Tursunov.  
© « " TERMIZ PUBLISHING CENTER " MCHJ », 2025.

## MUNDARIJA

MUQADDIMA .....	5
LABORATORIYA ISHLARINI BAJARISHDA TEXNIKA XAVFSIZLIK QOIDALARI .....	7
LABORATORIYA ISHLARINI BAJARISH BO'YICHA METODIK KO'RSATMALAR .....	8
O'LCHASH XATOLIKLARI VA ULARNI HISOBLASH .....	9
LABORATORIYA ISHLARI .....	13
1-LABORATORIYA ISHI. ELEKTROSTATIK MAYDONNI MODELASHTIRISH METODI ORQALI O'RGANISH .....	13
2-LABORATORIYA ISHI. KONDENSATOR SIG'IMINI ZARYAD RAZRYAD VA TO'LIQ QARSHILIK METODI BILAN ANIQLASH .....	19
3-LABORATORIYA ISHI. TURLI METALL O'TKAZGICHLARINING XUSUSIY QARSHILIGINI ANIQLASH .....	25
4-LABORATORIYA ISHI. O'TKAZGICHLAR VA YARIMO'TKAZGICHLARNING QARSHILIKNING HARORATGA BOG'LIQLIGINI O'RGANISH .....	30
5-LABORATORIYA ISHI. MAGNETRON USULIDA ELEKTRONNING XUSUSIY ZARYADINI ANIQLASH .....	37
6-LABORATORIYA ISHI. YARIMO'TKAZGICHDAGI HOLL EFJEKTINI O'RGANISH .....	46
7-LABORATORIYA ISHI. MAGNIT MAYDON KUCHLANISHIGA BOG'LIQ RAVISHDA FERRIMAGNETIKNING MAGNIT O'TKAZUVCHANLIGINI O'RGANISH .....	53
8-LABORATORIYA ISHI. FERRIMAGNETIKNING ASOSIY MAGNITLANISH EGRILIGINI TUZISH .....	59
9-LABORATORIYA ISHI. GISTERESIS HALQASI ORQALI FERRIMAGNETIKNING XOSSALARINI O'RGANISH .....	68
10-LABORATORIYA ISHI. FERRIMAGNETIKNING KYURI NUQTASI VA MAGNIT MOMENTINI ANIQLASH .....	79
11-LABORATORIYA ISHI. "TEBRANUVCHI KONTURDA SO'NUVCHI ELEKTR TEBRANISHLARNI O'RGANISH .....	89
12-LABORATORIYA ISHI. "KONTURDA MAJBURIY ELEKTR TEBRANISHLARNI O'RGANISH" .....	98
13-LABORATORIYA ISHI. "O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRLARIDA REZONANS HODISASINI TAHLIL QILISH" .....	105

14-LABORATORIYA ISHI "QARSHILIK VA SIG'IMGA EGA ZANJIRNING VAQT DOIMIYSINI ANIQLASH" .....	117
15-LABORATORIYA ISHI "SEGNETOELEKTRIK MATERIALLARNING XOSSALARINI O'RGANISH" .....	123
16-LABORATORIYA ISHI "YARIMO'TKAZGICHLARDA ELEKTRON- TESHİK O'TISHINI O'RGANISH" .....	132
17-LABORATORIYA ISHI "XOLL DATCHIGI YORDAMIDA SOLENOIDNING MAGNIT MAYDONINI TADQIQ QILISH" .....	153
18-LABORATORIYA ISHI "IKKI SOLENOID O'RTASIDAGI O'ZARO INDUKSIYANI O'RGANISH (TRANSFORMATOR)" .....	160
19-LABORATORIYA ISHI "YARIMO'TKAZGICHLARDA TAQIQLANGAN ZONA KENGLIGINI ANIQLASH" .....	165
20-LABORATORIYA ISHI "KONTURLAR O'RTASIDAGI BOG'LANISH Koeffitsientini ANIQLASH" .....	169
21-LABORATORIYA ISHI "UISTON KO'PRI" .....	181
22-LABORATORIYA ISHI "KRİXGOF QONUNLARINI TAJRIBA ASOSIDA TEKSHIRISH" .....	185
23-LABORATORIYA ISHI "FERROMAGNIT MATERIALLARDA GISTEREZIS HODISASINI O'RGANISH" .....	192
24-LABORATORIYA ISHI "KONDENSATOR SIG'IMINI ANIQLASH" .....	206
25- TEBRANUVCHI KONTURDA ERKIN TEBRANISHLARNI O'RGANISH" .....	224
26-LABORATORIYA ISHI "FARADAYNING ELEKTROLIZ QONUNLARI" .....	231
1-ILOVA O'LCHOV NATIJALARINI GRAFIK KO'RINISHDA IFODALASH VA TAHLIL QILISH .....	245
2-ILOVA MA'LUMOTLAR QO'LLANMASI .....	249
3-ILOVA MULTIMETR YORDAMIDA O'LCHOVLARNI TAYYORLASH VA O'TKAZISH .....	250
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR .....	256

## MUQADDIMA

Fizika fanida laboratoriya mashg'ulotlari fundamental qonuniyatlarning amaliy tajriba asosida o'rganilishini ta'minlovchi muhim tarkibiy qism hisoblanadi. Bu mashg'ulotlar talabalarni nazariy bilimlarni mustahkamlash, ularni real fizikaviy jarayonlar bilan bog'lash, kuzatish, tahlil qilish va natijalardan ilmiy xulosa chiqarish ko'nikmalarini shakllantirishga xizmat qiladi.

Mazkur o'quv qo'llanma fizikaning "Elektr va magnitizm hodisalari" bo'limiga oid laboratoriya ishlarini samarali tashkil etish, talabalarining eksperiment o'tkazish malakasini rivojlantirish, ilmiy-tadqiqot elementlarini amaliyotga tadbiiq qilishni o'rgatish maqsadida ishlab chiqilgan. Unda har bir laboratoriya ishining nazariy asoslari, maqsadi, tajriba uchun zarur bo'lgan asbob-uskunalar ro'yxati, o'lchov usullari, eksperimentni bosqichma-bosqich bajarish tartibi, matematik tahlil va hisob-kitob formulalari, eksperimental natijalarni qayta ishlash usullari hamda yakuniy xulosalarni shakllantirish mexanizmlari batafsil yoritilgan.

**Laboratoriya mashg'ulotlarining asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:**

- Fizikaviy hodisalarni tajriba orqali kuzatish, ularning qonuniyatlarini amaliy tekshirish va mantiqiy tahlil qilishni o'rgatish;
- O'lchov asboblardan to'g'ri va samarali foydalanish, o'lchov aniqligini tahlil qilish va xatoliklarni baholash ko'nikmalarini shakllantirish;
- Elektr, magnit va yarimo'tkazgich hodisalarini eksperimental yo'l bilan o'rganish orqali nazariy bilimlarni chuqurlashtirish;
- Eksperiment natijalarini matematik va grafik usullarda tahlil qilish, kuzatilgan hodisalar asosida fizik qonuniyatlarni umumlashtirish;
- Talabalarining mustaqil tahlil yuritish, ilmiy-tadqiqot faoliyatiga tayyorlik, analitik fikrlash va asosli xulosa chiqarish malakalarini rivojlantirish.

Mazkur o'quv uslubiy qo'llanma talabalarga nafaqat laboratoriya ishlarini to'g'ri va izchil bajarishga yordam beradi, balki ularning ilmiy dunyoqarashini kengaytiradi, fizik tafakkurni shakllantiradi hamda ilmiy-amaliy faoliyatga mustahkam tayanch yaratadi. Shuningdek, ushbu qo'llanma eksperimentlar orqali fizik model yaratish, fizikaviy hodisalarning sabab va oqibat munosabatlarini aniqlash va real hayotdagi

texnikaviy tizimlar bilan bog'lash imkonini ham beradi.

Laboratoriya tajribalari orqali o'zlashtirilgan bilimlar nafaqat amaliyotda, balki ilmiy-tadqiqot ishlarida, texnik loyihalashda, innovatsion ishlanmalar yaratishda va zamonaviy texnologiyalarni ishlab chiqishda ham asosiy tayanch bo'lib xizmat qiladi. Bu jihatlarni hisobga olgan holda, laboratoriya mashg'ulotlarining sifati, mazmuni va uslubiy ta'minoti zamonaviy pedagogik yondashuvlar asosida doimiy takomillashtirilib borilishi zarur.

Shu sababli, ushbu o'quv qo'llanma kafedra o'qituvchilari, texnik assistentlar, bakalavriat bosqichida tahsil olayotgan talabalar hamda fizika faniga qiziqqan keng doiradagi o'quvchilar uchun mo'ljallangan bo'lib, amaliyotga yo'naltirilgan, ilmiy asoslangan, strukturaviy aniq va foydalanish uchun qulay shaklda tayyorlangan.

## LABORATORIYA ISHLARINI BAJARISHDA TEXNIKA XAVFSIZLIGI QOIDALARI

Ishni boshlashdan oldin har bir talaba ushbu qoidalar bilan diqqat bilan tanishishi va texnika xavfsizligi bo'yicha yo'riqnomaga hisobot jurnalida imzo qo'yishi SHART.

### Talaba quyidagi qoidalarga rioya qilishga majbur:

1. Laboratoriya kompleksini 220 V tarmoqqa ulashdan oldin uning yoqish tugmasi "O'CHIRILGAN" holatda ekanligiga ishonch hosil qiling.
2. Zanjirni yig'ishda izolyatsiyasi butun simlardan foydalaning. Asboblarni ulashda yuklama me'yorlariga rioya qilinganligini tekshiring (masalan, kondensatorning ishchi kuchlanishi, induktivlik uchun maksimal tok va boshqalar).
3. Elektr zanjirini yig'ishni konturlar bo'yicha olib boring, avval asosiy kontur (quvvat manbaini o'z ichiga olgan) yig'iladi. Yordamchi kontur hosil qiluvchi multimetрни eng oxirida ulang.
4. Quvvat manbalarini faqat zanjir o'qituvchi tomonidan tekshirilgandan keyin yoqing.
5. Zanjirda har qanday o'zgartirishlarni amalga oshirishdan oldin quvvat manbaini o'chirib qo'ying, aks holda qisqa tutashuv yuzaga kelishi mumkin.
6. O'lchovlar tugagandan keyin quvvatni o'chiring.

### QUYIDAGILAR QAT'IY TAQIQLANADI:

1. Elektr sxemalarining tok o'tkazuvchi qismlariga metall buyumlar bilan tegish yoki nam qo'llar bilan ishlash.
2. O'qituvchining ruxsatisiz laboratoriya stendlarini 220 V tarmoqqa ulash va zanjirga kuchlanish berish.
3. Laboratoriya stendlarini boshqa stolga ko'chirish yoki ularni ochish.
4. Laboratoriyada chekish, ustki kiyimda yoki bosh kiyimda bo'lish.

Barcha savollar bo'yicha talabalarga o'qituvchi yoki laboratoriya assistenti bilan bog'lanish tavsiya etiladi. Uskunalarga zarar yetkazgan talabalar moddiy javobgarlikka tortiladilar.

## LABORATORIYA ISHLARINI BAJARISH BO'YICHA METODIK KO'RSATMALAR

1. Har bir talaba laboratoriya ishlarini maxsus jadval bo'yicha bajaradi.
2. Laboratoriya mashg'uloti boshlanishidan oldin ishga tayyorgarlik ko'rish zarur.
3. Ushbu metodik qo'llanmadan tashqari qo'shimcha adabiyotlar va ma'ruza konspektlaridan foydalanish tavsiya etiladi.
4. Tayyorlanish jarayonida nazorat savollariga javoblarni o'ylab ko'rish kerak.
5. Faqat tayyorlangan talabalar laboratoriya ishlarini bajarishga ruxsat etiladi.

## LABORATORIYA ISHI HISOBOTINI RASMIYLASHTIRISH QOIDALARI

**Laboratoriya ishi** - kichik, ammo to'liq yakunlangan ilmiy tadqiqot hisoblanadi. Laboratoriya hisobotlari o'tkazilgan tadqiqot natijalarini imkon qadar to'liq va ob'ektiv aks ettiruvchi hujjatlardir.

Ilmiy-texnik hujjatlarni rasmiylashtirish bo'yicha yagona talablar mavjud va laboratoriya ishi hisobotlari ham ularga muayyan darajada javob berishi lozim.

### Hisobotni rasmiylashtirish talablari

- Hisobot standart A4 formatdagi qog'ozda yozilishi kerak.
- Matnning ikkala tomonidan ham chekka maydonlar qoldirilishi lozim.
- Hisobot mazmuni aniq tuzilishga ega bo'lishi, har bir bo'lim sarlavha bilan ajratilishi kerak.

### Laboratoriya ishi hisobotining namunaviy tarkibi:

- Ishning maqsadi
  - Laboratoriya ishini bajarish tartibi
  - Asosiy elektr sxemalar va ulanish sxemalari
  - O'lchov asboblari va elektr jihozlari ro'yxati, ularning pasport ma'lumotlari bilan
  - Eksperimental tadqiqot natijalari va bajarilgan hisob-kitoblar jadvallari
  - Funksional bog'liqliklarning diagramma va grafiklari
  - Bajarilgan ish bo'yicha xulosa yoki yakuniy natijalar
- Ushbu qoidalarga rioya qilish laboratoriya ishlarining xavfsiz va samarali bajarilishini ta'minlaydi.

## O'LCHASH XATOLIKLARI VA ULARNI HISOBLASH

### 1. O'lchashlar va o'lchash xatoliklari

Fizika fani tajribaviy (eksperimental) fandir. Buning ma'nosi deyarli barcha fizik qonun va qonuniyatlar tajriba natijalarini umumlashtirish asosida o'rnatiladi. Shuning uchun praktikumning maqsadi kichik bir maket yoki qurilmada fizik hodisani tashkil qilish va o'rganishdan iborat.

Fizika fani miqdoriy tavsiflanadigan (xarakterlanadigan) fandir. Fizik tajribaning natijasi qandaydir sonlar to'plamidan iborat bo'lib, ular tekshirishlar asosida o'rnatilgan fizik qonuniyatlarni shu sonlarni bir-biriga bog'lanishini xarakterlaydigan matematik ifodalar orqali tavsiflanadi.

Fizik praktikumning asosiy mohiyati maket yoki qurilmalarda fizik hodisa va qonuniyatlarni o'rgangan holda, ularning xarakterlaydigan fizik kattaliklarni to'g'ri o'lchash va ularning qonuniyatlarini tavsiflaydigan formulalar asosida hisoblash hamda taqqoslashdir.

Jumladan talabalar fizika praktikumida:

- 1) asboblarni bilan ishlash, ularda ishlash malakasini (ko'nikmasini) hosil qilish;
- 2) tajribalarni uslubiy to'g'ri bajarish va fizik kattaliklarni o'lchash ko'nikmalarini hosil qilish;
- 3) o'lchash natijalarini va xatoliklarini hisoblash texnikasini egallash hamda EHM dan foydalangan holda o'lchash hamda o'lchash natijalarini qayta ishlash kabi malakalarini egallashlari;
- 4) jarayonni tashkil qilish, uni o'tkazish, o'lchash jarayonini va tajriba natijalarini avtomatlashtirilgan kompyuter texnikasidan foydalanilgan holda amalga oshirish malaka va ko'nikmasini egallashlari zarur.

Fizika praktikumida asosiy jarayonlardan biri – bu shu fizik hodisa yoki qonuni tavsiflaydigan fizik kattalikni o'lchashdir.

Biror fizik kattalikni o'lchash uni o'lchov birligi sifatida qabul qilingan kattalikdan necha marta katta-kichikligini bilishdan iborat. O'lchash aniqligi hech qachon «absolyut» aniq bo'lishi mumkin emas. U qandaydir biror xatolikka ega bo'ladi. Bunga quyidagi sabablarning mavjudligidir: **birinchidan**, o'lchov asbobining fizik kattalikni ma'lum bir

aniqlikda o'lchash bo'lsa, **ikkinchidan**, shu asbob bilan tajriba o'tkazib, fizik kattalikni o'lchayotgan shaxsning ham har xil e'tibor bilan ishlashi hamdir.

O'lchash sifati o'lchash aniqligi kattalikning haqiqiy qiymati  $a$  dan farq qiladi. Xatolik deb tajribada topilgan qiymat bilan haqiqiy qiymat orasidagi farq tushuniladi:

$$\Delta x_i = x_i - a \text{ yoki } |x_{o'lch} - x_{haq}| = \Delta x_i$$

Ko'pincha bu kattalik o'lchashning absolyut xatoligi deb yuritiladi. Ammo bu qiymatdan foydalanish har doim qulay emas. Masalan, stol uzunligi 100 sm va silindr diametri 10 sm bo'lsin, ikkalasi ham  $\Delta x = 0,1$  sm xatolik bilan o'lchangan bo'lsin. U holda ayta olamizki, stol silindrga qaraganda katta aniqlikda o'lchangan. Bu kriteriyani esa nisbiy xatolik deb, absolyut xatolikni shu kattalikning o'rtacha qiymatiga nisbatini foizlardan ifodalangan qiymatiga aytiladi, ya'ni

$$\varepsilon = \frac{\Delta \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

## 2. O'lchash xatoliklarining turlari

O'lchashlar paytida izlanayotgan fizik kattalikning haqiqiy qiymati ( $a$ ) topilmasdan, balki qandaydir xatoliklar bilan uning aniqlangan qiymati topiladi. Bu o'lchashlardagi xatoliklar fikran uch turga ajratilishi mumkin: 1) sistematik xatolik; 2) tasodifiy xatolik; 3) qo'pol xatolik.

**Sistematik xatolik** bir xil o'lchash usuli va bir xil asbobda barcha o'lchashlarda qiymati va ishorasi bir xil bo'ladigan xatolikdir. Shuning uchun hamma vaqt mavjud bo'ladigan xatoliklar ham deb yuritiladi. Xatolik asbob bo'limining noto'g'riligi yoki asbob nolini siljib qolganligi bilan vujudga kelishi mumkin. Shuningdek asbobning o'lchash aniqligi bilan bo'lgan – asbobning o'lchash xatoligi ham shu jumladandir.

**Tasodifiy xatolik** bir xil o'lchash usulida qiymati va ishorasi turlicha bo'lib, uning qanday bo'lishini oldindan aytib bo'lmaydi. Tasodifiy xatolik ko'pgina faktorlarga bog'liq bo'lib, asbob strelkasining ishqalanishi, asbobda luft bo'lishi, o'lchash qurilmasining tebranishi, o'lchayotgan jism kesimining yoki qalinlik birday emasligi natijasida yuzaga kelishi

mumkin. Bunday xatolikni oldindan hisobga olish qiyin bo'lgan va tasodifiy sabablarga bog'liq bo'lgan xatolik ham deyiladi. Shuning uchun tasodifiy xatolikni kamaytirish maqsadida o'lchashlar qayta-qayta bajariladi. Faraz qilaylik, tasodifiy xatoliklar mavjud bo'lsin. Tajribadan so'ng bir-biridan farqlanuvchi

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

qiymatli natijalarni olamiz va bu qiymatlarning o'rtacha arifmetik qiymati

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

ni hosil qilamiz. Xatolikni kamaytirib, haqiqiy qiymati « $a$ » ga yaqin qiymatni topish maqsadida matematikadagi ehtimollik nazariyasidan foydalaniladi.

**Qo'pol xatolik.** Qo'pol xatolikka tajriba olib boruvchining e'tiborsizligi va tajribasizligi natijasida yo'l qo'yiladi. Masalan: 585 o'rniga 5335 yoki 685 ni yozadi (ko'pincha 5 ni 6 ga 3 ni 8 ga almashtirib yozib yuboradi). Lekin tajriba sharoitini yoki bu natijani bilmaydigan boshqa tajribachi o'lchashi natijasida qo'pol xatolik oson aniqlanishi mumkin.

## 3. O'lchashlarning absolyut va nisbiy xatoliklari

Faraz qilaylik, sistematik xatoliklar yo'q va biror fizik kattalikni  $n$  marta o'lchash natijasida quyidagi qiymatlarni topgan bo'laylik:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , u vaqtda ushbu

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

ifodaga (kattalikka) o'lchashlarning o'rtacha arifmetik qiymati deyiladi va u topilgan qiymatlar ichida izlanayotgan haqiqiy qiymatga eng yaqin bo'ladi.

O'lchash vaqtida topilgan qiymatlar bir-biridan farqli bo'lib ularning o'rtacha qiymatdan farqi

$$\Delta x_i = |x_i - \bar{x}| \text{ yoki } \Delta x_i = |x_i - a|$$

ayrim o'lchashlarning absolyut xatoligi deyiladi.

Agar har bir o'lchash natijalari  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$  xatoliklar bilan bajarilgan bo'lsa, o'lchashlarning o'rtacha absolyut xatoligi (yoki o'rtacha xatolik) ayrim xatoliklarni absolyut qiymatlarning o'rtacha qiymatiga tengdir:

$$\bar{\Delta x} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|}{n} \quad (2)$$

Tabiiyki, boshqa turdagi xatoliklar bo'lmaganda fizikaviy kattaliklar haqiqiy qiymati quyidagi intervalda yotadi:

$$\bar{x} - \Delta \bar{x} \leq x \leq \bar{x} + \Delta \bar{x}$$

Shu sababli oxirgi natija quyidagi ko'rinishlarda yoziladi:

$$\bar{x} = \bar{x} \pm \Delta \bar{x} \quad (3)$$

Odatda xatoliklarni bu yo'sinda hisobga olish, xatoliklarni taxminiy qo'polroq baholash, o'lchash natijalariga uncha katta aniqlik talab qilinmaydigan hollarda va dastlabki o'lchash natijalarini baholashda qo'llaniladi.

O'lchash natijalarining sifati yoki qilinayotgan xatolikning katta yoki kichikligi haqida absolyut qiymatiga qarab biror-bir narsa deyish qiyin. Natijaning sifati haqida o'lchanayotgan kattalik qiymatini va yo'l qo'yilayotgan xatolik qiymatini o'zaro taqqoslashga imkon beruvchi, foizlarda ifodalangan nisbiy xatolik qiymati orqali biron-bir xulosa chiqarish mumkin:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (4)$$

## LABORATORIYA ISHLARI

### I-LABORATORIYA ISHI

#### "ELEKTROSTATIK MAYDONNI MODELLESHITIRISH USULI BILAN O'RGANISH"

**Maqsad:** Tadqiq qilinayotgan elektrostatik maydonning kuch chiziqlari va ekvipotensial sirtlarini qurish, hamda tanlangan nuqtadagi maydonning kuchlanish vektorini aniqlash.

#### Jihozlar:

- Modullar: "Maydonni yig'ish va modelleshtirish bloki", "Multimetrlar bloki".
- O'tkazuvchanligi past plastinalar to'plami.

#### Kirish

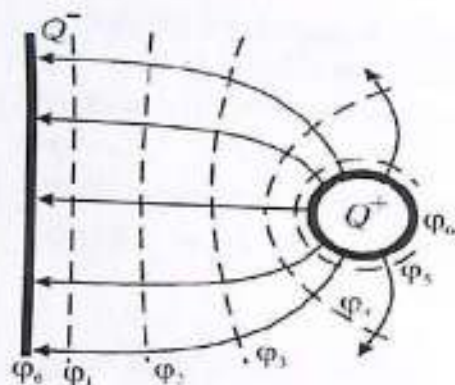
Elektr zaryadi o'z atrofida elektr maydoni hosil qiladi. Elektr maydoni - bu materiyaning maxsus shakli bo'lib, u orqali elektr zaryadlari o'zaro ta'sirlashadi. Elektr maydon mavjud bo'lgan hudud elektr kuchlari ta'sir qiladigan soha hisoblanadi.

Elektrostatik maydon har bir nuqtada kuchlanganlik vektori  $\vec{E}$  va potensial  $\phi$  bilan tavsiflanadi. Bu kattaliklar maydonning kuch va energiya tavsiflarini ifodalaydi. Elektr maydonini grafik jihatdan tasvirlash uchun kuch chiziqlari yoki ekvipotensial sirtlardan foydalanish mumkin:

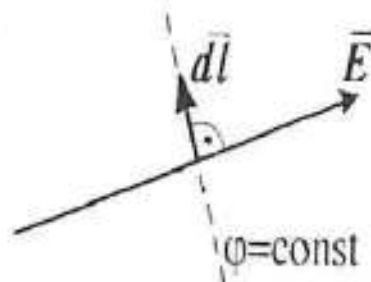
- Kuch chizig'i - bu chiziq har bir nuqtada elektr maydon kuchlanganlik vektoriga mos yo'nalishda bo'ladi.
- Kuch chiziqlari hech qachon kesishmaydi, chunki har bir nuqtada maydon kuchlanganligi faqat bitta yo'nalishga ega.
- Ekvipotensial sirt - bu potensiali bir xil bo'lgan nuqtalarning geometrik joylashuvi.

Quyidagi rasmda (1.1-rasm) zaryadlangan tekislik va nuqtaviy zaryad hosil qilgan elektrostatik maydon tasvirlangan:

- To'liq chiziqlar - maydon kuch chiziqlari
  - Nuqta bilan ifodalangan chiziqlar - ekvipotensial chiziqlar
- Ekvipotensial chiziqlar ekvipotensial sirtlarning kesishishi natijasida hosil bo'ladi. Bu sirtlar doimiy potensial farq  $\Delta\phi$  bilan ajratilgan bo'ladi.
- Kuch chiziqlari va ekvipotensial sirtlar hech qachon kesishmaydi, chunki har bir nuqtada faqat bitta potensial qiymat mavjud.



1.1 - rasm. Ekvipotensial sirtlar



1.2-rasm . Ekvipotensial va kuch chiziqlari tasviri

$$\vec{E} = -\overline{\text{grad}}\varphi \quad (1.2)$$

$$\overline{\text{grad}}\varphi = \frac{d\varphi}{dx}\vec{i} + \frac{d\varphi}{dy}\vec{j} + \frac{d\varphi}{dz}\vec{k} \quad (1.3)$$

Funksiya  $\varphi(x,y,z)$  ning gradienti - bu ushbu funksiyaning maksimal o'sish yo'nalishida yo'naltirilgan vektor bo'lib, uning moduli esa shu yo'nalishdagi funksiyaning hosilasiga teng. Ya'ni, gradient funksiya  $\varphi$  ning maksimal o'sish yo'nalishini ko'rsatadi va uning uzunligi ushbu o'sish tezligini ifodalaydi.

$$\overline{\text{grad}}\varphi = \frac{d\varphi}{dn}\vec{n} \quad (1.4)$$

Bu yerda  $n$  - ekvipotensial yuzaga nisbatan birlik normal vektor. Shunday qilib, (1.2) va (1.4) ifodalardan kelib chiqqan holda, elektrostatik maydon kuchlanishining vektor har bir nuqtada potensialning kuch chizig'i bo'ylab o'zgarish tezligiga teng bo'lib, potensialning kamayish yo'nalishiga yo'naltirilgan.

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dn}\vec{n} \quad (1.5)$$

#### Maydonni o'rganish usuli

Ko'pgina elektron qurilmalarni loyihalashda elektrodlar orasidagi fazoda elektrostatik maydonni o'rganish talab etiladi. IZlash maydoni - bu har bir nuqtada  $E$  va  $\varphi$  qiymatlarini aniqlashni anglatadi. Nazariy hisoblash  $E$  va  $\varphi$  faqat oddiy konfiguratsiyali elektrodlar hosil qilgan maydonlar uchun mumkin. Murakkab elektrostatik maydonlar esa eksperimental ravishda o'rganiladi. Maydonlarni o'rganish uchun ularning eksperimental

modellashtirish usullari qo'llaniladi. Ulardan biri elektrodga ega bo'lgan zaif o'tkazuvchi plastinka qo'llashga asoslangan. Elektrostatik maydon modellashtirilayotgan maydongi bilan bir xil potensialga ega elektrod bo'lgan elektr maydoni bilan almashtiriladi. Zaryadlangan zarrachalarning harakatiga qaramay, elektrodlardagi zaryadlarning zichligi doimiy bo'lib qoladi, chunki zaif o'tkazuvchi plastinka orqali ketayotgan zaryadlarning o'rniga doimiy ravishda yangi zaryadlar kelib tushadi. Shuning uchun elektrodlar xuddi o'sha zichlikdagi harakatsiz zaryadlar hosil qilgan maydon kabi elektr maydonini yaratadi va ekvipotensial sirtlar bo'lib xizmat qiladi. Plastinkadan foydalanish, tok o'lchovchi asboblardan foydalanish imkonini beradi, ular esa elektrostatik usullarga qaraganda sodda va ishonchliroq hisoblanadi. Maydonni o'rganishda ekvipotensial sirtlarning joylashuvi aniqlanadi. Buning uchun maydon nuqtalarining potensiallarini o'lchashda zond usuli qo'llaniladi.

**Elektr zondi** - bu uchli o'tkazuvchi bo'lib, u potensialni o'lchash kerak bo'lgan nuqtaga joylashtiriladi. O'tkazuvchi muhitda zondning potentsiali maydonning tadqiq qilinayotgan nuqtasi potentsialiga teng bo'ladi. Olingan ekvipotensial sirtlar tasviri maydon kuch chiziqlarini (sirtlarga perpendikulyar) chizish va maydon kuchlanishining  $\vec{E}$  qiymatini har qanday nuqtada quyidagi formula yordamida hisoblash imkonini beradi:

$$\vec{E} \approx \left| \frac{d\varphi}{dn} \right| = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\Delta n} \quad (1.6)$$

bu yerda  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$  - qo'shni ekvipotensial sirtlarning potentsiallari,  $\Delta n$  - ular orasidagi eng qisqa masofa (normal yo'nalishda). Ushbu ishda elektrostatik maydonni o'rganish uchun zaif o'tkazuvchi plastinka usuli qo'llanadi.

#### Tuzilmaning tavsifi

Elektrostatik maydonni o'rganish uchun elektr zanjiri 1.3-rasmda ko'rsatilgan sxema bo'yicha yig'iladi (ulanish sxemasi 1.4-rasmda berilgan). Agar zond (3) plastinkaning (5) istalgan nuqtasiga joylashtirilsa, ko'rsatkichli voltmetr (1) ushbu nuqtadagi maydon potentsialini o'lchaydi. Bu potentsial elektrod (2) ga nisbatan aniqlanadi, uning potentsiali nolga teng deb qabul qilinadi. Maydonning aynan bir xil potentsialga ega bo'lgan barcha nuqtalari ekvipotensial sirtini hosil qiladi.

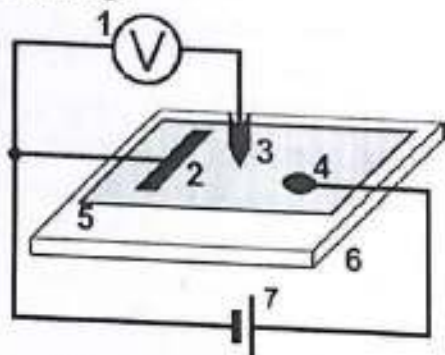
#### Ishni bajarish tartibi

★ **Vazifa:** Elektrostatik maydon kuch chiziqlari tasvirini qurish.

△ **Diqqat!** Ishni bajarish uchun laboratoriyaga A4 formatidagi (210×297 mm) millimetr qog'oz olib kelish shart.

### O'lchovlarni bajarish tartibi

1. Millimetrli qog'ozga elektrodning konturlarini asl o'lchamda chizing va qurilmadagi koordinata tizimiga mutanosib ravishda koordinata to'rini belgilang.
2. Elektr zanjirini 1.3-rasmda ko'rsatilgan sxema asosida yig'ing. Maydon modellashtirish blokining kirishlarini 24-rasmda berilgan ulanish sxemasiga muvofiq ulang.



1.3-rasm. Elektrostatik maydonni o'rganish uchun elektr sxemasi

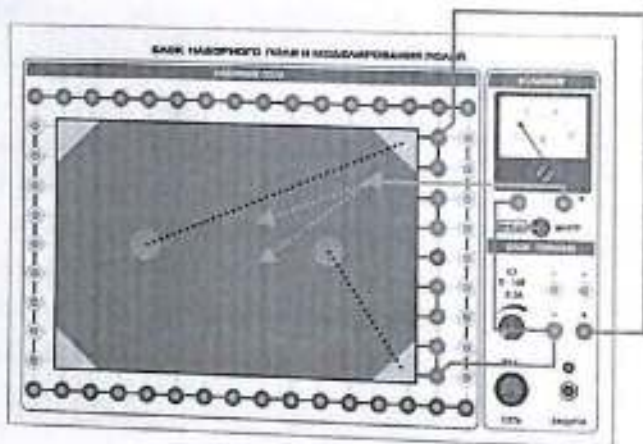
- 1 – Voltmetr, 2 va 4 – Zaif o'tkazuvchi plastinaning elektrodleri (maydonda elektr potentsiallarini yaratadi); 3 – Zond (o'lchash qismi, plastinaning koordinata tarmog'idagi maxsus teshiklarga joylashtiriladi); 5 – Zaif o'tkazuvchi plastina (modul tarkibidagi maxsus plastinalardan biri, elektr maydonini modellashtirish uchun xizmat qiladi); 6 – Modellashtirilgan elektr maydoni (eksperimental tadqiqot uchun hosil qilinadi); 7 – Maydon modellashtirish blokining quvvat manbai
3. Elektr zanjiriga quvvat bering. Buning uchun "СЕТЬ" tugmachasini "ВКЛ." holatiga o'tkazing. "ВНЕШ./ВНУТР." tugmachasini "ВНЕШ." holatiga o'tkazing, bu esa o'lchovlarning tashqi zanjirlarda amalga oshirilayotganini bildiradi. Quvvat manbai  $E_3$  ning chiqish kuchlanishini *multimetr* yordamida kuzatib borish mumkin.

4. Zond yordamida elektrodleri tekshiring va qaysi elektrod nol potentsialga ( $\varphi_0$ ) ega ekanligini aniqlang.
5. Quvvat manbai  $E_3$  (0...15V) regulyatori yordamida boshqa elektrodning potentsialini ( $\varphi$ ) o'rnatib, uni o'qituvchi belgilagan qiymatga moslang. Potentsialni voltmetr yoki multimetr yordamida nazorat qiling. Har ikkala elektrodning potentsial qiymatlarini maydon tasviriga kiriting. Shu tariqa **ikki** ekvipotentsial sirt aniqlanadi.
6. Zond potentsialining o'lchov qadamini ( $\Delta\varphi$ ) tanlang. Bu qadam shunday bo'lishi kerakki, natijada o'qituvchi belgilagan  $N$  (5-10) ta ekvipotentsial chiziqni qurish mumkin bo'lsin.

$$\Delta\varphi = \frac{\varphi}{(N+1)}$$

Nol potentsialga ega elektrod yaqinida  $\varphi_1 = \varphi_0 + \Delta\varphi$  potentsialga ega bo'lgan nuqtani aniqlang va uni maydon tasviriga kiriting.

- Zondni maydon bo'ylab harakatlantirib, kamida 8 ta nuqtaning koordinatalarini aniqlang, ularning potentsiali bir xil bo'lishi kerak.
  - Ushbu nuqtalarni millimetrli qog'ozga belgilang.
  - Birinchi va oxirgi ekvipotentsial chiziqlar uchun elektrodler tashqarisida 2-3 ta qo'shimcha nuqta aniqlang.
7. Barcha bir xil potentsialga ega nuqtalarni silliq chiziq bilan ulang. Chiziqning yonida uning potentsial qiymatini ko'rsating.
  8. 7 va 8-bandlarda ko'rsatilgan o'lchovlarni har bir ekvipotentsial sirt ( $\varphi_i$ ) uchun aniqlik bilan bajaring.
  9. Tajriba yakunlangach, elektr zanjirining quvvatini butunlay o'chirib qo'ying.
  10. Eksperimentni plastinalar to'plamidan boshqa turdagi zaif o'tkazuvchi plastina bilan takrorlang.



### O'lchov natijalarini qayta ishlash

1. Potensialning elektrodga bo'lgan masofaga bog'liqlik grafigini chizing.
2. Tadqiq etilgan maydon tasvirida kuch chiziqlarini ko'rsating.
3. Maydonning ikki yoki uchta nuqtasi uchun elektrostatik maydon kuchlanishini yuqoridagi formula bo'yicha hisoblang:
4. Ish bo'yicha xulosa tayyorlang:
  - o Qayerda maydon kuchlanishi eng katta ekanligini aniqlang.
  - o Bu sirt maydon tasvirida va ( $r$ ) grafigida qanday aks etishini tahlil qiling.

### Nazorat savollari

1. Ekvipotensial sirt ta'rifini bering. Uning qanday xususiyatlari bor?
2. Maydonning kuch chiziqlari qanday xususiyatlarga ega?
3. Elektrostatik maydonda zaryadga ta'sir etuvchi kuch nimalarga bog'liq?
4. Bir jinsli elektrostatik maydon uchun qanday xususiyatlar xos?
5. Kuchlanish ( $\vec{E}$ ) va potensial ( $\varphi$ ) o'rtasidagi bog'liqlik ifodasini yozing.
6. Elektrostatik maydonda harakatlanayotgan zarraning tezlanishi va vektori qanday yo'nalgan?
7. Tadqiq etilayotgan maydon tasvirida ekvipotensial va kuch chiziqlari qanday o'tkaziladi?
8. Potensial gradient vektorining xususiyatlaridan foydalanib, kuch chiziqlari yo'nalishini qanday aniqlash mumkin?
9. Tadqiq etilayotgan elektrostatik maydon nuqtalarida kuchlanish qanday aniqlanadi?
10. Elektr zanjirida multimetarning vazifasini tushuntiring.

## 2-LABORATORIYA ISHI

### «KONDENSATOR SIG'IMINI ZARYAD RAZYAD USULI VA TO'LIQ QARSHILIK BILAN ANIQLASH»

**Maqsad:** Kondensatorning elektr sig'imini ( $C$ ) o'lchash usullari bilan tanishish.

#### Kerakli jihozlar:

- **Modullar:** «Generatorlar bloki», «Maydonni tanlash va modellashtirish bloki», «Multimetrlar bloki»
- **Mini-bloklar:** «Tok integratori», «Kalit», «470 kOmli rezistor», «1 mF kondensator»

#### Kirish

Kondensator sig'imini o'lchash turli usullar yordamida amalga oshirilishi mumkin. Ushbu ishda sig'imni o'lchashning asosi sifatida kondensator zaryadi  $Q$ , sig'imi  $C$  va plastinalar orasidagi potensial farqi  $U$  o'rtasidagi bog'liqlik tanlab olingan:

$$Q = CU \quad (2.1)$$

#### Kondensator sig'imini o'lchash usuli

Kondensator sig'imini aniqlash uchun quyidagi bosqichlar bajariladi:

1. Tok integratorini sozlash – to'g'ri ishlayotganini tekshirish.
2. Noma'lum sig'imni ikkita usul bilan o'lchash – natijani solishtirish uchun.
3. Natijaning to'g'riligini tekshirish – ma'lum sig'imga ega bo'lgan ikkita kondensatorni o'lchab, umumiy sig'imni hisoblash.

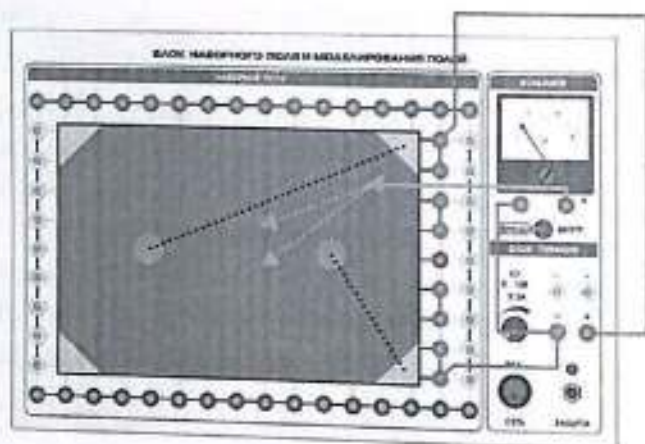
Ushbu tajribada kondensatorlarda to'plangan zaryadni o'lchash uchun tok integratori ishlatiladi. Tok integratori orqali o'tgan zaryad miqdori voltmeter ko'rsatkichiga  $U_{int}$  mutanosib bo'ladi:

$$QU = \gamma_{int} \quad (2.2)$$

Bu yerda  $\gamma$  - tok integratorining kalibrlash doimiysi. O'lchanayotgan kondensator sig'imi uchun hisoblash formulasini chiqarish uchun (2.1) va (2.2) tengliklardan foydalanamiz.

$$C = \frac{\gamma U_{int}}{U} \quad (2.3)$$

Kalibrlash doimiysini aniqlash (2.3) formula yordamida amalga oshiriladi. Buning uchun oldindan ma'lum sig'imga ega  $C_e$  etalon kondensator ustida o'lchovlar bajariladi. Natijada quyidagi ifoda hosil



### O'lov natijalarini qayta ishlash

1. Potensialning elektroddga bo'lgan masofaga bog'liqlik grafigini chizing.
2. Tadqiq etilgan maydon tasvirida kuch chiziqlarini ko'rsating.
3. Maydonning ikki yoki uchta nuqtasi uchun elektrostatik maydon kuchlanishini yuqoridagi formula bo'yicha hisoblang:
4. Ish bo'yicha xulosa tayyorlang:
  - o Qayerda maydon kuchlanishi eng katta ekanligini aniqlang.
  - o Bu sirt maydon tasvirida va ( $r$ ) grafigida qanday aks etishini tahlil qiling.

### Nazorat savollari

1. Ekvipotensial sirt ta'rifini bering. Uning qanday xususiyatlari bor?
2. Maydonning kuch chiziqlari qanday xususiyatlarga ega?
3. Elektrostatik maydonda zaryadga ta'sir etuvchi kuch nimalarga bog'liq?
4. Bir jinsli elektrostatik maydon uchun qanday xususiyatlar xos?
5. Kuchlanish ( $\vec{E}$ ) va potensial ( $\varphi$ ) o'rtasidagi bog'liqlik ifodasini yozing.
6. Elektrostatik maydonda harakatlanayotgan zarraning tezlanishi va vektori qanday yo'nalgan?
7. Tadqiq etilayotgan maydon tasvirida ekvipotensial va kuch chiziqlari qanday o'tkaziladi?
8. Potensial gradient vektorining xususiyatlaridan foydalanib, kuch chiziqlari yo'nalishini qanday aniqlash mumkin?
9. Tadqiq etilayotgan elektrostatik maydon nuqtalarida kuchlanish qanday aniqlanadi?
10. Elektr zanjirida multimetarning vazifasini tushuntiring.

## 2-LABORATORIYA ISHI

### «KONDENSATOR SIG'IMINI ZARYAD RAZYAD USULI VA TO'LIQ QARSHILIK BILAN ANIQLASH»

**Maqsad:** Kondensatorning elektr sig'imini ( $C$ ) o'lchash usullari bilan tanishish.

#### Kerakli jihozlar:

- **Modullar:** «Generatorlar bloki», «Maydonni tanlash va modellashtirish bloki», «Multimetrlar bloki»
- **Mini-bloklar:** «Tok integratori», «Kalit», «470 kOmli rezistor», «1 mF kondensator»

#### Kirish

Kondensator sig'imini o'lchash turli usullar yordamida amalga oshirilishi mumkin. Ushbu ishda sig'imni o'lchashning asosi sifatida kondensator zaryadi  $Q$ , sig'imi  $C$  va plastinalar orasidagi potensial farqi  $U$  o'rtasidagi bog'liqlik tanlab olingan:

$$Q = CU \quad (2.1)$$

#### Kondensator sig'imini o'lchash usuli

Kondensator sig'imini aniqlash uchun quyidagi bosqichlar bajariladi:

1. Tok integratorini sozlash – to'g'ri ishlayotganini tekshirish.
2. Noma'lum sig'imni ikkita usul bilan o'lchash – natijani solishtirish uchun.
3. Natijaning to'g'riligini tekshirish – ma'lum sig'imga ega bo'lgan ikkita kondensatorni o'lchab, umumiy sig'imni hisoblash.

Ushbu tajribada kondensator da to'plangan zaryadni o'lchash uchun tok integratori ishlatiladi. Tok integratori orqali o'tgan zaryad miqdori voltmeter ko'rsatkichiga  $U_{int}$  mutanosib bo'ladi:

$$QU = \gamma_{int} \quad (2.2)$$

Bu yerda  $\gamma$  - tok integratorining kalibrlash doimiysi. O'lchanayotgan kondensator sig'imi uchun hisoblash formulasini chiqarish uchun (2.1) va (2.2) tengliklardan foydalanamiz.

$$C = \frac{\gamma U_{int}}{U} \quad (2.3)$$

Kalibrlash doimiysini aniqlash (2.3) formula yordamida amalga oshiriladi. Buning uchun oldindan ma'lum sig'imga ega  $C_e$  etalon kondensator ustida o'lchovlar bajariladi. Natijada quyidagi ifoda hosil

bo'ladi:

$$\gamma = \frac{C_x U_e}{U_{int}} \quad (2.4)$$

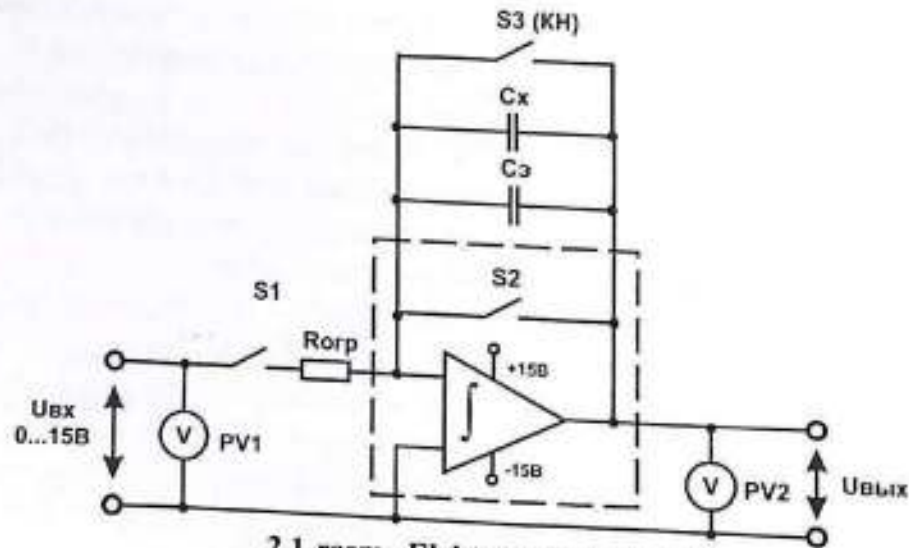
Oldindan noma'lum sig'im  $C_x$  ni o'lchab, keyin ikkita kondensatorning umumiy sig'imi  $C_{taj}$  ni tajriba natijasida topamiz. Bu qiymatni nazariy formulalar asosida hisoblangan sig'im bilan taqqoslab, kalibrlashning aniqligini tekshiramiz.

Parallell ulanish uchun:  $(C_{par} = \sum_{i=1}^N C_i)$

Ketma-ket ulanish uchun:  $(\frac{1}{C_{ket}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i})$

#### O'rnatma tavsifi

Elektr zanjirining sxemasi 2.1-rasmda, ulanish sxemasi esa 2.2-rasmda keltirilgan.

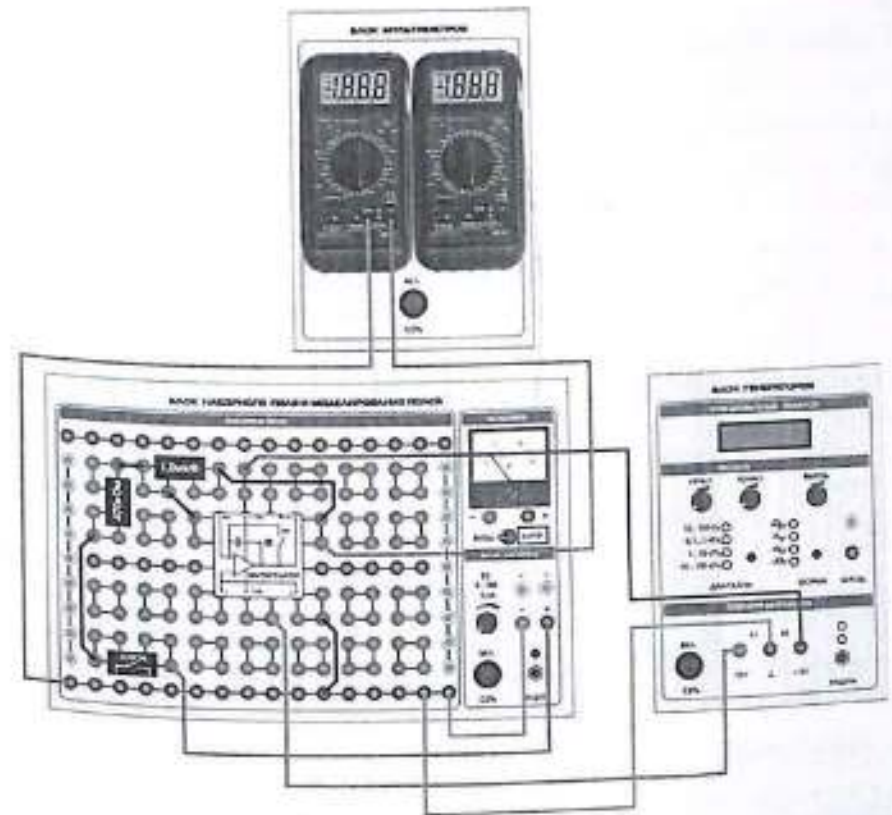


2.1-rasm. Elektr zanjiri sxemasi:

- " $U_{bx} 0...15B$ " – Doimiy kuchlanish manbai (0...15V)
- S1 – "Kalit" mini-bloki
- Rorp – "470 kOm rezistor" mini-bloki
- $C_x$  – Tadqiq qilinayotgan kondensator ("1  $\mu F$  kondensator" mini-bloki)
- S3 (KH) – "Qayta tiklash" tugmasi (tok integratori mini-blokining tarkibiy qismi)
- $\int$  – "Tok integratori" mini-bloki
- PV1 – Quvvat manbaining ichki voltmetri

- PV2 – Multimetr (V 20V rejimi, COM va  $V\Omega$  kirishlari)

**Kondensatorni zaryadlash va o'lchash tartibi:** S1 kaliti yopilganda, S2 tugmasi bosilmagan holda kondensator zaryadlanish boshlaydi. Zaryadlanish kuchlanishi 2 V dan oshmasligi kerak va PV1 voltmetri orqali nazorat qilinadi. Zarur kuchlanishgacha zaryadlangach, o'lchash jarayoni boshlanadi: avval S2 tugmasi bosiladi, so'ngra SA1 kaliti ochiladi. Natijada kondensatoridagi zaryad tok integratori orqali oqib o'tadi va PV2 voltmetri orqali integrallangan kuchlanish  $U_{int}$  qayd etiladi. Vaqt o'tishi bilan oqishlar sababli PV2 ko'rsatkichida kuchlanish biroz o'zgarishi mumkin.



2.2-rasm. Ulanish sxemasi  
Ishni bajarish tartibi

#### O'lchovlarni bajarish

1. Elektr zanjirini 2.2-rasmda ko'rsatilgan sxema asosida yig'ing, bu yerda kondensatorlar  $C_x$  va  $C_{st}$  parallel ulangan. Etalon sig'im  $C_{st} = 0,68 \mu F$

bo'lib, uni 2.1-jadvalga yozib qo'ying. Tok integratori moduli bilan bog'langan qizil rangli o'tkazgichga e'tibor bering.

2. Modullarga quvvat bering – «Tarmoq» tugmachali o'chirgichlarini «YOQILDI» holatiga o'tkazing.

3. Kondensatorlarni zaryadlang. Buning uchun:

a) S2 tugmasini bosib, «Tiklash»ni bajaring;

b) S1 kalitni yopiq holatga keltiring;

c) «E3 0...15V» tutqichini burab, kondensator zaryadlanish kuchlanishini

2V dan oshirmasdan sozlang (PV1 voltmetr ko'rsatkichi bo'yicha).

4. Zaryadlangan kondensatorni integrator orqali razryad qiling. Buning uchun:

a) S1 kalitini oching (ya'ni kontakti uzing);

b) S2 tugmasini bosib («Tiklash»); kondensator razryad bo'lgach,

PV2 multimetri ko'rsatgan qiymatni darhol eslab qoling yoki qayd eting.

5. 3 va 4-bandlarni bir necha marta takrorlang, shunday zaryad kuchlanishini (PV1 multimetri ko'rsatkichiga qarab) tanlangki, bunda

razryad kuchlanishi (PV2 multimetri bo'yicha)  $U_{int\ paral}$  8–10 V

oralig'ida bo'lsin. Bu qiymat kondensator zaryadiga proporsional bo'lib, u

razryad kuchlanishini ifodalaydi.

Tanlangan kuchlanish qiymatini 2.1-jadvalga yozib qo'ying va keyingi

o'lchovlar davomida bu qiymatni o'zgartirmang.

2.1 –jadval

№	Etalon kondensator $C_e = \_ \text{mkF}$	Noma'lum kondensator	Kondensatorlarni ulash (parallel)
1.			
2.			
3.			
4.			
O'rtacha			

6. Zaryadlash kuchlanishini o'zgartirmagan holda  $U_{paral}$  va  $U_{paral}^{int}$  kattaligini

5 marta o'lchang va qiymatlarni 2.1-jadvalga yozib boring.

7. Etalon kondensator  $C_e$  uchun  $U_{int\ e}$  kattaligini va noma'lum sig'imga ega

kondensator  $C_x$  uchun  $U_x^{int}$  kattaligini alohida o'lchang. Bu yerda  $U_e$  va  $U_x$  mos ravishda  $U_{paral}$  va  $U_{osie}$  ga teng bo'lib qoladi. O'lchov natijalarini 2.1-jadvalga kiriting.

8. Gradirovka to'g'riligini tekshirish uchun multimetr yordamida noma'lum kondensator sig'imini o'lchang va natijani  $C_x$  sifatida 2.1-jadvalga yozing. Multimetrlning o'lchash aniqligi  $\delta_c = 5\%$  ni tashkil qiladi.

9. «Tarmoq» kalitlari yordamida modullarni elektr ta'minotidan ajrating.

### O'lchov natijalarini qayta ishlash

1. 2.1-jadvaldagi ma'lumotlardan foydalanib, gradirovka doimiysi  $\gamma$  ni hisoblang.

$$\gamma = \frac{C_e U_e}{U_{int(o'rt)}^e}$$

2. 2.3-formula asosida noma'lum kondensatorning sig'imini hisoblang.

$$C_{taj}^x = \gamma \frac{U_{int(o'rt)}^e}{U_x}$$

Parallel ulangan kondensatorlarning sig'imi quyidagicha ifodalanadi:

$$C_{taj}^{par} = \gamma \frac{U_{int(o'rt)}^{par}}{U_{par}}$$

2.2-jadval:

Noma'lum sig'im $C_x$ , MKΦ		Parallel ulanganda sig'im $C$ , MKΦ	
tajriba: $C_x$	o'lchangan: $C_x$	tajriba: $C_{napar}$	hisoblangan: $C_{napar}$

$C_x$  kattaligining nisbiy xatoligini baholang:

$$\delta_{C_x} = \sqrt{\delta_{C_e}^2 + \delta_{U_{int(o'rt)}^e}^2 + \delta_{U_x^{int(o'rt)}}^2}$$

bu yerda  $\delta_c$  etalon kondensator sig'imining nisbiy xatoligi (mini-blokda ko'rsatilgan), kuchlanishni multimetr yordamida o'lchashdagi aniqlik, ya'ni kuchlanishning nisbiy o'lchov xatoligi.

4. Etalon kondensator sig'imi  $C_e$  hamda tajriba natijasida aniqlangan noma'lum kondensator sig'imi  $C_x^{exp}$  qiymatlaridan foydalanib, ularning umumiy sig'imini hisoblang.

$$C_{his}^{par} = C_e + C_{taj}^x$$

Hisoblash natijalarini 2.2-jadvalga yozing.

5. Eksperimental qiymatlarning hisoblangan qiymatlardan foiz ko'rinishidagi nisbiy og'ishini aniqlang:

$$\delta_{C_{par}} = \frac{|C_{taj}^{par} - C_{his}^{par}|}{C_{his}^{par}} * 100\%$$

Hisoblash natijalarini 2.2-jadvalga yozing.

6. Ushbu og'ishlarni noma'lum kondensator sig'imini o'lchashdagi nisbiy xatolik  $\delta_{C_x}$  bilan solishtirib, o'lchov aniqligi haqida xulosa chiqaring.

7. Noma'lum sig'imning o'lchangan qiymati  $C_{izm}^x$  va tajribaviy yo'l bilan aniqlangan qiymati  $C_{exp}^x$  ni taqqoslang.

#### Nazorat savollari

1. O'tkazgich va kondensator sig'imi kattaliklariga ta'rif bering.
2. O'tkazgich va kondensator sig'imi qaysi fizik kattaliklarga bog'liq?
3. Dielektrikning o'tkazuvchanligi  $\epsilon$ , yoki plastinkalar orasidagi masofa  $d$  o'zgartirilganda kondensator sig'imi qanday o'zgaradi:
  - a) agar kondensator tok manbaidan uzilgan bo'lsa;
  - b) uzilmagan bo'lsa?
4. Kondensatorlar ketma-ket ulanganda sig'imni hisoblash formulalarini yozing. Ketma-ket ulanma holatida sig'im bir dona kondensatornikiga nisbatan qanday o'zgaradi?
5. Parallel ulanma holida kondensatorlar batareyasining zaryadi va kuchlanishini bitta kondensator parametrlari bilan taqqoslang.
6. Integrator yordamida qanday fizik kattalik o'lchanadi? Asbob ko'rsatkichlari  $U$  qaysi omillarga bog'liq?
7. Gradirovka doimiysi  $\gamma$  nimani ifodalaydi?
8. Asbobni gradirovka qilish uchun qaysi fizik kattaliklarni o'lchash zarur?
9. Gradirovka doimiysi  $\gamma$ , noma'lum kondensator sig'imini  $C_x$  hamda kondensatorlar ulanmasining sig'imlari  $C_{taj}$  va  $C_{his}$  ni aniqlashda qanday formulalardan foydalaniladi?

### 3.1 LABORATORIYA ISHI: TURLI METALLAR O'TKAZGICHLARINING MAXSUS QARSHILIGINI ANIQLASH

#### Maqsad:

O'tkazgichlarning qarshiligini o'lchash usullari va asboblarini o'zlashtirish, o'tkazgich materialining solishtirma (maxsus) elektr qarshiligini aniqlash.

#### Kerakli jihozlar:

- Modullar: "Yig'ma maydonlar va maydonlarni modellashtirish bloki", "Multimetrlar bloki", "Quvvat manbai moduli";
- Mini-bloklar: "O'tkazgichning qarshiligi".

#### Kirish

Elektr qarshilik o'tkazgich orqali tok o'tishiga nisbatan ko'rsatiladigan qarshilik darajasini ifodalaydi. Doimiy tok uchun Ohm qonuniga muvofiq:

$$R = \frac{U}{I} \quad (3.1)$$

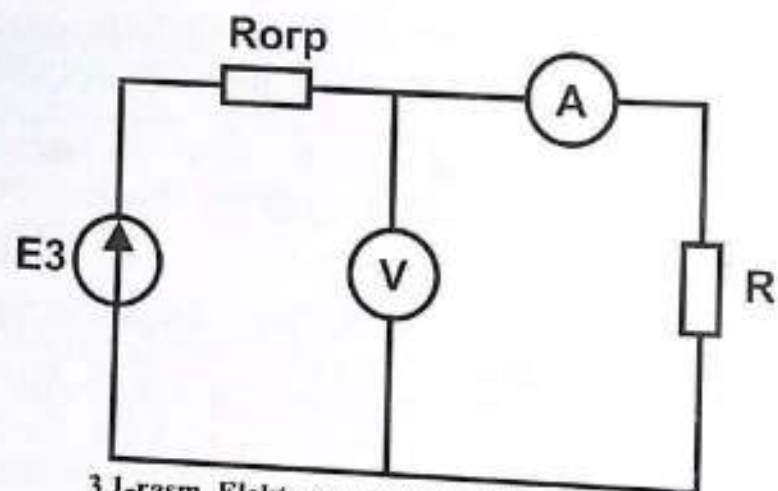
Bu aktiv qarshilik o'tkazgichning shakli va o'lchamlariga bog'liq bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$R = \int_0^l \rho \frac{dl}{S} \quad (3.2)$$

Bir jinsli o'tkazgich uchun, kesim yuzasi  $S$  va uzunligi  $l$  bo'lsa:

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

Solishtirma elektr qarshilik - bu o'tkazgich materialining fizik xossasi bo'lib, u materialga xos bo'lgan o'zgaruvchanlikni tavsiflaydi. 3.2-formulaga ko'ra,  $\rho$  ni aniqlash doimiy tok ostida o'tkazgichning qarshiligi  $R$  va uning geometrik o'lchamlari uzunligi  $l$  hamda kesim yuzasi  $S$  ni aniqlashga olib keladi.



3.1-rasm. Elektr sxemasi va o'lchash usullari

$E_3$  - rostlanadigan doimiy kuchlanish manbai, "0 ... 15 V"; V - voltmetr rejimiga o'rnatilgan multimetr (20 V, kirish: COM va V $\Omega$ ); A - ampermetr rejimida ishlatilayotgan multimetr (200 mA, kirish: COM va mA); R - "O'tkazgichning qarshiligi"  $R_0$  - cheklovchi qarshilik,  $R_0 = 100 \Omega$ .

#### O'lchash usullari

Mazkur laboratoriya ishida o'tkazgichning elektr qarshiligini aniqlash uchun ikki xil o'lchash usuli qo'llaniladi:

1. Texnik usul - elektr toki I va kuchlanish U ning o'lchangan qiymatlari asosida qarshilikni hisoblash;
2. Ommetr yordamida o'lchash usuli - multimetrni to'g'ridan-to'g'ri qarshilik o'lchoviga (ohmmetr) sozlab o'lchash.

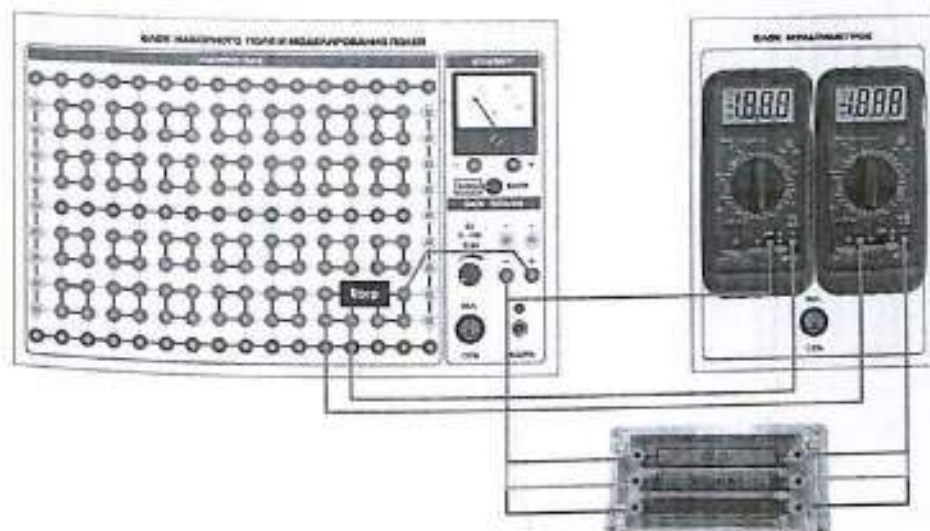
Texnik usulni 3.1-rasmida keltirilgan elektr sxemasi asosida amalga oshirish mumkin. Bu holatda, qarshilik R orqali o'tuvchi tok I va shu qarshilikka tushayotgan kuchlanish  $U_R$  o'lchanadi.

#### Ommetrdan foydalanish va o'lchash usullari

Ommetr yordamida o'lchash eng sodda usullardan biri hisoblanadi: faqatgina o'lchanayotgan qarshilikni ommetr kirish terminallariga ulash kifoya. Odatda ommetrlarda yaqinlashtirilgan texnik usul qo'llaniladi: asbob shkalasi doimiy batareya kuchlanishi U ostida 3.3-formula asosida gradirovka qilinadi. Ushbu usul yuqori aniqlik talab qilinmaydigan hollarda qo'llaniladi.

#### Uskuna tavsifi

Texnik usul va ommetr yordamida o'lchash usuli uchun elektr sxema 3.1-rasmida, ulanish sxemasi esa 3.2-rasmida ko'rsatilgan.



3.2-rasm. Ulanish sxemasi.

Ushbu ishda uch turdagi o'tkazuvchi materiallar mis, temir va konstan tanlanadi. Ularning asosiy parametrlari 3.1-jadvalda keltirilgan. Solishtirma elektr qarshilik qiymatlari ma'lumot uchun berilgan bo'lib, ularni eksperimental natijalar bilan keyinchalik taqqoslashga xizmat qiladi.

### Namuna turlarining asosiy parametrlari

3.1-jadval

Namuna turi	Mis	Temir	Konstantan
l, sm	320	100	50
S, mm <sup>2</sup>	0,01	0,012	0,014
d, mm	0,112	0,124	0,133
R, Om	5,5	10,5	17,0
$\rho$ , m $\Omega$ ·m	0,017	0,13	0,5

#### Ishni bajarish tartibi: O'lchovlar o'tkazish (Texnik usul)

- Elektr zanjimi 3.2-rasmda keltirilgan ulanish sxemasiga muvofiq holda 2.3.1-rasm asosida yig'ing. E'tibor bering: stend modullari 220 V kuchlanishli o'zgaruvchan tok manbaiga quvvat moduli orqali ulanadi - bu stend uskunalari ortiqcha yuklama va qisqa tutashuvdan himoya qilish uchun zarur. Tadqiqot uchun biror o'tkazgich namunani tanlang.
- Stendning quvvat modulini yoqing. Buning uchun avtomatik kalitlarni "I" (yoqilgan) holatga o'tkazing. Multimetrlar blokini va yig'ma maydonlar blokini ishga tushiring - bu uchun «TARMOK» tugmachalarini «YOQILDI» holatiga o'tkazing.
- "Yig'ma maydonlar va modellashtirish bloki"dagi "E<sub>3</sub> 0...15 V" buragich yordamida tok kuchini taxminan  $I \approx 10-30$  mA gacha sozlang. Tok va kuchlanish qiymatlarini 3.2-jadvalga yozib oling.
- Tokni har safar taxminan 10 mA ga oshirib, 50 mA gacha bo'lgan analog o'lchovlarni bajaring.
- Barcha modullarni elektr ta'minotidan ajrating.
- Tadqiqot namunasi sifatida temirni ulang. Eksperimentni takrorlang. Natijalarni 3.2-jadvalga kiriting.
- Tadqiqot namunasi sifatida konstan tanlang. Eksperimentni yana takrorlab, natijalarni 3.2-jadvalga yozing.

#### O'lchov natijalari va hisoblangan qiymatlar

I, mA	U, V	l, mm	S, mm <sup>2</sup>	R <sub>tex</sub> , Om	R <sub>om</sub> , Om	$\rho$ , Om·mm <sup>2</sup> /m
mis						

temir						
konstantan						

#### b) Ommetr yordamida o'lchash va natijalarni qayta ishlash

##### Ommetr yordamida o'lchash

- Ommetрни "O'tkazgichning qarshiligi" mini-blokiga ulang. Ommetr sifatida multimetrdan foydalaniladi: rejim -  $\Omega$  200 Om, kirish ulamalari - COM va V $\Omega$ .
- Multimetrdan kerakli rejim va o'lchash diapazonini tanlang.
- Asbob ko'rsatkichlarini 3.2-jadvalga yozib oling.
- Modullarni elektr ta'minotidan uzing.

##### O'lchov natijalarini qayta ishlash

- Texnik usul asosida o'tkazgichning qarshiligini hisoblang (3.3-formula):

$$R_{\text{tex}} = U / I$$

- O'tkazgich materialining solishtirma elektr qarshiligini hisoblang:

$$\rho = R (S / l)$$

Hisoblangan natijalarni 3.2-jadvalga yozing.

Olingan  $\rho$  qiymatlarini 3.1-jadvaldagi ma'lumotlar bilan solishtiring.

- Xulosa qismida turli usullar yordamida olingan natijalarni taqqoslang.

##### Nazorat savollari

- O'tkazgichning elektr qarshiligi qaysi fizik kattaliklarga bog'liq?
- O'tkazgichning o'lchamlari orqali qarshilikni aniqlash formulasini yozing.
- O'tkazgich materialining solishtirma qarshiligi qanday omillarga bog'liq?
- O'tkazgich qarshiligini o'lchash usullarini sanab bering.
- Texnik usulda qarshilikni aniqlash formulalarini yozing. Bu usulda qanday fizik kattaliklar o'lchanadi?
- Raqamli multimetr (ommetr) ishlash prinsipini tushuntirib bering.
- Qarshilikni o'lchashda multimetring ish rejimini ko'rsating.

#### 4-LABORATORIYA ISHI.

### O'TKAZGICHLAR VA YARIMO'TKAZGICHLARNING QARSHILIGI HARORATGA BOG'LIQLIGINI O'RGANISH

#### Maqsad:

O'tkazgich va yarimo'tkazgich materiallarining haroratga bog'liq qarshiligi bo'yicha temperatura koeffitsientini aniqlash.

#### Kerakli jihozlar:

- Modullar: "Quvvat manbai moduli", "Multimetrlar bloki";
- Mini-bloklar: "Isitgich 1" (ichki termojuftli) va mis o'tkazgich namunasi.

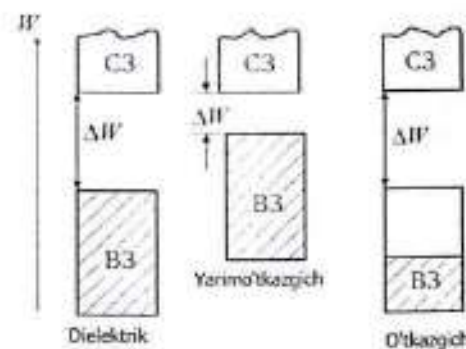
#### Kirish

Elektr xossalari bo'yicha modda uch sinfga bo'linadi: o'tkazgichlar, dielektriklar va yarimo'tkazgichlar. Metallar tipik o'tkazgichlar bo'lib, ularning solishtirma elektr qarshiligi kichik -  $10^{-6}$  Om·m dan kam. Yarimo'tkazgichlarning solishtirma elektr qarshiligi odatda  $10^{-6} \dots 10^{-14}$  Om·m oralig'ida bo'ladi. Agar  $10^{-14}$  katta bo'lsa, bunday materiallar dielektrik hisoblanadi.

Yarimo'tkazgichlarga Mendeleyev davriy jadvalidagi III-VI guruh elementlari (B, Ge, Si, As, Te va boshqalar), shuningdek, ko'plab kimyoviy birikmalar (GaAs, GaP, ZnS, SiC va boshqalar) kiradi.

Tashqi muhit sharoitlariga (harorat, bosim) qarab, bir xil modda turli sinflarga mansub bo'lishi mumkin. Masalan, germaniy 77 K (suyultirilgan azot harorati) da dielektrik, xona haroratida yarimo'tkazgich, suyuq holatda esa o'tkazgich hisoblanadi. Zamonaviy nazariya moddalarning tasnifini chuqurroq asoslab beradi. Kvant nazariyasiga ko'ra, atomdagi elektronlar faqat ma'lum energiya qiymatlarida bo'lishi mumkin, bu qiymatlar energetik sathlar deb ataladi. Kristall tuzilmasida bu sathlar birikib, ruxsat etilgan energetik zonalarni hosil qiladi. Bu zonalarni ajratib turuvchi oraliq taqiqlangan zona (4.1-rasm).

Energetik zona to'liq to'ldirilgan hisoblanadi, agar barcha sathlar elektronlar bilan to'ldirilgan bo'lsa. Pauli prinsipiga ko'ra, har bir sathda qarama-qarshi spinga ega bo'lgan ikki elektron bo'lishi mumkin. Agar zonaning barcha sathlari to'ldirilmagan bo'lsa, u holda u erkin zona hisoblanadi.



4.1-rasm.  
Energetik

#### zonalar:

B3- valent zona; C3 - so'z zona;  $\Delta W$  - taqiqlangan zona. Zonaning to'ldirilgan qismi (harorat  $T = 0$  K da) shtrix bilan belgilangan.

Agar moddani elektr xossalari uchun mas'ul bo'lgan valent elektronlar to'liq to'lgan (valent) zonani hosil qilsa va undan keyingi ruxsat etilgan zona (ya'ni, o'tkazuvchanlik zonasi) bo'sh bo'lsa, unda bunday moddaning elektr o'tkazuvchanligi nolga teng bo'ladi va u dielektrik hisoblanadi. Haqiqatan ham, modda ichida tok o'tishi uchun elektronlar tashqi elektr maydoni ta'sirida harakatlanadi, bu esa ularning energiyasining ortishini, ya'ni ularning yuqoriroq bo'sh energetik darajaga o'tishini talab qiladi. Agar valent zona to'liq to'lgan bo'lsa, bunday energetik darajalar mavjud emas, demak, bunday zonali tuzilishga ega moddalarda elektronlar tashqi elektr maydoni ta'sirida tezlanolmaydi.

Elektronlarni valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tkazish uchun ularga taqiqlangan zona kengligiga teng yoki undan katta energiya  $\Delta W$  berilishi lozim. Elektronlarning bir qismi bu energiyani moddaga yorug'lik tushishi yoki atomlarning issiqlik harakati natijasida oladi. Shu sababli odatdagi haroratlarda ( $T \approx 300$  K) o'tkazuvchanlik zonasida ma'lum miqdorda elektronlar mavjud bo'ladi. Ularning konsentratsiyasiga qarab modda dielektrik yoki yarim o'tkazgich bo'lishi mumkin. Bu ikki sinf o'rtasidagi farq  $\Delta W$  - taqiqlangan zona kengligi va harorat  $T$  ga bog'liq. Yarim o'tkazgichlarda xona haroratida  $\Delta W$  odatda 0,02 dan 2 eV gacha, dielektrlarda esa 2 eV dan katta bo'ladi.

Yarim o'tkazgichlarning o'tkazuvchanligining haroratga bog'liqligi o'tkazuvchanlik zonasiga o'tgan tok tashuvchilari - elektronlar

konsentratsiyasining o'zgarishi bilan belgilanadi. Harorat oshganda ularning soni eksponentsial tarzda ortadi, shuning uchun sof yarim o'tkazgichlarning elektr qarshiligi  $R$  harorat oshishi bilan quyidagi qonun bo'yicha kamayadi:

$$R = A \cdot \exp(\Delta W / 2kT) \quad (4.1)$$

bu yerda:  $A$  - haroratga kuchli bog'liq bo'lmagan kattalik;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K - Boltsman doimiysi.

Metallar (o'tkazgichlar) esa boshqacha zonali tuzilishga ega. Ularning valent elektronlari zonani taxminan yarmigacha to'lgan, natijada elektronlar tashqi elektr maydoni ta'sirida erkin harakatlana oladi. Bunday hollarda valent zona o'tkazuvchanlik zonasi hisoblanadi. O'tkazgichlarda erkin elektronlar konsentratsiyasi haroratga bog'liq emas - bu ularning yarim o'tkazgichlar va dielektriklardan asosiy farqidir.

O'tkazgichlarda elektr qarshilikning haroratga bog'liqligi dielektriklardagiga nisbatan ancha zaifroq. Bu bog'liqlik elektronlarning kristall panjara ionlari bilan to'qnashuvi natijasida energiya yo'qotishi bilan belgilanadi. Harorat oshganda ionlarning tebranish amplitudasi ortadi, bu esa metallarda o'tkazuvchan elektronlarning erkin yurish uzunligini kamaytiradi. Natijada o'tkazgichlarning elektr qarshiligi  $R$  harorat bilan quyidagi chiziqli qonun asosida ortadi:

$$R = R_0 (1 + \alpha t) \quad (4.2)$$

bu yerda:  $t$  - harorat (Selsiy bo'yicha);

$R_0$  -  $0^\circ\text{C}$  da o'tkazgichning qarshiligi;

$\alpha$  - haroratga bog'liq qarshilik koeffitsienti

#### O'tkazgichning TK (temperatura koeffitsienti) qiymatini aniqlash usuli

(4.2)-sonli tenglama o'tkazgichning haroratga bog'liq qarshiligi  $R - t$  koordinatalarida tasvirlanganda, bu to'g'ri chiziq shaklida ifodalanadi. Ushbu to'g'ri chiziqning burchak koeffitsienti quyidagiga teng:  $K_1 = R_0 \alpha$ . Bu yerda  $K_1$  qiymati orqali tadqiq qilinayotgan o'tkazgichning TKS (temperatura koeffitsienti) ni aniqlash mumkin:

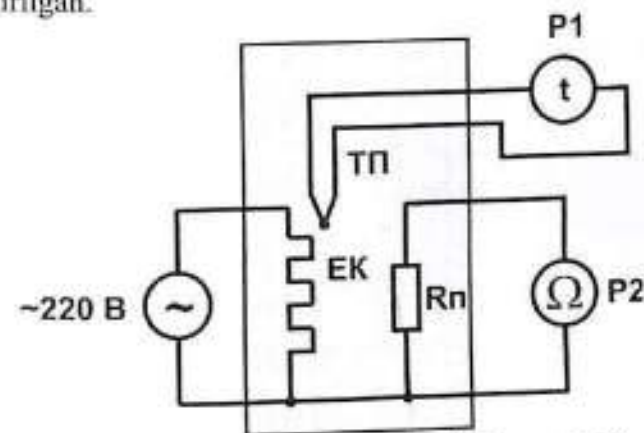
$$\alpha = K_1 / R_0 \quad (4.3)$$

Bu yerda:  $R_0$  -  $0^\circ\text{C}$  haroratdagi qarshilik qiymati bo'lib, u chiziqli bog'lanishni  $t = 0^\circ\text{C}$  nuqtasiga ekstrapolyatsiya qilish orqali aniqlanadi.

Eksperimental bog'lanishning burchak koeffitsienti qiymati grafikdan yoki eng kichik kvadratlar usuli yordamida aniqlanadi (1-ilova). Shunday qilib, o'tkazgichning TK qiymatini aniqlash uchun, uning qarshiligining haroratga bog'liqligini eksperimental yo'l bilan olish kifoya qiladi.

#### Uskuna tavsifi

Uskunaning elektr sxemasi 4.1-rasmda, ulanma sxemasi esa 4.2-rasmda keltirilgan.



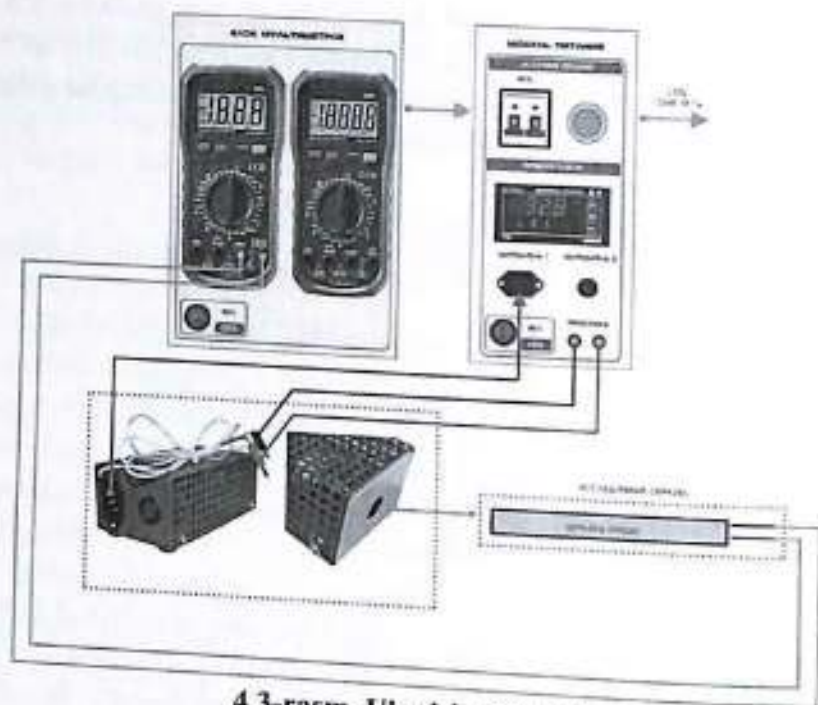
4.2-rasm. Eksperimentning elektr sxemasi

«~220V» - 50 Gts chastotali ~220V o'zgaruvchan tok manbai; EK - elektr isitgich; TP - termojuft (isitgich tarkibiga kiradi);  $R_n$  - tadqiq qilinayotgan o'tkazgich namunasi;  $R_1$  - haroratni o'lchash rejimida ishlayotgan raqamli multimetr ( $^\circ\text{C}$  rejimi, "TEMP" kirishi);  $R_2$  - qarshilikni o'lchash rejimida ishlayotgan raqamli multimetr ( $\Omega$  kOm rejimi, COM va  $V\Omega$  kirishlari).

#### Isitish va o'lchash jarayoni tavsifi

Elektr isitgich (EI) ~220V 50 Gts o'zgaruvchan tok manbaiga ulangan. Kuchlanish manbai yoqilgach, tadqiq qilinayotgan o'tkazgich namunasi isiy boshlaydi.

Namunaning qarshiligini o'lchash uchun u raqamli multimetre ( $R_2$ ) ga ulanadi. Namunaning harorati esa termojuft (TP) yordamida aniqlanadi ushbu termojuftdan kelayotgan signal raqamli multimetrening  $R_1$  modeliga uzatiladi.



4.3-rasm. Ulanish sxemasi

**Ishni bajarish tartibi**

1. Elektr zanjirni 4.3-rasmda keltirilgan montaj sxemasiga muvofiq yig'ing. Tadqiq qilinayotgan namunani isitgich ichiga joylashtiring. Multimetrlar blokini 220V o'zgaruvchan tok tarmog'iga \*stendning quvvat moduli\* orqali ulang – bu stend uskunalarini ortiqcha yuklama va qisqa tutashuvlardan himoya qilish uchun zarur.
2. Multimetrda kerakli o'lchov rejimini o'rning. O'tkazgichning qarshiligini o'lchashda diapazon kalitini 200 Om holatiga qo'ying.
3. Stendning quvvat modulini yoqing. Buning uchun avtomatik o'chirgichlarni «I» – ya'ni "yoqilgan" holatga o'tkazing. Multimetrlar blokini va termoregulyatorni yoqing – "SET" quvvat tugmalarini «YOQILGAN» holatga o'tkazing.
4. O'tkazgichning qarshiligini ( $R_{np}$ ) xona haroratida ( $R_2$  yordamida) o'lchang. O'lchov natijasi  $R_{np}$  va harorat qiymatini  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) ni 4.1-jadvalga yozib qo'ying.

No	$t, ^{\circ}\text{C}$	$R_{np}, \text{Om}$	T, K	$T^{-1}, 10^{-3}\text{K}^{-1}$	$\alpha$ (TKS)
----	-----------------------	---------------------	------	--------------------------------	----------------

4.1-jadval

1	t xona				
2	25				
3	30				
4	35				
5	40				
6	45				
7	50				
8	55				
9	60				
10	65				
11	70				
	O'rtacha nuqta				

**Ishni davom ettirish va o'lchov natijalarini qayta ishlash**

**Ishni davom ettirish tartibi**

5. Haroratni termoregulyatorning « » tugmalari orqali har  $5^{\circ}\text{C}$  ga oshirib, namunani  $70^{\circ}\text{C}$  gacha qizdiring. Har bir harorat qiymatida, 4-bandda ko'rsatilgan tartibda o'tkazgichning qarshiligini o'lchang. Olingan barcha o'lchov natijalarini 4.1-jadvalga yozib boring.
6. O'lchovlar tugagach, stendning quvvat modulini o'chiring.

**O'lchov natijalarini qayta ishlash**

1. 4.1-jadvaldagi eksperimental ma'lumotlarga asoslanib, o'tkazgich qarshiligining haroratga bog'liqligi grafisini  $R-t$  koordinatalarida chizing. Harorat o'qi  $0^{\circ}\text{C}$  dan boshlanishi lozim.
2. Chizilgan grafik asosida  $t = 0^{\circ}\text{C}$  dagi qarshilik qiymati  $R_0$  ni aniqlang, shuningdek to'g'ri chiziqning burchak koeffitsienti  $K_1$  va uning nisbiy xatoligi  $\delta_k$  ni hisoblang (1-ilova).
3. (4.3)-formula yordamida tadqiq qilinayotgan o'tkazgichning temperatura koeffitsienti ( $\alpha$ ) ni aniqlang. Hisoblangan qiymatlarni 4.1-jadvalga kiriting.
4.  $\alpha$  ning nisbiy xatoligi ni quyidagi formula orqali hisoblang:

$$\delta_{\alpha} = \sqrt{\delta_K^2 + \delta_R^2}$$

Bu yerda:  $\delta_k$  - grafik bo'yicha aniqlangan to'g'ri chiziqqa nisbatan

nuqtalarning og'ish darajasiga asoslangan yoki multimetrening 1% asbobiy aniqligi bo'yicha belgilanadi,  $\delta_{R_0} - R_0$  ning nisbiy xatoligi (1-ilova).

#### Nazorat savollari

1. O'tkazgichning elektr qarshiligi qanday fizik kattaliklarga bog'liq? Qarshilikning o'lchamlarga va haroratga bog'liqligini ifodalovchi matematik ifodalarni yozing.
2. O'tkazgichlar uchun  $R(t)$  qarshilikning haroratga bog'liqligi qanday fizik sabablarga asoslanadi?
3. O'tkazgichning temperatura koeffitsienti qanday ma'noni anglatadi va uning fizik mohiyati nimada?
4. Qarshilik va haroratni aniqlash uchun qanday o'lchov asboblari qo'llaniladi?
5. Ushbu laboratoriya ishida raqamli multimetrlardan foydalanishda tanlanadigan o'lchov rejimlari va ulanish kirishlarini ko'rsating.
6. Raqamli multimetr yordamida o'lchangan qarshilik qiymatining ruxsat etilgan (maksimal) xatoligini qanday baholash mumkin?
7. Qarshilikning haroratga bog'liqligi chiziqli ko'rinishga ega bo'ladigan koordinatalar juftligini ko'rsating.
8. O'tkazgichning qarshiligi va harorati orasidagi bog'liqlikni ifodalovchi matematik tenglamani yozing.
9. To'g'ri chiziqning burchak koeffitsienti orqali o'tkazgichning temperatura koeffitsienti qanday aniqlanadi?

## 5-LABORATORIYA ISHI ELEKTRONNING XUSUSIY ZARYADINI MAGNETRON USULI BILAN ANIQLASHI

### Maqsad:

Zaryadlangan zarrachalarning solishtirma zaryadini aniqlash usullaridan biri bilan tanishish va tajriba asosida elektronning solishtirma zaryadini aniqlash.

### Kerakli jihozlar:

- Modular: «Generatorlar bloki», «Multimetrlar bloki», «Montaj maydoni va maydonlarni modellashtirish bloki»
- Mini-blok: «Magnetron»

### Kirish

Elektron emissiyasi va gaz muhitida sodir bo'ladigan razryad hodisalari natijasida, vakuum sharoitida deyarli to'qnashuvsiz harakatlanadigan elektron va ion oqimlarini hosil qilish mumkin. Elektr va magnit maydonlari harakatlanuvchi zaryadlangan zarrachalarga ta'sir etib, ularning tezligi va trayektoriyasini o'zgartiradi.

Zarracha elektr maydonda ta'sir etuvchi kuch:

$$F_{el} = QE \quad (5.1)$$

Agar zarracha magnit maydonida harakatlanayotgan bo'lsa, unga Lorens kuchi ta'sir qiladi:

$$F_l = Q[v, B] \quad (5.2)$$

Bu yerda:  $v$  – zarrachaning tezligi;  $B$  – magnit induksiyasi vektori.

Agar zarracha bir vaqtning o'zida ham elektr, ham magnit maydonlar ta'sirida bo'lsa, Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra uning harakat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$dv/dt = (Q/m)(E + [v, B]) \quad (5.3)$$

Bu tenglama zaryadlangan zarrachalarning kuch maydonlaridagi harakati ularning zaryad va massasining nisbatiga, ya'ni solishtirma zaryadiga ( $Q/m$ ) bog'liqligini ko'rsatadi.

Shunday qilib, elektr va magnit maydonlar ta'siridagi zarrachalar harakatini o'rganish orqali ularning solishtirma zaryadini aniqlash, shu orqali zarrachalarning fizik tabiati haqida ma'lumot olish mumkin.

Elektronning solishtirma zaryadini aniqlashning bir necha usullari

mavjud. Ulardan eng ko'p qo'llaniladiganlari – magnit fokuslash usuli va magnetron usulidir.

#### O'lchov usuli. Magnetron usuli orqali elektronning solishtirma zaryadini aniqlash

Ushbu laboratoriya ishida elektronning solishtirma zaryadini aniqlash uchun magnetron usuli qo'llaniladi.

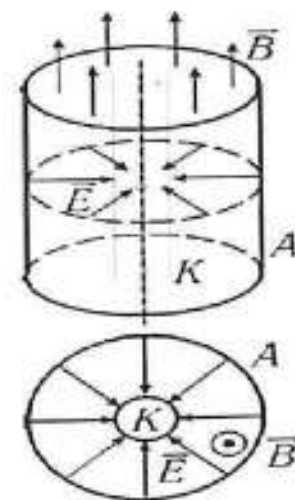
**Magnetron** - bu ikki elektrodli elektron lampadir (ya'ni diod bo'lib), unda tokning boshqarilishi tashqi doimiy magnit maydoni yordamida amalga oshiriladi. Ushbu magnit maydon solenoid orqali hosil qilinadi, uning ichiga lampa joylashtirilgan. Lampaning qizdiriladigan katodi va sovuq anodi koaksial silindrlar shaklida joylashgan. (5.1-rasm).

Magnetron ichida elektr maydon chiziqlari  $E$  radial yo'nalishda anoddan katodga qarab yo'nalgan bo'ladi, magnit maydon  $B$  esa katod o'qi bo'ylab yo'nalgan.

Shunday qilib, elektr va magnit maydonlar o'zaro perpendikulyar holatda joylashadi. Elektr maydon kuchlanishi  $E$  katodga eng yaqin joyda maksimal bo'ladi. Agar katod juda yupqa sim shaklida bo'lsa, undagi  $E$  maydon kuchlanishi  $1/r$  ga proporsional bo'lib, katoddan uzoqlashgan sari tez kamayadi.

Shu sababli, elektronlarning tezligi  $v$  qiymatga yetguncha, ularning harakati asosan katod yaqinida sodir bo'ladi. Katoddan uzoqlashganidan keyin esa, elektronlarning tezligi deyarli doimiy deb qaraladi.

Potensiallar farqi  $U$  yordamida tezlashtirilgan elektron quyidagi kinetik energiyaga ega bo'ladi:



5.1-rasm. Lampa

$$\frac{mv^2}{2} = eU$$

formuladan zarra tezligini topsak

$$v = \sqrt{2eU/m} \quad (5.4)$$

#### Magnit maydon yo'qligida elektronlarning harakati

Agar magnit maydoni mavjud bo'lmasa, katod tomonidan emissiya qilingan elektronlar elektr maydoni  $E$  ta'sirida to'g'ri chiziqli, ya'ni radial yo'nalishda (katoddan anodga qarab) harakatlanadi. Bunday sharoitda anod zanjirida tok hosil bo'ladi va bu tokning miqdori anodga berilgan kuchlanish hamda katodning qizdirish toki qiymatiga bog'liq bo'ladi.

Agar lampa magnit maydoni  $\vec{B}$  ichiga joylashtirilsa, harakatlanayotgan elektronlarga Lorens kuchi ta'sir qila boshlaydi. Ushbu kuch  $\vec{B}$  maydon chiziqlariga perpendikulyar yo'nalgan bo'ladi, ya'ni elektronning tezlik vektori  $v$  bilan bir tekislikda va unga to'g'ri burchak ostida yo'nalgan bo'ladi. Natijada, elektron markazga intiluvchi tezlanish oladi. Bu holat Nyutonning ikkinchi qonuniga muvofiq quyidagicha ifodalanadi:

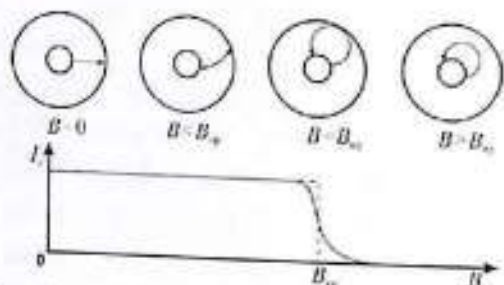
$$evB = \frac{mv^2}{R} \quad (5.5)$$

Shu tariqa, magnetron ichida elektron ma'lum bir radiusga ega bo'lgan aylana yo'nalishi bo'ylab harakatlanadi. Bu radius quyidagi ifoda orqali

aniqlanadi:

$$R = \frac{mv}{eB} \quad (5.6)$$

Magnit maydon induksiyasi ortishi bilan bu radius kamayadi. 5.2-rasmda silindrsimon magnetronda magnit induksiyasi oshib borishi jarayonida elektronning harakat trayektoriyasi qanday o'zgarishi ko'rsatilgan.



5.2-rasm. Magnit induksiyasi ortganda elektronlarning harakat trayektoriyasi

Ma'lum bir kritik magnit induksiya qiymati  $B_{kr}$  mavjud bo'lib, 5.2-rasmda ko'rsatilganidek ushbu qiymatga yetganda elektronning harakat trayektoriyasi tubdan o'zgaradi.

$$R = r/2$$

Bu yerda  $r$  - anodning radiusi. (5.4) va (5.6) tenglamalarga muvofiq kritik magnit induksiya qiymati  $B_{kr}$  elektronning tezligi  $v$  hamda unga mos keluvchi anod kuchlanishi  $U_a$  ga bog'liq:

$$B_{kr} = \frac{2}{r} \sqrt{\frac{2mU_a}{e}} \quad (5.7)$$

Agar  $B < B_{kr}$  bo'lsa, barcha elektronlar anodgacha yetib boradi va anod toki magnit maydon yo'qligidagi holatdagidek bir xil qiymatga ega bo'ladi (5.2-rasmdagi grafikning gorizontal qismi). Agar  $B > B_{kr}$  bo'lsa, elektronlar anodgacha yetib bormaydi va lampa orqali o'tadigan tok nolga teng bo'ladi. Aynan  $B = B_{kr}$  bo'lganida tok keskin kamayishi kerak (5.2-rasmdagi grafikda punktir chiziq bilan ko'rsatilgan), ammo tajriba natijalarida tokning silliq kamayishi kuzatiladi. Bu hodisa bir qator omillar bilan izohlanadi: katod va anodning mukammal koaksial joylashmaganligi, chekka effektlar, elektronlarning katoddan turli tezliklar bilan chiqishi va boshqalar. Agar magnit maydonning kritik induksiya qiymati  $B_{kr}$  aniqlansa

va (5.7)-tenglamadan foydalanilsa, elektronning udumiy zaryadi (ya'ni, zaryad/massa nisbati) quyidagi formula asosida hisoblab chiqilishi mumkin.

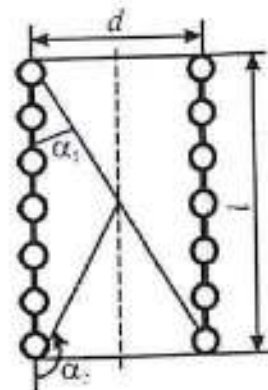
$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{(rB_{kr})^2} \quad (5.8)$$

Induksiya  $B$  qisqa solenoid uchun magnit maydon formulasiga asosan quyidagicha hisoblanadi:

$$B = \mu_0 IN(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)/2l \quad (5.9)$$

Bu yerda:  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m - magnit doimiysi,  $I$  - solenoid o'ramidan o'tuvchi tok kuchi,  $N$  - solenoidning o'ramlar soni,  $l$  - o'ramning uzunligi,  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  5.3-rasmda ko'rsatilgan, lampa solenoid markaziga joylashtirilgan holatda aniqlanadigan burchaklar,

- bu holatda  $\cos\alpha_1 = \cos\alpha_2 = l/\sqrt{l^2 + d^2}$  bu yerda  $d$  - solenoid diametri.



5.3-rasm. Solenoid

Kosinuslarning qiymatlarini (5.9)-formula ga qo'yib, magnit induksiyaning kritik qiymatini olamiz:

$$B_{kr} = \mu_0 I_{kr} N / \sqrt{l^2 + d^2} \quad (5.10)$$

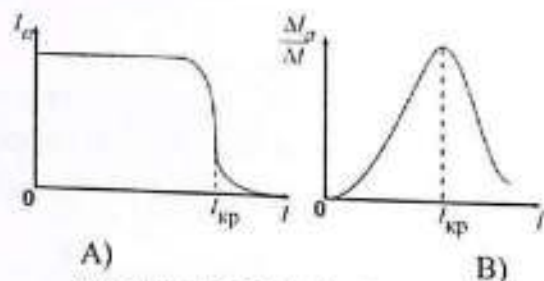
Bu yerda  $I_{kr}$  - magnit induksiyaning kritik qiymati  $B_{kr}$  ga mos keluvchi solenoiddagi tok qiymati. 5.10-ifodani inobatga olgan holda, elektronning udumiy zaryadini aniqlash uchun 5.8-formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a(l^2 + d^2)}{(\mu_0 r N I_{kr})^2} \quad (5.11)$$

#### Kritik tokni aniqlash

Kritik tok  $I_{kr}$  ni aniqlash uchun anod toki bilan solenoid toki orasidagi eksperimental bog'liqlikdan foydalaniladi:  $I_a = f(I)$  (5.4,a-rasm), bu bog'liqlik tashqi ko'rinishi jihatidan  $I_a = f(B)$  ga o'xshaydi. Solenoidda

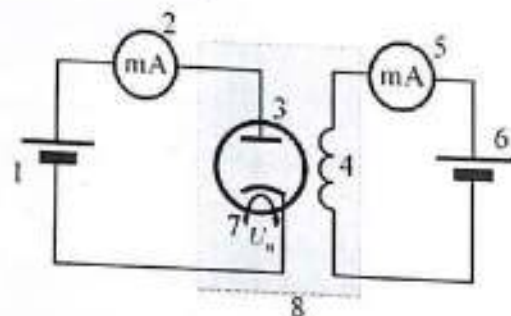
kritik tokga erishilganda anod toki  $I_a$  keskin kamayadi.  $I_a = f(I)$  grafigining o'zgaruvchanligi anod toki va solenoid toki ortishining nisbatini  $\Delta I_a / \Delta I$  ni ifodalaydi. Bu nisbatning grafigi  $\Delta I_a / \Delta I = f(I)$  (5.4,b-rasm) ko'rinishida bo'lib, uning maksimumi qidirilayotgan kritik tok qiymati  $I_{kr}$  ga to'g'ri keladi.



A) B)  
5.3-rasm. Kritik tokni aniqlash

#### Tajriba uskunasi tavsifi

Elektronning xususiy zaryadini magnetron usuli bilan aniqlash uchun elektr zanjiri yig'iladi, uning sxemasi 5.4-rasmda keltirilgan, ulanishlar sxemasi esa 5.5-rasmda ko'rsatilgan.



5.4-rasm. Elektr zanjiri sxemasi

1 – Doimiy kuchlanish manbai «+15 V» generatorlar moduli; 2 – Anod toki o'lchovchi multimetr (A rejimi - 2 mA, COM, mA kirishlari); 3 – Vakumli diod; 4 – Solenoid; 5 – Solenoid toki o'lchovchi multimetr (A rejimi - 10A, COM, 10A kirishlari); 6 – O'zgaruvchan kuchlanish manbai «0...+15 V»; 7 – Katodni isitish kuchlanishi  $U_H$ ; 8 – Mini-blok «Magnetron».

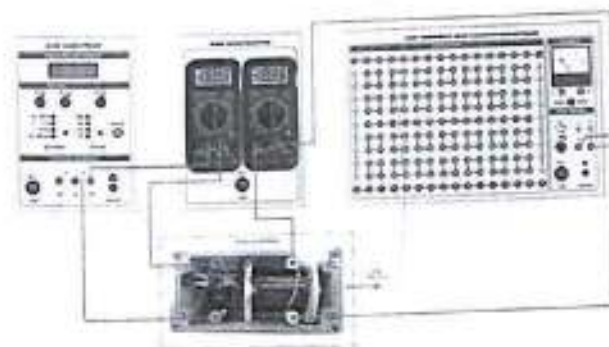
#### Vakumli diod va solenoid

Vakumli diod 3 doimiy kuchlanish manbai «+15V» ga ulanishi kerak.

Anod toki  $I_a$  raqamli multimetr 2 yordamida o'lchanadi. Diod solenoid 4 ichiga o'rnatilgan bo'lib, diodning anod o'qi solenoidning o'qi bilan mos keladi. Solenoid 4 magnit maydon yaratadi, uning induksiyasini I o'ram tokini o'zgartirish orqali boshqariladi, bu esa «E3 0...15 V» regulyatori yordamida amalga oshiriladi. Solenoid o'ramidagi tok multimetr 5 yordamida o'lchanadi.

#### Ish bajarish tartibi

1. Elektr zanjirini 5.5-rasmda ko'rsatilgan ulanish sxemasi bo'yicha yig'ing. O'zgaruvchan tok tarmog'iga modul va mini-blokni ulang.
2. Zanjirga quvvat berishni boshlang. Buning uchun modullar va mini-blokning "SET" tugmachali o'chirgichlarini "YOQ" holatiga o'tkazing.



Magnetron parametrlar:  $d = 44$  mm,  $l = 56$  mm,  $N = 1500$  bit,  $r = 3.8$  mm,  $U_a = 15B$

5.1-jadval

$I, \text{mA}$	$I_a, \text{mA}$	$\Delta I, \text{mA}$	$\Delta I_a, \text{mA}$	$\Delta I_a / I, \text{mA}$

3. «E3 0...15 V» regulyatori orqali 'Blok nabornoye pole' modulining solenoid

o'ramidagi tok  $I$  mA qiymatini belgilang va multimetr 2 yordamida olingan anod tokining  $I_a$  qiymatlarini o'lchab yozing. Natijalar (toklar  $I$  va  $I_a$ ) ni 5.1-jadvalga yozing. Tokni asta-sekin oshirib borib, shunga o'xshash o'lchovlarni takrorlang.

4. Modullar va mini-blokni quvvatdan uzing. O'lchov natijalarini qayta ishlash:

1. Anod tokining o'zgarishini (kamayishini)  $\Delta I_a = I_{a1} - I_{a1} + 1$  va solenoid tokining o'zgarishini  $\Delta I = I_1 - I_1 + 1$  toping.  $\Delta I_a$  ning kattaligini  $\Delta I_a / \Delta I$  hisoblang. Natijalarni 5.1-jadvalga yozing.

2. 5.3-rasmda ko'rsatilganidek, bir sahifada (bir grafik maydonida)  $I_a = f(I)$  va  $\Delta I_a / \Delta I = f(I)$  ikki bog'lanishni chizing.

3. Solenoid o'ramidagi kritik tok  $I_{kr}$  ning qiymatini  $\Delta I_a / \Delta I$  grafigining maksimal nuqtasiga qarab aniqlang.

4. 5.11 formulasi yordamida elektronning maxsus zaryadining  $e/m$  qiymatini hisoblang.

5. Olingan qiymatni jadvaldagi bilan taqqoslang va o'lchov natijasining nisbiy xatolik qiymatini formulaga asosan baholang.

$$\delta = \frac{\left(\frac{e}{m}\right)_{jad} - \left(\frac{e}{m}\right)_{taj}}{\left(\frac{e}{m}\right)_{jad}} \cdot 100\%$$

Xulosa qismida elektronning maxsus zaryadini aniqlashda foydalanilgan usulni tahlil qiling: tizimli va tasodifiy xatoliklarning mumkin bo'lgan manbalarini ko'rsating, ularni bartaraf etish yoki kamaytirish yo'llarini ta'riflang.

#### Nazorat savollari.

- Elektr va magnit maydonlarida zaryadlangan zarracha ustida tasir qiluvchi kuchlar  $F_{el}$  va  $F_l$  formulalarini yozing
- Zaryadlangan zarracha harakatlanayotganda qanday parametrlar (tezlik  $v$ , tezlik  $v$ , tezlanishlar  $a$ ,  $a_n$ ,  $a_t$ , yo'nalishning egri chizig'ining radiusi) o'zgaradi:
  - elektrostatik maydonning kuch chizig'iga nisbatan ma'lum bir burchak ostida harakatlanayotganda,
  - Lorents kuchi ta'sirida harakatlanayotganda?
- Quyidagi qiymatlarni aniqlash uchun qanday tenglamalar ishlatiladi:

- Elektr maydonida zaryadlangan zarrachaning tezligini aniqlash uchun,
- Magnit maydonida elektronning yo'nalish egri chizig'ining radiusini aniqlash uchun?

4. Rasmda magnitronda elektronning katoddan anodga harakatlanishida unga ta'sir qiluvchi  $F_{el}$  va  $F_l$  kuchlarining yo'nalishini ko'rsating.

5. Ushbu harakat davomida  $F_{el}$  va  $F_l$  kuchlarining modullari qanday va nima sababdan o'zgaradi?

6. Magnitronda elektronning harakat tezligi vektori va modulini qanday omillar belgilaydi?

7. Rasmda magnitronda  $E$  va  $B$  vektorlarining yo'nalishini ko'rsating.

8. Magnitronda elektronning yo'nalish egri chizig'ining shakli va kritik induksiya  $B_{kr}$  qiymati nimaga bog'liq?

9. Magnitronda elektronning yo'nalish egri chizig'ining shaklini rasmda turli magnit induksiya qiymatlari uchun ko'rsating ( $B < B_{kr}$ ,  $B = B_{kr}$ ,  $B > B_{kr}$ ).

10. Elektr zanjirida multimetrlarning vazifasini ko'rsating.

11. Magnitronning anod tokining  $I_a$  qiymati qanday kattaliklarga bog'liq?

12. Magnitronning anod tokining  $I_a$  qiymati

a) katodning issiqlik tokidan  $I_n$ ;

b) anod kuchlanishidan  $U_a$ ;

c) solenoid o'ramidagi tokdan  $I$ ;

d) solenoidning o'ramlar sonidan  $N$  qanday bog'liq?

13. Elektronning maxsus zaryadining  $e/m$  qiymatini aniqlash uchun hisoblash formulasini chiqarishda qaysi tenglamalar ishlatiladi?

14.  $I_a = f(I)$  va  $\frac{\Delta I_a}{\Delta I} = f(I)$  grafiklarining shaklini tushuntiring va ularning vazifasini ko'rsating.

15. Ushbu grafiklar yordamida kritik tok  $I_{kr}$  ni qanday aniqlash mumkin?

**6-LABORATORIYA ISHI**  
**"YARIMO'TKAZGICHLARDAGI HOLL EFFEKTINI**  
**O'RGANISH**

**Maqsad:**

Holl effektini o'rganish, Holl doimiysini aniqlash va yarim o'tkazgichdagi elektron tashuvchilarning konsentratsiyasini aniqlash.

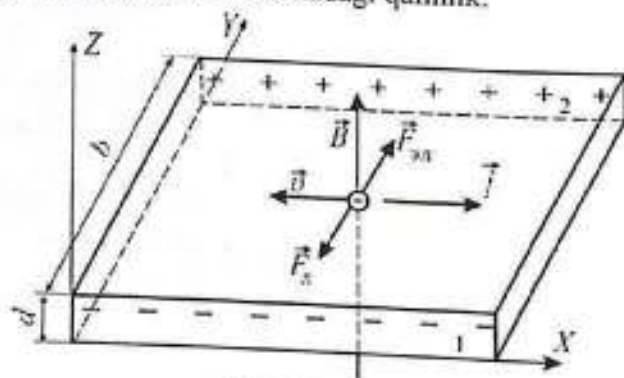
**Jihozlar:-** Modullar: 'Generatorlar bloki', 'Multimetrlar bloki', 'Maydonlar va maydonni model qilish bloki', 'Solenoidlar'.

**Kirish**

Holl effekti - tok zichligi  $j$  bo'lgan o'tkazgichda, magnit maydoni  $B$  ta'sirida,  $j$  va  $B$  vektorlariga perpendikulyar yo'nalishda  $U$  kuchlanishining hosil bo'lish hodisasi (6.1- rasm). Ushbu effektini 1879-yilda amerikalik fizik E.G. Holl kashf etgan va tajriba orqali quyidagi ifodani aniqlagan:

$$U = R \frac{IB}{d} \quad (6.1)$$

Bu yerda:  $R$  - proporsionallik koeffitsienti (Holl koeffitsienti), uning qiymati va hususiyti yarimo'tkazgichning kimyoviy tarkibiga, haroratga va tok tashuvchilarning zaryadiga bog'liq;  $I$  - namunadagi tok kuchi;  $B$  - magnit maydonning induksiyasi;  $d$  - namunadagi qalinlik.



**6.1-Holl effekti**

**Xoll effektining elementar nazariyasi**

Xoll effektining elementar nazariyasini ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik, tok tashuvchilar elektronlar bo'lsin (masalan, metallarda va n-tipdagi aralashmali yarimo'tkazgichlarda). Namunada tok zichligi  $j$  bo'yicha harakatlanayotganda elektronlar drayf tezligi  $v$  ga ega bo'ladi, bu tezlik tok yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Agar tok

o'tayotgan o'tkazgich tashqi magnit maydoniga joylashtirilsa, u holda elektronlarga Lorents kuchi ta'sir etadi:

$$\vec{F}_l = -[v, \vec{B}] \quad (6.2)$$

**Xoll effektida zaryadlarning qayta taqsimlanishi**

Bu holat Y o'qi yo'nalishida zaryadning qayta taqsimlanishiga olib keladi (6.1-rasm). Elektronlar o'zlarining harakat yo'nalishidan chetga og'ib, namunadagi biror chetga to'planadi va qarama-qarshi tomonda kompensatsiyalanmagan musbat zaryad hosil bo'ladi. Natijada, Y o'qi bo'ylab elektr maydoni  $E_y$  yuzaga keladi. Ushbu maydon elektronlarga qarshi yo'nalgan elektr kuchini ta'sir ettiradi:

$F_{el} = -e E_y$ , bu kuch Lorents kuchiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Statik holat uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$F_{el} = F_l \text{ yoki } F_y = evB \quad (6.3)$$

Chunki bu holatda tezlik vektori  $v \perp B$ , ya'ni magnit maydon vektoriga perpendikulyar yo'nalgan bo'lib, 6.3-tenglikdan Xoll elektr maydonining kuchlanishini quyidagicha topamiz:

$$E_y = vB \quad (6.4)$$

va 1 va 2-yoqlar orasidagi potentsiallar farqi ya'ni Xoll kuchlanishi quyidagicha aniqlanadi:

$$U = \int_a^b E_y dy = vBb \quad (6.5)$$

Bu yerda  $b$  - Xoll kuchlanishiga perpendikulyar yo'nalishdagi namunaviy plastinkaning eni. Elektronlarning drayf tezligini tok zichligi yordamida quyidagicha ifodalaymiz

$$I = jbd; \quad j = env; \quad v = \frac{I}{enbd} \quad (6.6)$$

Bu yerda  $n$  - namunadagi erkin elektronlar konsentratsiyasi. 6.6-tenlikni 6.5-ga qo'yib, Xoll kuchlanishini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$U = \frac{1}{en} + \frac{IB}{d} \quad (6.7)$$

6.1 va 6.7 - tenliklarni solishtirib, Xoll koeffitsienti ifodalanadi:

$$R = \frac{1}{en} \quad (6.8)$$

Yana ham chuqurroq nazariya elektr tok tashuvchilarining kristall panjara bilan o'zaro ta'sirini hisobga oladi. Bu holda doimiy Xoll koeffitsienti quyidagicha ifodalanadi

$$R = \frac{r}{en} \quad (6.9)$$

Bu yerda  $r$  - Xoll-faktori bo'lib, u moddaning xossalriga, haroratga va tashuvchilarning turiga bog'liq. Misol uchun, germaniyning tipik qiymati xona haroratida  $r = 3/2$ . 6.8-formuladan ko'rinadiki, Xoll koeffitsientining ishorasi tok tashuvchilarning zaryadiga bog'liq. Metall va n-tip yarimo'tkazgichlar uchun  $R < 0$ , p-tip yarimo'tkazgichlar uchun esa  $R > 0$ .

#### Xoll effektini o'rganish usuli

Xoll kuchlanishi 6.1-formulaga muvofiq magnit induksiya  $B$  va datchikdan oqib o'tayotgan tok  $I$  ga chiziqli ravishda bog'liq bo'ladi. Tajriba qurilmasi yordamida  $U(B)$  va  $U(I)$  bog'lanishlarini aniqlash mumkin. Olingan eksperimental to'g'ri chiziqning burchak koeffitsienti orqali Xoll koeffitsienti  $R$  aniqlanadi. Agar kuchlanma magnit induksiyaga chiziqli bog'liq bo'lsa:  $U = K B$  u holda 6.1-formulaga asosan burchak koeffitsientining qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$K = \frac{RI}{d} \quad (6.10)$$

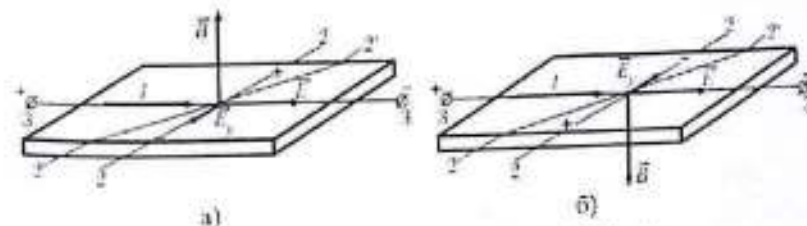
Doimiy magnit maydoni manbai sifatida elektromagnitdan foydalanish mumkin. Elektromagnitning maydon qismida hosil bo'ladigan magnit induksiya  $B$  qiymati, uning g'altigidan o'tayotgan magnetlovchi tok  $I_{em}$  ga nisbatan chiziqli bo'lmagan bog'lanishga ega bo'ladi. Biroq, o'zak materiali uchun qurilgan magnitlanish grafigi  $B(I_{em})$  da deyarli chiziqli bo'lgan sohani ajratish mumkin, va aynan shu oraliqda quyidagi formula o'rinlidir:

$$B = \frac{\mu N}{h} I_{em} \quad (6.11)$$

Bu yerda  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$  - magnit doimiysi;  $N$  - salenoidning o'ramlar soni;  $h$  - solenoid diametri. Xoll kuchlanishini o'lchashdagi muammo shundaki, tajriba vaqtida plastinkada faqat Xoll elektr maydoni  $E_y$  emas, balki datchikda tokni hosil qiluvchi elektr maydon  $E$  ham mavjud bo'ladi. 6.2-rasmda ushbu o'zaro perpendikulyar bo'lgan elektr maydonlar va Xoll kuchlanishini o'lchash uchun datchikka lehmlangan o'tkazgichlarning (2'-2') joylashuvi tasvirlangan. 6.2a-rasmda ko'rsatilishicha, agar o'lchash kontaktlari chizig'i (2'-2') ideal chiziqdan (2-2) og'ishgan bo'lsa, ya'ni tok  $I$  yo'nalishiga (maydon  $E$  ga) nisbatan to'g'ri perpendikulyar bo'lmasa, u holda 2'-nuqtaning potentsiali 2-nuqta potentsialidan kichik bo'ladi. Bunda

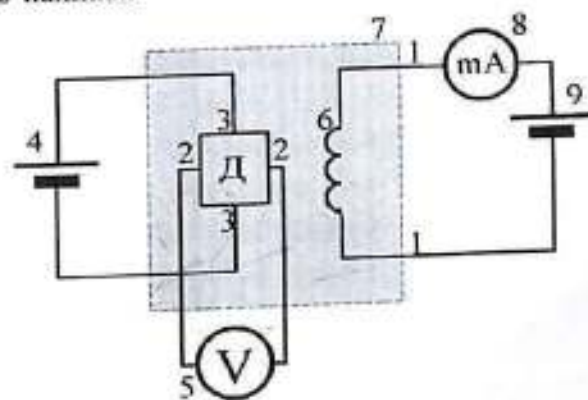
o'lchangan kuchlanma  $U_1$  Xoll kuchlanmasidan  $\Delta U$  ga kichik bo'ladi (masalan, 10 mkm og'ish bo'lsa,  $\Delta U = 5$  mV):  $U_1 = U - \Delta U$ . 6.2b-rasmga murojaat qiladigan bo'lsak, magnit maydon induksiyasining  $B$  yo'nalishini o'zgartirish orqali (2'-2') chizig'i bo'yicha boshqa kuchlanmani o'lchash mumkin:  $U_2 = U + \Delta U$ .  $U_1$  va  $U_2$  qiymatlaridan foydalanib, noma'lum sistematik xatolik  $\Delta U$  ni yo'q qilish mumkin:

$$U = \frac{(U_1 + U_2)}{2} \quad (6.12)$$



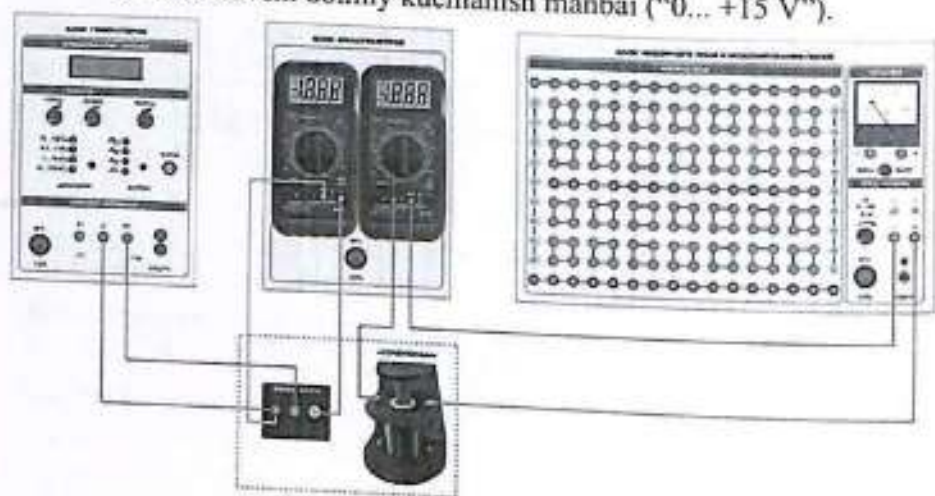
6.2-rasm. Xoll kuchlanishini o'lchash

Elektr sxemasi 6.3-rasmda, ulanishlar sxemasi esa 6.4-rasmda keltirilgan. Tadqiq qilinayotgan namuna Xoll datchigi (D) - xona haroratida kovakli (p-tip) o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yupqa germaniy plastinkasidan iborat. Datchik elektromagnit yadro tirqishiga (6) joylashtirilgan va doimiy kuchlanish manbaiga (4) ulangan. Elektromagnit g'altagi esa doimiy kuchlanishni tartibga soluvchi manba (9) bilan ulanadi. Elektromagnit g'altagidagi tok  $I_{em}$  yo'nalishini o'zgartirish quvvat manbai qutblarini almashtirish orqali amalga oshiriladi. Tok  $I_{em}$  qiymati milliampèrmetr (8) yordamida o'lchanadi. Xoll kuchlanmasini o'lchash uchun esa raqamli voltmetr (5) qo'llaniladi.



6.3-rasm.

- (1-1) - elektromagnit (6) ni quvvatlantirish zanjiri; 8 - multimetr (rejimi: A-200 mA, kirish ulangan joylar: COM, mA); (2-2) - Xoll kuchlanmasini o'lchash zanjiri; 5 - multimetr (rejimi: V-2 V, kirish ulangan joylar: COM, V $\Omega$ ); (3-3) - Xoll datchigi (D) ni quvvatlantirish zanjiri; 4 - barqarorlashtirilgan doimiy kuchlanish manbai ("+15 V"); 7 - "Xoll effekti" laboratoriya mini-bloki; 9 - sozlanuvchi doimiy kuchlanish manbai ("0... +15 V").



6.4-rasm. Ulanishlar sxemasi

**Ishni bajarish tartibi**

1. Elektromagnitning g'altaklar soni  $N$ , tirqish kengligi  $h$  va datchikning qalinligi  $d$  ni aniqlang va jadvalga yozing.
2. Elektr zanjirini 6.3-rasmda keltirilgan ulanish sxemasi asosida yig'ing. "Xoll effekti" mini-bloki Xoll datchigi va solenoiddan tashkil topgan.
3. Zanjirga kuchlanish bering. Buning uchun "SETb" modulidagi kalit tugmalarini "VKL." (yoqilgan) holatiga o'tkazing.
4. Quvvat manbai "E3" ning chiqish kuchlanish darajasini boshqaruvchi regulyator yordamida o'qituvchi ko'rsatmasiga binoan elektromagnit zanjiridagi tokni  $I_{em}$  (masalan, 10 mA) qilib sozlang.
5. Multimetr 5 yordamida elektromagnit g'altagidagi tok yo'nalishida hosil bo'lgan kuchlanma  $U_1$  ni o'lchang.
6. Quvvat manbai 9 ning qutblarini almashtirish orqali elektromagnit

g'altakdagi tok  $I_{em}$  yo'nalishini o'zgartiring va  $U_2$  kuchlanmani o'lchang. 7. "E3" regulyatori yordamida elektromagnit g'altagidagi tok  $I_{em}$  ni har safar taxminan 10 mA ga oshirib boring va har bir bosqichda 5- va 6-bandlarga muvofiq  $U_1$  va  $U_2$  kuchlanmalarini o'lchang. O'lchov natijalarini 6.1-jadvalga yozib boring.

**O'lchov natijalari**

Uskuna parametrlari:  $I = 5 \text{ mA}$ ,  $N = \dots$  g'altak,  $h = \dots \text{ mm}$ ,  $d = \dots \text{ mm}$

6.1-jadval

No	$I_{em}, \text{ mA}$	$U_1, \text{ mV}$	$U_2, \text{ mV}$	$U, \text{ mV}$	$B, \text{ mTl}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
O'rtacha nuqta (1-Ilovaga qarang)					

8. Modullarni elektr tarmog'idan uzing.
  1. Har bir  $I_{em}$  qiymati uchun magnit induksiya  $B$  ni 6.11-formuladan foydalangan holda hisoblang. Hisoblash natijalarini 6.1-jadvalga yozing.
  2. Har bir magnit induksiya  $B$  qiymati uchun 6.12-formulaga asosan Xoll kuchlanmasi  $U$  ni hisoblang. Natijalarni 6.1-jadvalga kiriting.
  3. Olingan ma'lumotlar asosida  $U = f(B)$  grafik chizig'ini tuzing.
  4. Grafikka o'rtacha nuqta va boshlang'ich (nol) nuqtani bog'lovchi to'g'ri chiziqni o'tkazing. Ma'lumki,  $B = 0$  bo'lganda  $U = 0$ .
  5. Eksperimental chiziqning burchak koeffitsienti  $K$  ni va uning nisbiy xatosi  $\delta_K$  ni aniqlang (1-Ilovaga qarang).
  6. 6.10-formuladan foydalanib, tadqiq qilinayotgan yarimo'tkazgich uchun Xoll doimiysi qiymatini toping.

$$R = K \frac{d}{l} = \dots \text{ m}^3 / \text{ k}$$

7.  $R$  kattaligining nisbiy xatosini baholang:  $\delta_R = \sqrt{\delta_K^2 + \delta_l^2}$
8. 6.8 yoki 6.9-ifodaga asosan, tadqiq qilinayotgan yarimo'tkazgichdagi kovaklar (p-tip tashuvchilar) konsentratsiyasi  $n$  ni hisoblang:

$$n = \frac{r}{Re} = \dots 1 / \text{ m}^3$$

bu yerda  $r$  - Xoll faktori,  $e$  - elektron zaryadi.

9.  $\delta_n = \delta_R$  deb faraz qilib,  $n$  konsentratsiyasining ishonchli oraliq (intervali)ni aniqlang.

10. Xulosa bo'limida quyidagilarni bayon qiling: - Tajriba davomida Xoll effektiga oid qanday qonuniyatlar o'rganildi. Xoll datchigini amaliyotda qo'llashning mumkin bo'lgan yo'nalishlari (masalan, oqim, pozitsiya yoki magnit maydon datchiklari sifatida)

#### Nazorat savollari

1. Xoll effekti nimada namoyon bo'ladi?
2. Xoll hodisasini kuzatish uchun qanday shartlar bajarilishi zarur?
3. Xoll kuchlanmasining paydo bo'lish sababi nimada?
4. Harakatlanayotgan elektronlarga ta'sir qiluvchi Lorents kuchining yo'nalishi qanday?
5. Yarim o'tkazgich plastinkasida Xoll effektini kuzatishda elektr va magnit maydon vektorlari  $E$  va  $B$  yo'nalishlarini rasmda ko'rsating.
6. Plastinkaning qaysi qirralari orasida Xoll kuchlanmasi yuzaga keladi? Ushbu qirralarning tok  $I$  va magnit maydon  $B$  ga nisbatan joylashuvini tushuntiring.
7. Ushbu ishda qaysi kattaliklarni o'lchashda foydalaniladi:
  - a) milliampèrmetr
  - b) raqamli voltmètr?
8. Xoll datchigining qaysi qirralariga quyidagi asboblardan ulanadi:
  - a) milliampèrmetr
  - b) raqamli voltmètr?
9. Quyidagi parametrlar o'zgartirilganda Xoll hodisasining qaysi kattaliklari o'zgaradi:
  - a) datchikdagi ishchi tokning qiymati va yo'nalishi
  - b) elektromagnit g'altagidagi tokning qiymati va yo'nalishi?
10. Xoll doimiysini hisoblash uchun plastinkaning qaysi geometrik o'lchami zarur?
11. Xoll kuchlanmasi qanday usulda o'lchanadi?
12. Yarim o'tkazgichdagi elektr o'tkazuvchanlik elektronlari konsentratsiyasini hisoblash uchun ushbu ishda qanday formulalar ishlatiladi?

## 7-LABORATORIYA ISHI FERROMAGNETIKLARNING MAGNIT SINGDIRUVCHANLIGINI MAGNIT MAYDON KUCHLANISHIGA BOG'LIQLIGINI O'RGANISH

### Maqsad:

Ferromagnetik materialning magnit singdiruvchanligi  $\mu(H)$  ning magnit maydon kuchlanishiga bog'liqlik grafigini hamda magnitlanishning asosiy egri chizig'i  $B(H)$  ni qurish.

### Kerakli jihozlar:

- Quyidagi modullar: "Ta'minot moduli", "Generatorlar bloki", "Multimetrlar bloki", "Maydonlar yig'ish va modellashtirish bloki";
- Mini-bloklar: "Ferromagnetik", "100 Omli rezistor", "kalit".

### Kirish

Ferromagnetiklar - bu kuchli magnit xossalarga ega bo'lgan moddalardir. Ferromagnetik moddalarning nisbiy magnit singdiruvchanligi ( $\mu_r$ ) tashqi magnit maydon kuchlanishi ( $H$ ) ga bog'liq bo'ladi. Shu sababli, magnit singdiruvchanlikka bog'liq bo'lgan qurilma yoki kontur xossalari ham  $H$  qiymatiga bog'liq bo'ladi. Masalan, solenoidning induktivligi ( $L$ ) ham magnit maydon kuchlanishiga qarab o'zgaradi

$$L = \mu_r \mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad (7.1)$$

Uning o'zgaruvchan tokka nisbatan induktiv qarshiligi quyidagicha ifodalanadi:

$$X_L = \omega L \quad (7.2)$$

bu yerda:

- $\mu_0$  - magnit doimiysi;
- $N$  - solenoiddagi o'ramlar soni;
- $S$  - solenoid kesimi yuzasi;
- $l$  - solenoid uzunligi;
- $\omega$  - o'zgaruvchan tokning siklik chastotasi.

### O'lchash usuli

- Induktivlikni aniqlash uchun, ma'lum chastotali o'zgaruvchan tokda solenoidning induktiv qarshiligi ( $X_L$ ) ni o'lchash kifoya qiladi. O'zgaruvchan tok ta'sirida spiralning to'liq elektr qarshiligi quyidagicha ifodalanadi:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (7.3)$$

Odatda solenoidning aktiv qarshiligi  $R$  induktiv qarshilikka nisbatan ancha kichik bo'lganligi sababli, ya'ni  $R \ll X_L$ , 200 Gts chastotali o'zgaruvchan tok uchun  $R$  qiymatini  $X_L$  ga nisbatan e'tiborsiz deb hisoblash mumkin.

Om qonuniga ko'ra, solenoidni o'z ichiga olgan zanjir qismining to'liq elektr qarshiligi  $Z$  ni aniqlash uchun tok kuchi  $I$  va kuchlanish  $U$  ni o'lchash kifoya:

$$Z = \frac{U}{I} \quad (7.4)$$

Magnit singdiruvchanlikni 7.1, 7.3 va 7.4-formulalardan foydalangan holda quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\mu_r = \frac{Ll}{\mu_0 N^2 S} = \frac{l}{w_0 \mu_0 N^2 S} \cdot \frac{U}{I} = K \frac{U}{I} \quad (7.5)$$

$K = \frac{l}{w_0 \mu_0 N^2 S}$  bu yerda  $K$  - tajriba qurilmasining doimiy (o'zgarmas) koeffitsienti.

G'altakning o'ramidan  $I$  tok o'tishi natijasida hosil bo'lgan magnit maydonning kuchlanganligini quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

$$H = \frac{NI}{l} \quad (7.6)$$

Shu tariqa,  $I$  tokning har bir qiymatiga muayyan magnit maydon kuchlanishi  $H$ , yadro magnit singdiruvchanligi  $\mu_r$  hamda magnit induksiya  $B$  mos keladi:

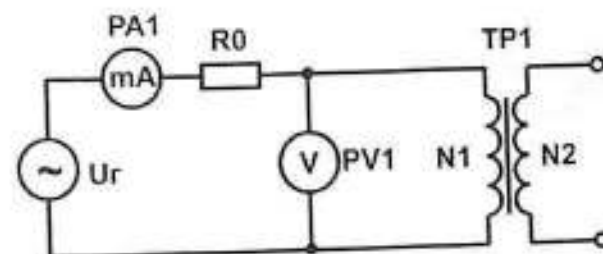
$$B = \mu_r \mu_0 H \quad (7.7)$$

Turli tok qiymatlarida  $H$ ,  $\mu_r$  va  $B$  kattaliklarini aniqlash orqali quyidagi tajribaviy bog'liqliklarni o'rnatish mumkin:

a)  $B = f(H)$  - magnit induksiyaning magnit maydon kuchlanishiga bog'liqligi (ferromagnetikning asosiy magnitlanish egri chizig'i);

b)  $\mu_r = f(H)$  - yadro magnit o'tkazuvchanligining magnit maydon kuchlanishiga bog'liqligi.

Elektr sxemasi 7.1-rasmda, ulanish sxemasi esa 7.2-rasmda keltirilgan.

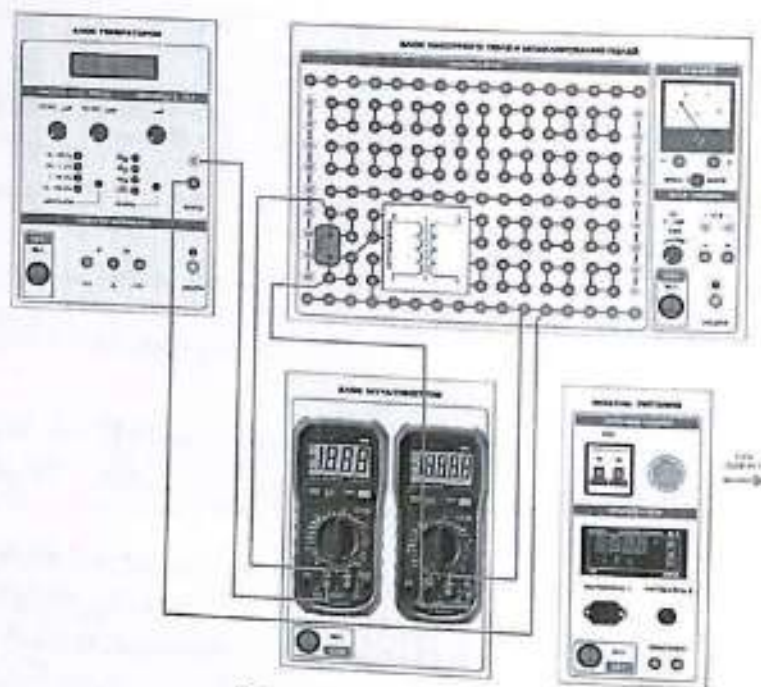


7.1-rasm – Elektr sxemasi:

- $U_g$  – maxsus shakldagi signallar generatori;
- RA1 – multimetr (rejimi: A~ mA, kirish ulangan joylar: COM, A);
- $R_0$  – "100 Omli rezistor" mini-bloki;
- PV1 – multimetr (rejimi: V~ 2 V, kirish ulangan joylar: COM, V $\Omega$ );
- TR1 – "Ferromagnetik" bloki (halqasimon yadro va unga o'ralgan  $N_1$  va  $N_2$  o'ramlardan iborat).

Tadqiq qilinayotgan ferromagnetik materialdan tayyorlangan halqasimon yadroga  $N_1$  dona simli o'ram o'ralgan. Ushbu o'ram orqali 200 Gts chastotali o'zgaruvchan tok o'tkaziladi va u magnitlovchi maydonni hosil qilish vazifasini bajaradi. Aynan shu o'ramning parametrlari asosida magnitlovchi maydon kuchlanishi  $H$  aniqlanadi.

Maxsus shakldagi signallar generatori  $U_g$  kuchlanish,  $U$  va o'ramdagi tok  $I$  ni ham o'zgartirish imkonini beradi. Bu fizik kattaliklar mos ravishda PV1 voltmetri va RA2 milliammert orqali o'lchanadi.



7.2-rasm. Ulanish sxemasi  
Ishni bajarish tartibi  
O'lchovlarni bajarish

1. Qurilma va tadqiq qilinayotgan namunaga oid parametrlarni quyidagi jadvalga yozib oling:
  - $N$  – toroid o'ramining o'ramlar soni;
  - $l$  – yadroning o'rta o'qi bo'ylab uzunligi;
  - $S$  – yadroning kesim yuzasi.
2. 7.2-rasmda keltirilgan ulanish sxemasiga muvofiq elektr zanjirni yig'ing.
3. Zanjirga elektr quvvatini ulang. Buning uchun modullardagi "TARMOK" tugmachalarini "YOQILGAN" holatiga o'tkazing.
4. "Generatorlar bloki" modulida chiqish signalining shakli va chastotasi oralig'ini tanlash tugmalari yordamida "~" belgisi va "0,1...1 kGts" oralig'ini tanlang. "yirik qadamli sozlash" va "Aniq" regulyatorlari orqali chastotani 200 Gts ga sozlang.
5. "Generatorlar bloki" modulidagi "Chiqish" regulyatori yordamida va RAI multimetr ko'rsatkichlariga tayanib, toroid o'ramidagi tokni ( $I \approx 5$  mA) o'rnatib. 7.1-jadvalga tok ( $I$ ) va kuchlanish ( $U$ ) ko'rsatkichlarini yozib

oling.

6. Toroid o'ramidagi tokni taxminan 5 mA qadam bilan o'zgartirib, har safar kuchlanishni o'lchang. Har bir holat uchun tok va kuchlanish ko'rsatkichlarini jadvalga yozib boring.

7. Tajriba yakunida modullarni tarmoqdan uzib.

7.1-Jadval

Qurilma parametrlari	U, V	I, mA	H, A/m	$\mu_r$	B, mT
$N = 100$ $l = 37,7$ mm					
$S = 25$ mm <sup>2</sup> $\omega = 400\pi$ s <sup>-1</sup>					
$K = \dots$ A/V					

#### O'lchov natijalarini qayta ishlash

1. (5)-formula asosida qurilma doimiysi  $K$  ni hisoblang:

$$K = 1 / (\omega \mu_0 N^2 S) = \dots \text{ A/V}$$

Hisoblash natijasini jadvalga yozing.

2. Har bir tok qiymati uchun quyidagi formulalardan foydalanib,  $H$ ,  $\mu_r$  va  $B$  qiymatlarini hisoblang:

•  $H$  – (6)-formula asosida;

•  $\mu_r$  – (5)-formula asosida;

•  $B$  – (7)-formula asosida.

Hisoblash natijalarini jadvalga kiriting.

3. Jadvaldagi ma'lumotlarga asosan quyidagi grafiklarni qurish:

• Asosiy magnitlanish egri chizig'i  $B = f(H)$ ;

• Magnit o'tkazuvchanlik grafigi  $\mu_r = f(H)$ .

4. Ish bo'yicha xulosada tajriba grafigi shaklining xususiyatlarini tahlil qiling:

a) Magnitlanish egri chizig'ining xarakterini  $\mu_r = f(H)$  grafigidagi maksimum holati bilan solishtiring;

b) Olingan grafiklarni nazariy va boshqa eksperimental bog'liqliklar bilan taqqoslang.

#### Nazorat savollari

1. Ferromagnetik materiallar uchun quyidagilarni tasvirlab bering:

a)  $T < T_n$  holatida magnit induksiyaning magnit maydon kuchlanishiga bog'liqligi  $B = f(H)$  asosiy magnitlanish egri chizig'i hamda nisbiy magnit

- o'tkazuvchanlik grafigi  $\mu_r = f(H)$ ;
- b)  $T > T_c$  holatida yuqoridagi graflarning xususiyatlari ( $T_c$  – Kyuri harorati).
2. Ferromagnetik materialning asosiy magnitlanish egri chizig'i  $B = f(H)$  avval magnitlanmagan namunadagi xuddi shu bog'liqlikdan qanday farq qiladi?
  3. Ferromagnetik materiallarning xarakterli fizik xususiyatlari va ularning magnitlanish jarayoniga xos jihatlarni sanab bering.
  4. Ferromagnetikning domen tuzilmasi magnitlanish davomida (maydon kuchlanishi  $H$  ortishi bilan) qanday o'zgaradi?
  5. Quyidagi fizik kattaliklar qaysi omillarga bog'liq?
    - a) Toroiddagi magnit maydon kuchlanishi  $H$ ;
    - b) Ferromagnetik yadroli toroiddagi magnit induksiya  $B$ ;
    - c) Toroid yadrosining magnit singdiruvchanligi  $\mu_r$ .
  6. Qaysi matematik ifodalar magnit maydon parametrlari  $B$  va  $H$  ning boshqa fizik kattaliklarga bog'liqligini ifodalaydi?
  7. Yadro magnit o'tkazuvchanligini aniqlash metodikasi qanday bog'liqlikka asoslangan?
  8. O'zgaruvchan tok zanjiridagi spiralning to'liq elektr qarshiligini aniqlashda qaysi fizik qonun asos qilib olinadi?
  9. Magnit o'tkazuvchanlikni hisoblash formulasiga qanday o'lchangan fizik kattaliklar kiritiladi?
  10. Turli tok qiymatlarida  $\mu_r$ ,  $H$  va  $B$  ni aniqlash orqali qanday eksperimental bog'liqliklar hosil qilish mumkin?

## 8-LABORATORIYA ISHI FERROMAGNETIKNING ASOSIY MAGNITLANISH EGRI CHIZIG'INI QURISH

### Maqsad:

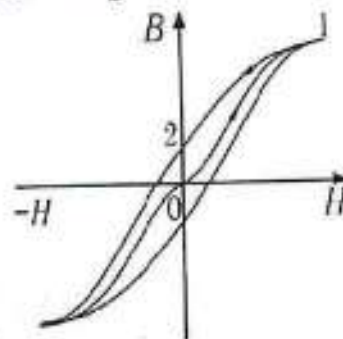
Ferromagnetik material uchun magnitlanishning asosiy egri chizig'i  $B(H)$  va magnit singdiruvchanlikning magnit maydon kuchlanishiga bog'liqlik grafigi  $\mu(H)$  ni qurish.

### Kerakli jihozlar:

- "Ta'minot moduli"
- "Generatorlar bloki"
- "Multimetrlar bloki"
- "Maydonni yig'ish va modellashtirish bloki"
- "Ferromagnetik" mini-bloki
- "Tugma (kalit)" mini-bloki
- "100 Omli rezistor" mini-bloki
- "Tok integratori" mini-bloki

### Kirish

Ferromagnetik (temir, kobalt, nikel va maxsus qotishmalar) magnit maydonga joylashtirilganda, bu moddadagi magnit induksiya  $B$  qiymati magnit maydon kuchlanishiga  $H$  nisbatan nochiziqli bog'liq bo'ladi (8.1-rasm). Bundan tashqari, ferromagnetik moddadagi magnit induksiya  $B$  ning qiymati nafaqat joriy magnit maydon kuchlanganligi, balki namunada ilgari mavjud bo'lgan magnitlanish holatiga ham bog'liq bo'ladi



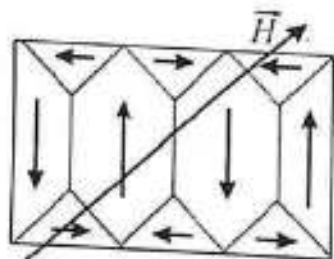
8.1-rasm. Magnit induksiya  $B$  vektorining magnit maydon kuchlanishi  $H$  vektoriga bog'liqligi.

Agar namunaga oldindan magnitsizlagan bo'lsa, uni magnitlash

jarayonida  $B$  ning  $H$  ga bog'liqligi 0–1 egri chiziq orqali tasvirlanadi va bu magnitlanishning asosiy egri chizig'i deb ataladi.

Agar magnit maydon kuchlanishi  $H$  kamaytirilsa (1–2 egri chiziqqa qarang), ferromagnetikdagi magnit induksiya  $B$  ning o'zgarishi  $H$  ning o'zgarishidan ortda qoladi. Bu hodisa magnit gisterezis deb ataladi.

Bu xususiyat ferromagnetik materiallarda o'z-o'zidan hosil bo'ladigan magnitlanish sohalari - domenlar mavjudligi bilan bog'liqdir. Ferromagnetik modda magnitsizlangan holatda bo'lsa, undagi turli domenlarning magnit momentlari shunday yo'nalgan bo'ladiki, ular bir-birini to'liq kompensatsiyalaydi va natijada namunadagi umumiy magnitlanish vektori nolga teng bo'ladi. Shunday holatdagi domen tuzilmasining mumkin bo'lgan ko'rinishlaridan biri 8.2-rasmda keltirilgan bo'lib, unda domenlarning magnitlanish yo'nalishlari o'qlar bilan ko'rsatilgan.



8.2-rasm. Domenlar

Ferromagnetik modda tashqi magnit maydonga joylashtirilganda, domenlar chegaralari shunday siljiydiki, dastlab magnit momentlari magnit maydon vektori  $H$  bilan o'tkir burchak hosil qiluvchi, ya'ni energiya nuqtai nazaridan eng qulay holatdagi domenlar kengaya boshlaydi. Bu jarayon magnitlanishning boshlang'ich bosqichini ifodalaydi. Keyingi bosqichda,  $H$  kuchlanishi ortib borishi bilan barcha domenlardagi magnit momentlarning magnit maydon yo'nalishiga qarab burilishi sodir bo'ladi.

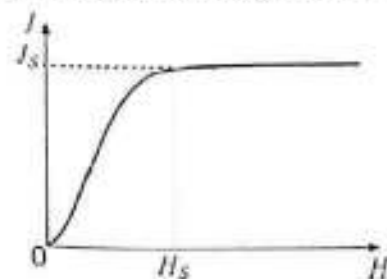
Natijada namunadagi umumiy magnitlanish  $J$  (ya'ni bir birlik hajmga to'g'ri keluvchi magnit moment) to'yinganlik darajasiga yetadi (8.3-rasm), biroq bu vaqtda magnit induksiya vektori  $B$  esa hali biroz ortishda davom etadi, bu esa tashqi magnit maydon kuchlanishi  $H$  ning oshishi bilan bog'liq.

$$B = \mu_0(H + J) = \mu_0(H + \chi)H = \mu_r \mu_0 H \quad (8.1)$$

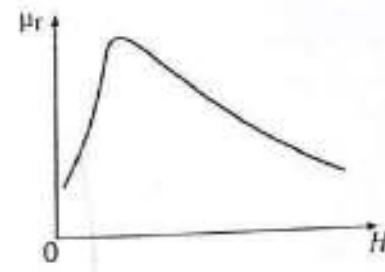
Bu yerda:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (H/m) – magnit doimiysi,  $\chi$  – magnit sezuvchanlik (ya'ni magnit qabul qiluvchanlik koeffitsienti).

Ferromagnetik materiallardagi domenli tuzilma shuningdek, nisbiy magnit singdiruvchanlik  $\mu_r$  ning juda keng oraliqda (1 dan  $10^6$  gacha) o'zgarishiga sabab bo'ladi. Bundan tashqari,  $\mu_r$  tashqi magnit maydon kuchlanishiga murakkab tarzda bog'liq bo'ladi (8.4-rasm).

Ferromagnetik modda Kyuri haroratidan yuqori darajada qizdirilganda, issiqlik harakati uning domen tuzilmasini buzadi. Natijada, ferromagnetiklik holatining barcha o'ziga xos xususiyatlari yo'qoladi va modda paramagnetik holatga o'tadi.



8.3-rasm



8.4-rasm

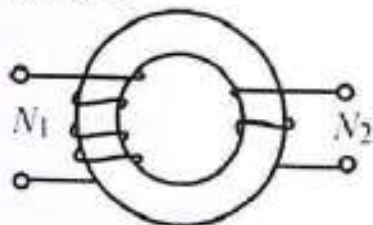
#### O'lchash usuli

Magnit induksiyaning magnit maydon kuchlanishiga bog'liqligi  $B(H)$  ni to'liq eksperimental o'rganish birinchi marta 1871–1872-yillarda Moskva universiteti professori A.G. Stoletov tomonidan amalga oshirilgan. U, shuningdek, ferromagnetik ichidagi magnit maydon kuchlanishi namunaning shakliga kuchli darajada bog'liq ekanligini ko'rsatdi. Faqat halqasimon (toroidal) shakldagi namunada, unga halqa bo'ylab o'ralgan o'ram yordamida magnit berilganda, ichki maydon kuchlanishi tashqi magnit maydon kuchlanishiga to'liq teng bo'ladi.

Ushbu laboratoriya ishida  $B(H)$  ning asosiy magnitlanish egri chizig'ini olish uchun A.G. Stoletov tomonidan taklif etilgan metod qo'llaniladi. Metodning mohiyati quyidagidan iborat: Ferromagnetik materialdan tayyorlangan halqaga (8.5-rasm) ikki xil o'ram joylashtiriladi:

- - birlamchi o'ram (magnitlovchi o'ram) – bu o'ram  $N_1$  ta o'ramdan iborat bo'lib, magnit maydon hosil qilish uchun xizmat qiladi;

- ikkilamchi o'ram -  $N_2$  ta o'ramdan iborat bo'lib, u magnit induksiya  $B$  ni o'lchash uchun mo'ljallangan.



8.5-rasm

Halqasimon yadroda birlamchi o'ram orqali  $I_1$  tok o'tganda hosil bo'ladigan magnit maydon kuchlanganligi quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

$$H = I_1 \frac{N_1}{l} = K_1 I_1 \quad (8.2)$$

Bu yerda:

- $K_1 = N_1 / l$  - doimiy koeffitsient;
- $l$  - Uzunlik.

Aynan shu magnit maydon halqani magnitlaydi. Halqaning kesim yuzasi  $S$  bo'lsa, undagi magnit oqimi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Phi = B S$$

Agar magnit oqimi o'zgaradigan bo'lsa, ikkilamchi o'ramda induksiya elektr yurutuvchi kuch (EYuK) paydo bo'ladi:

$$\varepsilon_1 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

Bu yerda  $\frac{d\Phi}{dt}$  - magnit oqimining o'zgarish tezligi.

Magnit oqimining o'zgarishi esa birlamchi o'ramdagi  $I_1$  tok yo'nalishini o'zgartirish orqali yuzaga keladi. Bunday holatda magnit maydon kuchlanishi  $H$  ning qiymati saqlanib qoladi, faqat magnit maydon yo'nalishi o'zgaradi. Shu sababli magnit oqim  $\Phi$  ning qiymati  $+\Phi$  dan  $-\Phi$  gacha o'zgaradi va magnit oqimning o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\Delta\Phi = -2\Phi = -2BS \quad (8.3)$$

Agar ikkilamchi o'ram zanjiri yopiq bo'lsa, unda bu zanjirda tok paydo bo'ladi.

$$I_2 = \frac{\varepsilon_1}{R} = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

Bu yerda:  $R$  - ikkilamchi o'ram zanjirining elektr qarshiligi.

Ikkilamchi zanjirda induksiyalangan  $I_2$  tok o'tganda, zanjir bo'ylab zaryad  $Q$  uzatiladi. Uning miqdorini 8.3 va 8.4-formulalardan foydalanib quyidagicha hisoblash mumkin:

$$Q = \int_0^t I_2 dt = \int_{+\Phi}^{-\Phi} \left(-\frac{N_2}{R} \frac{d\Phi}{dt}\right) dt = -\frac{N_2}{R} \Delta\Phi = 2 \frac{N_2}{R} BS$$

Ushbu tenglikdan magnit maydon induksiyasi  $B$  ni ifodalab olsak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$B = \frac{QR}{2N_2S} \quad (8.5)$$

Bu yerda:

- $R$ ,  $N_2$  va  $S$  - ushbu tajriba qurilmasi uchun doimiy kattaliklar.
- Zaryad  $Q$  ikkilamchi o'ramga ulanadigan tok integratori yordamida o'lchanadi. Bunda integratordan o'tgan zaryad miqdori PV1 multimetr ko'rsatkichlari bilan proporsional bo'ladi:

$$Q = \gamma \cdot n \quad (8.6)$$

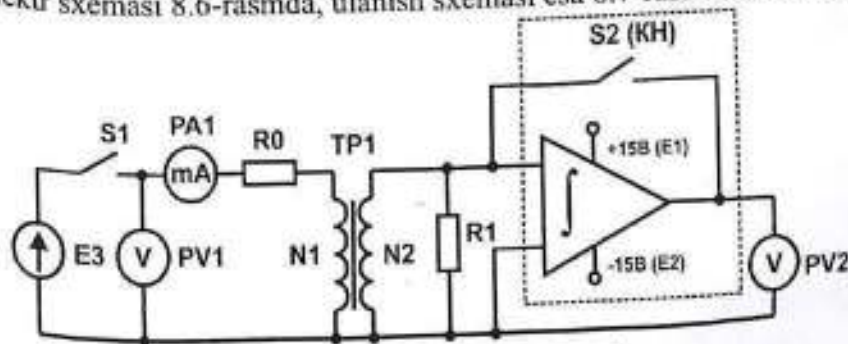
Bu yerda:

- $\gamma$  - integratorning doimiy koeffitsienti;
- $n$  - multimetr (PV1) bo'yicha o'qish.

Koeffitsient  $\gamma$  integratorning sezuvchanligini xarakterlaydi va u multimetrdan birlik ko'rsatkich paydo bo'lishi uchun zarur bo'lgan zaryad miqdoriga ( $Q/n$ ) tengdir. 8.5 va 8.6 ifodalarni birlashtirish orqali magnit induksiya  $B$  ni hisoblash uchun quyidagi formula hosil qilinadi:

$$B = \frac{\gamma n R}{2N_2 S} = K_2 n \quad (8.7)$$

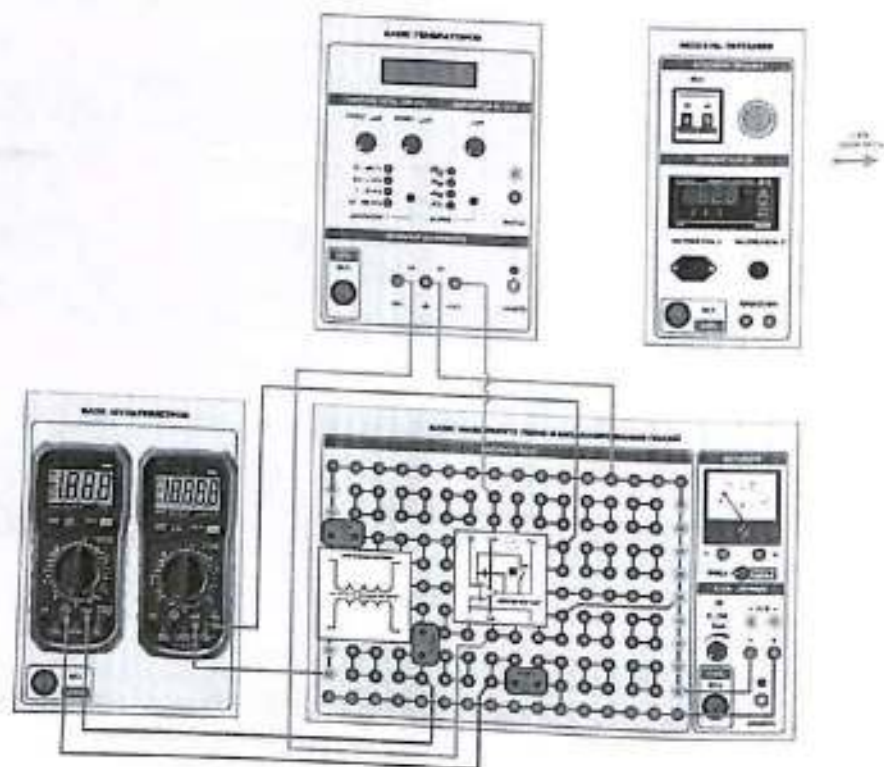
Elektr sxemasi 8.6-rasm, ulanish sxemasi esa 8.7-rasm keltirilgan.



8.6-rasm. Elektrik sxemasi

E3 - doimiy kuchlanishni sozlab beruvchi manba (0...+15 V oralig'ida)

- RA1 – multimetr (A – 200 mA rejimida, kirish nuqtalari: COM, mA)  
 R0 – “100 Omli rezistor” minibloki  
 TP1 – “Ferromagnit” minibloki (asosiy N1 va ikkilamchi N2 chulg’amlarga ega toroiddan iborat)  
 S1 – “Tugma” minibloki (kalit)  
 S2 – susaytiruvchi kalit  
 ∫ – “Tok integratori” minibloki  
 PV1 – multimetr (V – 2V rejimida, kirish ulamalari: COM, VΩ)  
 R1 – “2 kOmli rezistor” minibloki



8.7-rasm. Elektrik sxemasi

- E3 – doimiy kuchlanishni sozlab beruvchi manba (0...+15 V oralig’ida)  
 RA1 – multimetr (A – 200 mA rejimida, kirish nuqtalari: COM, mA)  
 R0 – “100 Omli rezistor” minibloki TR1 – “Ferromagnit” minibloki  
 (asosiy N1 va ikkilamchi N2 chulg’amlarga ega toroiddan iborat)  
 S1 – “Kalit” minibloki S2 - susaytiruvchi kalit  
 ∫ – “Tok integratori” minibloki PV1 – multimetr (V – 2V rejimida, kirish

nuqtalari: COM, VΩ) R1 – “2 kOmli rezistor” minibloki

### Ferromagnit yadroning magnitlanish jarayoni

Asosiy ( $N_1$ ) va ikkilamchi ( $N_2$ ) chulg’amlar magnit yadro ustiga o’ralgan bo’lib, u tadqiqot uchun mo’ljallangan ferromagnit materialdan tayyorlangan. Asosiy chulg’am ferromagnitni magnitlash uchun xizmat qiladi hamda uning elektr parametrlari asosida magnitlovchi maydon kuchlanishi  $H$  aniqlanadi. Yadroda qayta magnitlanish jarayonini amalga oshirish uchun asosiy chulg’amdagi tok yo’nalishini o’zgartirish talab qilinadi; buning uchun E3 kuchlanish manbaining ulanish qutblarini almashtirish kifoya.  $R_0$  rezistori esa asosiy chulg’amdagi tokni cheklash vazifasini bajaradi. Ikkilamchi chulg’am ( $N_2$ ) magnit yadrodagi magnit induksiya  $B$  ni aniqlash uchun xizmat qiladi. Ushbu chulg’am zanjiriga ulangan tok integratori yordamida ikkilamchi chulg’amdanda o’tgan zaryad  $Q$  o’lchanadi; bu zaryad magnit induksiya qiymatiga  $B$  proporsional bo’lib, multimetr orqali qayd etiladi. Yadro magnit yumshoq ferromagnit materialdan tayyorlangani sababli, u juda past qoldiq induksiya ( $B$ ) ga ega. Shu sababli, asosiy magnitlanish egri chizig’ini olishdan oldin yadroga oldindan magnitsizlanish jarayonini o’tkazish shart emas.

### Ishni bajarish tartibi

1. Tajriba uskunasi va tadqiqot qilinayotgan namunaga oid quyidagi parametrlarni jadvalga kiriting:  $N_1$  va  $N_2$  - asosiy va ikkilamchi chulg’amlarining o’ramlar soni;  $l$  - yadro o’qi bo’ylab o’rtacha uzunlik;  $S$  - yadro kesim yuzasi;  $R$  - ikkilamchi zanjirning qarshiligi;  $\gamma$  - tok integrator doimiysi.
2. Elektrik zanjirni 8.7-rasmda keltirilgan ulanish sxemasi asosida yig’ing.
3. Zanjirga kuchlanish manbaini ulang. Buning uchun modullardagi “TARMOQ” tugmachalarini “YOQILDI” holatiga o’tkazing. Tok integratoridagi susaytiruvchi kalit S2 ni yoping. S1 kalitni ham yoping.
4. “E3: 0...15 V” chiqish kuchlanishi darajasini o’rnatish regulyatoridan foydalanib, o’qituvchining ko’rsatmasiga asosan asosiy chulg’amdagi tokni (masalan,  $I_1 \approx 6,0$  mA) o’rnatib.
5. susaytiruvchi kalit S2 ni oching. E3 manba qutblarini o’zgartring. Buning uchun avval S1 kalitini oching, so’ngra elektr ulamalarni qayta ulang va S1 kalitini yana yoping. Bu vaqtda PV1 multimetri orqali qayd etilgan

maksimal  $U_1$  qiymatni o'lchang va 8.1-jadvalga yozing. So'ng S2 kalitini yoping.

6. S2 kalitini yana oching. E3 manba qutblarini yana o'zgartiring va bu vaqtda PV1 multimetri orqali o'lchangan maksimal  $U_2$  qiymatni qayd eting. Ushbu qiymatni ham 8.1-jadvalga yozing. Oxirida S1 kalitini yoping.

8.1-jadval

Uskuna parametrlari	$I_1, \text{mA}$	$U_1, \text{V}$	$U_2, \text{V}$	$U_{\text{ort}}, \text{V}$	$H, \text{A/m}$	$B, \text{mT}$	$\mu_r$
$N_1 = 100$							
$N_2 = 200$							
$l = 37,7 \text{ mm}$							
$S = 25 \text{ mm}^2$							
$R = 2,5 \text{ k}\Omega$							
$\gamma = 23,7 \cdot 10^{-8} \text{ Kt/V}$							

1. Har bir tok qiymati uchun  $U_{\text{ort}}$  (o'rtacha kuchlanish) ni hisoblang.

$$U_{\text{ort}} = \frac{U_2 + U_1}{2} = \dots V$$

2. Hisob-kitoblarda  $H$  va  $B$  qiymatlarini aniqlash uchun 8.2 va 8.7 formulalardan foydalangan holda, uskunaning hamda tadqiqot ob'ektining parametrlariga asoslanib,  $K_1$  va  $K_2$  konstantalarini hisoblang.

$$K_1 = \frac{N_1}{l} = \dots \frac{1}{\text{m}}$$

$$K_2 = \frac{\gamma R}{2N_2 S} = \dots \frac{\text{Kt} \cdot \text{Om}}{\text{V} \cdot \text{m}^2}$$

3. Har bir tok qiymati uchun  $H$  va  $B$  miqdorlarini quyidagi formulalar asosida hisoblang:

$$H = K_1 I_1 = \dots \text{A/m}$$

$$B = K_2 U_{\text{ort}} = \dots \text{Tl}$$

4. Har bir  $H$  qiymati uchun (1)-formula asosida nisbiy magnit singdiruvchanlik  $\mu_r$  ni hisoblang.

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

5. 8.1-jadval ma'lumotlari asosida asosiy magnitlanish egri chizig'i  $B(H)$  va nisbiy magnit o'tkazuvchanlik grafigi  $\mu_r(H)$  ni qurib chiqing.

6. Tajriba bo'yicha xulosada quyidagilarga e'tibor bering:

a) magnitlanish egri chizig'i shaklini  $\mu_r(H)$  grafigidagi maksimum nuqtasi bilan taqqoslang;

b) olingan egri chiziqlarni nazariy va eksperimental ma'lumotlar bilan solishtiring.

#### Nazorat savollari

1. Ferromagnitlar uchun quyidagi holatlar uchun asosiy magnitlanish egri chizig'i  $B(H)$  va  $\mu_r(H)$  grafigining ko'rinishini ko'rsating: a)  $T < T_c$  holatida; b)  $T > T_c$  holatida ( $T_c$  - Kyuri harorati).

2. Ferromagnitning asosiy magnitlanish egri chizig'i  $B(H)$  demagnetizatsiya qilinmagan namunadagi  $B(H)$  ga nisbatan qanday farq qiladi?

3. Ferromagnitlarning xarakterli xossalari va ularning magnitlanishdagi o'ziga xos jihatlarini nomlang.

4. Magnitlanish jarayonida ( $H$  kuchlanishi oshgani sari) ferromagnitning domen strukturasi qanday o'zgarishlar yuz beradi?

5. Quyidagi qiymatlar qaysi omillarga bog'liq:

a) toroiddagi magnit maydon kuchlanishi  $H$ ;

b) ferromagnit yadroli toroiddagi magnit induksiya  $B$ ;

c) toroiddagi yadro materialining magnit singdiruvchanligi  $\mu_r$ .

6. Ish tavsifida keltirilgan formulalardan qaysilari magnit maydon parametrlarining  $B$  va  $H$  boshqa kattaliklarga bog'liqligini ifodalaydi?

7. Tok integratori yordamida o'lchanayotgan zaryad  $Q$  qaysi omillarga va qanday tarzda bog'liq? Qanday tok qurilmadan o'tadi?

8. Tok integratorining vazifasini tushuntiring.

9. O'lchovlar vaqtida kalit (peremyuchatel) nima uchun qo'llaniladi?

10. Quyidagi kattaliklarni aniqlash uchun qanday o'lchovlar va qanday formulalardan foydalaniladi:

a) yadrodagi magnit maydon kuchlanishi  $H$ ;

b) magnit induksiya  $B$ ;

c) yadro materiali uchun magnit o'tkazuvchanlik  $\mu$ .

9-LABORATORIYA ISHI  
FERROMAGNITNING XOSSALARINI GISTEREZIS XALQASI  
YORDAMIDA O'RGANISHI

**Maqsad:**

Magnit gisterezis ilgagi parametrlarini aniqlash, asosiy magnitlanish egri chizig'i va  $\mu(H)$  grafigini qurish, ferromagnitning qayta magnitlanishiga sarflanadigan birlamchi energiyani hisoblash.

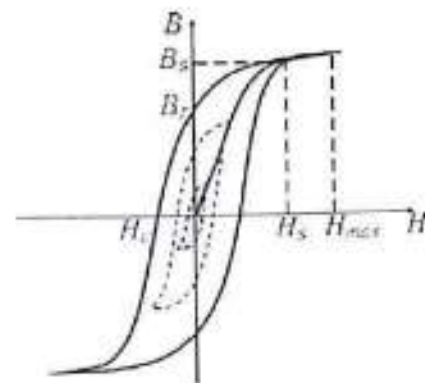
**Jihozlar:**

- modullar: "Quvvat manbai moduli", "Generatorlar bloki", "Multimetrlar bloki", "Maydonlar to'plami va modellashtirish bloki";
- minibloklar: "Ferromagnit", "Tok integratori", "Kalit", "Reostat";
- oskillograf.

**Kirish**

Ferromagnit moddasini o'zgaruvchan tok maydoni bilan magnitlaganda,

$B = f(H)$  bog'lanish gisterezis ilgagi ko'rinishiga ega bo'ladi (9.1-rasm). Ilgakning yuza maydoni magnit maydon kuchlanishining eng yuqori qiymati  $H_{max}$  bilan aniqlanadi. Yuza maksimal bo'ladi, agar  $H_{max} = H_s$ , bu yerda  $H_s$  - namunada to'liq magnitlanish holatiga yetkazuvchi maydon kuchlanishi. Bu holatdagi to'liq xalqa 9.1-rasmda keltirilgan. Agar  $H_{max} < H_s$  bo'lsa, hosil bo'ladigan gisterezis xalqasi kichikroq yuzaga ega bo'ladi.  $H$  kuchlanishini  $H_s$  dan yuqori qiymatlarga oshirish (ya'ni  $H_s$  dan  $H_{max}$  gacha bo'lgan oraliqda) induksiya  $B$  ning  $H$  ga nisbatan chiziqli o'sishiga olib keladi. To'liq xalqa va qisman sikllarning yuqori cho'qqilari magnitlanishning asosiy egri chizig'i ustida yotadi. Ushbu cho'qqilar koordinatalarini aniqlab, asosiy magnitlanish egri chizig'ini tuzish va  $\mu_r(H)$  ni hisoblash mumkin.



9.1-rasm. Gisterezis xalqasi

Gisterezis xalqasining chegara grafigi asosida ferromagnit materialning quyidagi xarakteristikallari aniqlanadi:  $H_s$  va  $B_s$  - magnit to'yinganlik nuqtasining parametrlari;  $B_r$  - qoldiq magnit induksiya;  $H_c$  - magnit yo'nalishini o'zgartirish uchun zarur kuchlanlanganlik;  $w$  - ferromagnit materialning bir birlik hajmini qayta magnitlashga sarflanadigan energiya.

Ferromagnit materialni qayta magnitlash jarayoni energiya sarfini talab qiladi, bu energiya oxir-oqibat materialning ichki energiyasiga aylanadi. Qayta magnitlashga sarflanadigan energiya ferromagnitning bir birlik hajmiga nisbatan aniqlanadi.

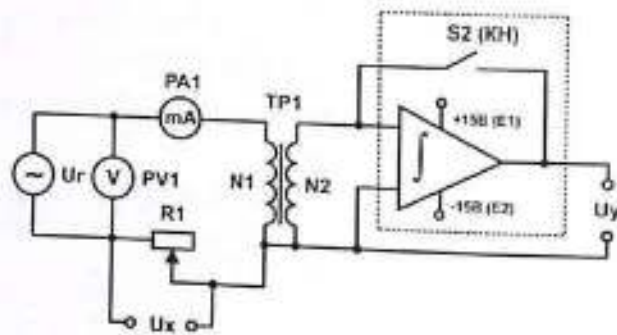
$$w = \oint H * dB = \oint B * dH \quad (9.1)$$

Shunday qilib, gisterezis sikli yordamida o'rganilayotgan namunadagi asosiy magnitlanish egri chizmasini  $B = f(H)$  qurish, magnit o'tkazuvchanligining magnit maydoni kuchlanganligiga bog'liqligini ko'rsatuvchi ( $H$ ) grafigini tuzish va ferromagnit materialning  $H_c$ ,  $B_r$ ,  $H_s$ ,  $B_s$  kabi parametrlarini hamda uning magnitlanishda energiyasi o'zgartirishining o'rtacha zichligini  $w$  aniqlash mumkin.

**O'lchov usuli**

Ushbu ishda gisterezis halqasi ossillograf ekranida kuzatiladi. Agar ossillografning gorizont X kirishiga vaqtga bog'liq ravishda magnit maydon kuchlanganligiga ( $H$ ) proporsional bo'lgan signal, Y kirishiga magnit induksiya  $B$  ga proporsional bo'lgan signal uzatilsa, u holda ossillograf ekranida  $B = f(H)$  ko'rinishidagi gisterezis halqasi hosil bo'ladi. Tadqiqot qilinayotgan namunaviy material ferromagnitdan yasalgan va

toroidal shaklga ega bo'lib, u ikkita o'ram uchun yadro vazifasini bajaradi (9.2-rasm): birinchisi – magnetlovchi o'ram (o'amlar soni soni  $N_1$ ), ikkinchisi – magnet induksiya  $B$  qiymatini o'lchash uchun mo'ljallangan o'ram ( $N_2$ ).



9.2-rasm. Elektr sxema

$U_g$  – maxsus signal generatori;  $S_1$  – «Kalit» (elektr zanjirini boshqarish uchun);  $R_1$  – «Reostat», qarshiligi  $R_1$  ga teng bo'lgan o'zgartiriluvchi qarshilik element;  $PA_1$  – multimetr (o'lchash rejimi: A~20 mA, COM va mA kirishlariga ulanadi);  $TR$  – «Ferromagnit», toroidal shakldagi namunaviy element bo'lib, birlamchi ( $N_1$ ) va ikkilamchi ( $N_2$ ) o'ramlarga ega;  $S_2$  – susaytruvchi kalit (tok integratori tarkibiy qismi sifatida ishlaydi);  $\int$  – «Tok integratori» magnet induksiya bilan bog'liq kattaliklarni aniqlash uchun;  $U_x$  – ossillografning X kirishiga uzatiladigan kuchlanish, u quyidagilarga proporsional:  $U_x \approx I \approx H$  (magnet maydon kuchlanganligi);  $U_y$  – ossillografning Y kirishiga uzatiladigan kuchlanish, u quyidagilarga proporsional:  $U_y \approx Q \approx B$  (magnet maydon induksiya).

#### Magnet maydon kuchlanganligini $H$ aniqlash

Namunadagi magnet maydon kuchlanganligi  $H$ , birlamchi o'ramdan  $I$  tok o'tganda quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$H = \frac{IN_1}{l} \quad (9.2)$$

bu yerda:  $N_1$  – birlamchi g'altakdagi o'ramlar soni;  $l$  – toroidning uzunligi. ossillografning X kirishiga  $R_1$  qarshilikdagi kuchlanish tushiriladi (9.2-rasm), bu kuchlanish toroidning birlamchi g'altakdagi  $I$  tokga proporsional. Shunday qilib, namunadagi magnet maydon kuchlanganligi  $H$  ossillografda hosil bo'lgan tasvirning X o'qi bo'yicha og'ishiga  $x$  proporsional

$$H = nx \quad (9.3)$$

bu yerda:  $n$  – proporsionallik koeffitsienti,  $n$  qiymatini aniqlash uchun ma'lum  $H$  qiymatiga to'g'ri keluvchi  $x$  og'ishini o'lchash kerak. Buning uchun gisterezis halqasining cho'qqisidagi maksimal og'ish  $x_{max}$  (mm) ishlatiladi. Bu og'ish magnet maydon kuchlanganligining amplituda qiymatiga:  $H_{max} = n x_{max}$  va birlamchi o'ramdagi tokning amplituda qiymatiga:

$$I_{max} = \sqrt{2}I$$

teng bo'ladi. Bu yerda  $I$  – multimetr yordamida o'lchangan tokning effektiv qiymati. Amplituda qiymatlarni 9.2 va 9.3 formulalarga qo'ysak, quyidagi ifodani olamiz:

$$n = \frac{\sqrt{2}IN}{I x_{max}} \quad (9.4)$$

Ferromagnitda hosil bo'luvchi magnet maydon induksiyasini ( $B$ ) o'lchash. Birlamchi o'ram orqali o'tayotgan tok natijasida hosil bo'ladigan magnet maydon o'zgarishida, ikkilamchi o'ramda magnet oqimining o'zgarish tezligiga proporsional bo'lgan EYuK ( $\varepsilon$ ) paydo bo'ladi. Faradayning elektromagnet induksiya qonuniga muvofiq, bu elektromotor kuch:

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R_2} = \frac{N_2}{R_2} \cdot \frac{d\Phi}{dt} = \frac{N_2 S}{R_2} \frac{dB}{dt} \quad (9.5)$$

Bu yerda:  $R_2$  ikkilamchi o'ram zanjirining to'liq qarshiligi;  $\Phi = BS$  toroid o'rami orqali o'tuvchi magnet oqimi,  $B$  – magnet maydon induksiyasi;  $S$  – yadro ko'ndalang kesim yuzasi;  $N_2$  – ikkilamchi g'altakdagi o'ramlar soni. Ikkilamchi g'altak zanjirida induksion tok hosil bo'lishi natijasida (9.2-rasm), tok integratori orqali zaryad yig'iladi. Ushbu yig'ilgan zaryad miqdori magnet oqimdagi o'zgarishlarga bog'liq bo'lib, magnet induksiya  $B$  ni aniqlashda muhim ahamiyatga ega.

$$Q = \int_0^t I_i dt = \frac{N_2 S}{R_2} \int_0^{B(t)} dB = \frac{N_2 S}{R_2} B(t) \quad (9.6)$$

Integratordan ossillografning Y kirishiga uzatiladigan kuchlanish  $U_y$  magnet maydon induksiyasi  $B$  ga proporsional bo'ladi.

$$U_y = \frac{Q}{\gamma} = \frac{N_2 S}{\gamma R_2} B(t) \quad (9.7)$$

Bu yerda  $\gamma$  – integratorming shkalalash doimiysi hisoblanadi. Ushbu

kuchlanish ossillografdagi tasvirning vertikal yo'nalishdagi  $\gamma$  (millimetrda) og'ishiga olib keladi.

$$U_Y = \frac{K_Y}{I_i} \quad (9.8)$$

Bu yerda:  $K$  – ossillografning  $Y$  o'qi bo'yicha bo'linma  $n$  qiymati;  $K$  qiymati ossillografning  $Y$  kuchaytirgichi potentsiometri (ya'ni «Kuchaytirish» tutqichi) holatiga bog'liq;  $l_{det}$  – ossillograf ekranidagi  $Y$  o'qi bo'yicha bitta yirik bo'linmaning uzunligi, millimetrda o'lchanadi. Formulalar 9.7 va 9.8 orqali ifodalangan chiziqli bog'lanishlar shuni ko'rsatadiki, magnit induksiya  $B(t)$  va oskiloskopdagi vertikal siljish  $y$  orasida to'g'ridan-to'g'ri proporsionallik mavjud bo'lib, bu quyidagicha yoziladi:

$$B = mY \quad (9.9)$$

bu yerda:  $m$  – tajriba qurilmasi parametrlariga bog'liq bo'lgan proporsionallik koeffitsienti.

$$m = \frac{Y R_2}{N_2 S_l} K \quad (9.10)$$

#### Namunani qayta magnitlashning solishtirma energiyasini baholash

Qayta magnitlashning solishtirma energiyasini  $w$  baholashda

9.3 va 9.9 formulalardan foydalanib, 9.1-ifodani quyidagicha yozish mumkin:

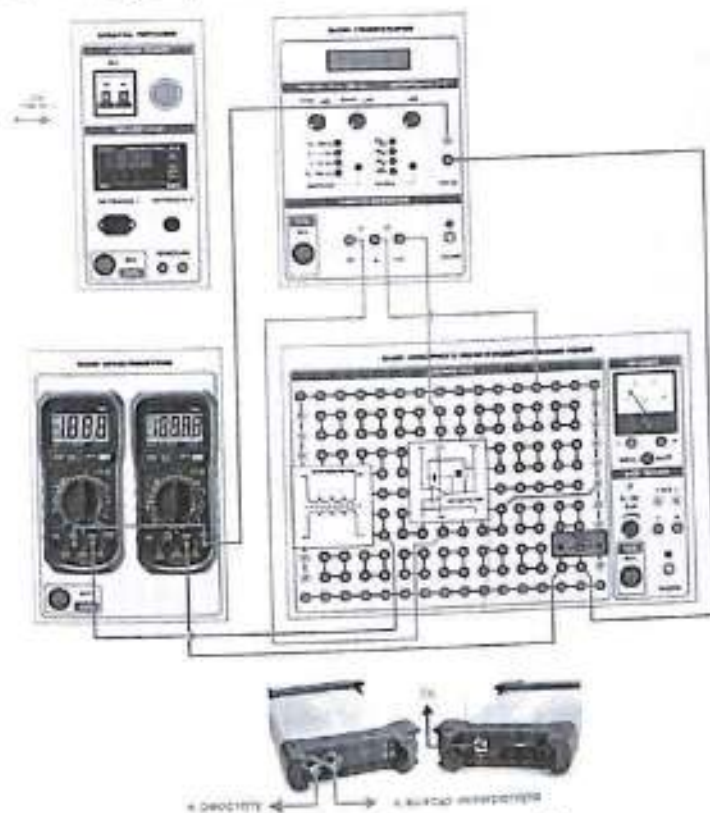
$$w = \oint B dH = m \cdot n \oint y \cdot dx = m n S_p \quad (9.11)$$

bu yerda:  $S_p$  – gisterezis halqasining yuzasi,  $\text{mm}^2$  da ifodalangan;  $x$  va  $y$  qiymatlari ossillograf shkalasining mos ravishda gorizonta va vertikal o'qlari bo'yicha kichik sonlar orqali ifodalangan. Demak, qayta magnitlash energiyasi halqa yuzasi va o'lchov tizimi parametrlariga bog'liq bo'ladi.

#### Uskunaning tavsifi

Uskunaning ulanish sxemasi 9.3-rasmda keltirilgan. Birlamchi ( $N_1$ ) va ikkilamchi ( $N_2$ ) o'ramlar halqasimon yadroga o'ralgan bo'lib, bu yadro tadqiqot qilinayotgan ferromagnit materialdan tayyorlangan. O'zgaruvchan tok o'tkaziladigan birlamchi o'ram ferromagnit materialni magnitlash uchun ishlatiladi. Shuningdek, ushbu o'ram parametrlari asosida ossillografning  $X$  o'qi shkalasini sozlash orqali magnit maydon kuchlanganligi  $H$  aniqlanadi. O'zgaruvchan magnit maydonda  $H$  qiymatini real vaqt rejimida o'lchash uchun,  $X$  kirishiga reostat  $R_1$  orqali signal

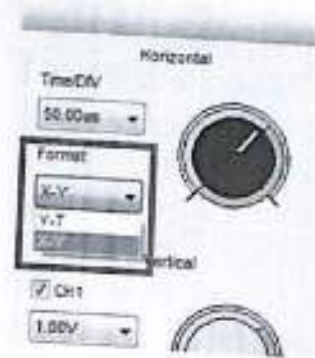
uzatiladi. Ikkilamchi  $g'$  altak esa yadro ichidagi magnit maydonning magnit induksiyasi  $B$  ning real vaqt qiymatini aniqlash uchun mo'ljallangan. Shu maqsadda  $Y$  kirishiga tok integratoridan kelayotgan kuchlanish uzatiladi. Maxsus shakldagi signal generatori rejimi – sinusoidal signal (signal shakli indikatorida «~» belgisi yonadi).



9.3-rasm Ulanish sxemasi

#### Ish bajarish tartibi: O'lchovlarni bajarish

1. Elektr zanjirni 2.9.3-rasmda keltirilgan ulanish sxemasi asosida yig'ing.
2. Zanjirga elektr ta'minotini ulang. Buning uchun «TARMOQ» modulidagi tugmachali kalitlarni «YOQILDI» holatiga o'tkazing.



3. Ossilografni ishga tushiring. Dasturiy oynada «X-Y» rejimini tanlang, bunda birinchi kanal gorizontalar tarqatuvchi rejimda ishlaydi. Elektron nurni ekran markaziga joylashtiring. Tok integratori tarkibidagi S2 kalitni yoping (ya'ni «Tiklash» holatiga o'tkazing). «Generatorlar bloki» modulida chiqish signalining shakli va chastota diapazonini tanlash uchun tugmachalardan foydalaning: signal shakli sifatida «~» va chastota diapazoni sifatida «0,1...1 kHz» ni tanlang. «katta qadamli» va «Aniq» regulyatorlar yordamida chiqish chastotasini 500 Hz ga teng qilib sozlang.

4 «Generatorlar bloki» modulidagi «Chiqish» regulyatori yordamida, PA1 multimetr ko'rsatkichlariga tayangan holda, toroidning birlamchi o'ramidan o'tayotgan tokni bosqichma-bosqich oshiring. Tokning ortishi natijasida gisterzis halqasi shunday shaklga keladiki, undan keyingi tok ortishlari halqa yuzasining oshishiga olib kelmaydi. Bu gisterzisning to'yingan holati deb yuritiladi. Shu holatda «Reostat» modulidagi qarshilikni va ossilografning «Kuchaytirish» regulyatorini moslab, gisterzis halqasining maksimal o'lchamlarini ossilograf ekraniga sig'diring.

5. Gisterzis halqasining cho'qqisidagi gorizontalar koordinata -  $x_{max}$ , ossilograf ekranining X o'qi uzunligiga teng bo'lishi uchun I tok qiymatini mos ravishda tanlang. O'lchangan I (tokning effektiv qiymati) va  $x_{max}$  (mm) qiymatlarini 9.1-jadvalga qayd eting.

**9.1-jadval**

$N_1$	I	I	$x_{max}$	$N_2$	S	R	$\gamma$	K	I	N	m
	MM	mA	M		M <sup>2</sup>	kOhm	R/B	B/ $\Delta$	MM	A/M-MM	mT· $\lambda$ /MM

6. 9.1-jadvalga uskuna va tadqiq qilinayotgan namunaga oid quyidagi parametrlari kiritilsin: •  $N_1$  va  $N_2$  - mos ravishda birlamchi va ikkilamchi g'altakdagi o'ramlar soni;

• I - yadro ning o'rta o'qli chizig'ining uzunligi; • S - yadro kesim yuzasi; • R - ikkilamchi o'ram zanjirining qarshiligi; •  $\gamma$  - tok integratorining doimiysi

( $\gamma = 23,7 \cdot 10^{-6}$  Kl/V); •

7. Gisterzis halqasining chegaraviy oskillogrammasini qog'ozga ko'chirib chizing.

8. Gisterzis halqasining musbat va manfiy koordinatalarini o'lchang, ular quyidagi fizik kattaliklarga mos keladi:  $H_c$  - magnitsizlantruvchi kuchlanganlik; •  $B_r$  - qoldiq magnit induksiya; •  $H_c$  - to'yinish kuchlanganligi; •  $B_s$  - to'yinish induksiyasi (qarang: 9.1-rasm).

**9.2-jadval**

Kattalik	Koordinatalar, mm +x / +y	Koordinatalar, mm -x / -y	O'rtacha qiymat $\bar{x} / \bar{y}$	Kattalik qiymati
$H_c$				
$B_r$				
$B_s$				
$H_s$				
w				

Izoh:  $S_p = \dots$  mm<sup>2</sup>;  $w = \dots$  J/m<sup>2</sup>;  $W = w$ ;  $LS = \dots$  J

9. Buning uchun signalning maxsus shakliga ega bo'lgan generatorning «Chiqish» regulyatori yordamida birlamchi o'ramdagi tok I ni bosqichma-bosqich kamaytiring va uni nolga tenglang. Bunda gisterzis halqasining yuzasi nuqta kattaligigacha qisqaradi, ushbu nuqtani ekran markaziga joylashtiring.

10. Birlamchi o'ramdagi tokni oshirib boring (taxminan 2 mA qadam bilan, agar tok 10 mA dan katta bo'lsa - taxminan 5 mA qadam bilan) va ossilograf ekranida bir qator qisman gisterzis sikllarini hosil qiling. Oxirgi sikl ferromagnitning to'yinganlik holatiga mos kelishi lozim. Har bir tok qiymatiga mos ravishda gisterzis halqasining cho'qqi koordinatalari -  $x_{max}$  va  $y_{max}$  ni o'lchang. O'lchov natijalarini 9.3-jadvalga yozib boring.

**9.3-jadval**

$N_2$	$x_{max}$ , MM	$y_{max}$ , MM	H, A/m	B, mT	$\mu_r$
1					
2					
...					

11. Modullar va oskillografiyning quvvat manbasini o'chiring. 9.1-jadvaldagi ma'lumotlar asosida 9.4 va 9.10 formulalardan foydalangan holda  $n$  va  $m$  koeffitsiyentlarini hisoblang:

$$n = \frac{\sqrt{2} I N_1}{l x_{max}} = \dots A / (m + mm)$$

$$m = \frac{\gamma R_2}{N_2 S_{td}} * K = \dots mTl/mm$$

**O'lov natijalarini qayta ishlash**

1. 9.1-jadvaldagi ma'lumotlar asosida 9.4 va 9.10 formulalardan foydalangan holda  $n$  va  $m$  koeffitsiyentlarini hisoblang;

2. Hisoblash natijalarini 9.1-jadvalga yozing.

3. 9.2-jadvaldagi ma'lumotlar asosida tadqiq qilinayotgan magnit materialning gisterezis petlasi parametrlari -  $H_c$ ,  $B_r$ ,  $H_s$ ,  $B_s$  ni 9.3 va 9.9 formulalardan foydalanib hisoblang:

$$H = nx = \dots \frac{A}{m}$$

$$B = my = \dots mTl$$

4. Hisoblash natijalarini 9.2-jadvalga yozing.

5. Gisterezis xalqasi oskillogrammasi asosida uning yuzasini  $S_n$  mm<sup>2</sup> da baholang. So'ngra 9.11 formula yordamida ferromagnit materialning qayta magnitlanishiga sarflanadigan birlik hajmga to'g'ri keluvchi energiyani  $w$  ni hisoblang:

$$w = m n S_p = \dots J/m^3$$

6. Hajmi ( $V$ ) bo'lgan namunani qayta magnitlash uchun bir to'liq sikl davomida sarflanadigan energiya quyidagi ifoda yordamida baholanadi:

$$W = wV = wIS = \dots Dj$$

Hisoblash natijalarini 9.2-jadvalga yozing

7. 9.3-jadvaldagi har bir  $x$  va  $y$  qiymat juftligi uchun 9.3 va 9.9 formulalardan foydalanib  $H$  va  $B$  qiymatlarini hisoblang hamda magnit singdiruvchanlik -  $\mu_r$  ni aniqlang.

Buning uchun quyidagi ifodadan foydalaning:  $B = \mu_0 \mu_r H$

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

8. Doimiy magnit singdiruvchanlikning qiymati:  $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} H/m$ .

9. Hisoblash natijalarini 9.3-jadvalga yozing.

10. 9.3-jadval asosida quyidagi grafiklarni tuzing:

a)  $B = f(H)$  - asosiy magnitlanish egri chizig'i;

b)  $\mu_r = f(H)$  - magnit singdiruvchanlikning kuchlanishga bog'liqlik

grafigi.

11. Ish yakunida quyidagi jihatlarni tahlil qiling:

a) Asosiy magnitlanish egri chizig'ining shaklini  $\mu_r = f(H)$  grafigidagi maksimum holati bilan taqqoslang;

b) Olingan grafiklarni nazariy va tajriba asosida ma'lum bo'lgan egri chiziqlar bilan solishtiring;

c)  $B_r$  va  $B_s$  qiymatlarini taqqoslash asosida, yadroning magnit xossalari - magnit yumshoq yoki magnit qattiq ekanligini aniqlang.

**Nazorat savollari**

1. Ferromagnitlar uchun  $B = f(H)$  va  $\mu_r = f(H)$  grafiklarini quyidagi holatlar uchun ko'rsating:

a)  $T < T_c$  (Kyuri haroratidan past);

b)  $T > T_c$  (Kyuri haroratidan yuqori).

2. Asosiy magnitlanish egri chizig'i bilan gisterezis xalqasi o'rtasidagi farq nimada?

3. Ferromagnitlarning xarakterli xossalari va ularning magnitlanishdagi o'ziga xosliklarini ayting.

4.  $H$  kuchlanish ortishi bilan ferromagnitdagi domen tuzilmasining o'zgarishini tasvirlab bering.

5. Quyidagi kattaliklar qanday omillarga bog'liq:

a) Toroidning magnit maydon kuchlanganligi  $H$ ;

b) Ferromagnit toroidning magnit induksiyasi  $B$ ;

c) Yadro materialining magnit singdiruvchanligi  $\mu_r$ .

6. Qaysi formulalar  $B$  va  $H$  ning boshqa fizik kattaliklarga bog'liqligini ko'rsatadi?

7. Quyidagi kattaliklarni aniqlash uchun qaysi kattaliklar va formulalar qo'llaniladi:

a) Yadrodagi magnit maydon kuchlanishi  $H$ ;

b) Magnit induksiya  $B$ ;

c) Yadro materialining magnit singdiruvchanligi  $\mu_r$ .

8. Quyidagi elementlarning ulanish usuli va vazifasini ayting:
- Birlamchi o'ramdagi  $R_1$  qarshilik;
  - Ikkilamchi o'ramdagi tok integratori.
9. Birlamchi o'ramdagi tok qiymati (ampermetr bilan o'lchanadigan) nima uchun kerak?
10. Osillografning X va Y kirishlaridagi  $U_x$  va  $U_y$  kuchlanishlari qanday kattaliklarga proporsional o'zgaradi?
11. Quyidagi parametrlarni aniqlash uchun gisterezis xalqasi grafikidagi qaysi nuqtalarning koordinatalari ishlatiladi:
- $H_c$ ,  $B_r$ ,  $H_s$  va  $B_s$  parametrlarini aniqlash;
  - $B = f(H)$  egri chizig'ini qurish uchun.
12. Quyidagi fizik kattaliklar bu ishda qanday formulalar orqali aniqlanadi:
- Qoldiq induksiya  $B_r$ ;
  - magnitsizlantruvchi kuchlanganlik  $H_c$ ;
  - Yadro materialining magnit singdiruvchanligi  $\mu_r$ .

## 10-LABORATORIYA ISHI

### «FERROMAGNETIKNING KYURI NUQTASI VA MAGNIT MOMENTINI ANIQLASH»

#### Maqsad:

Ferromagnetikda magnit maydon induksiyasining haroratga bog'liqligini o'rganish, Kyuri nuqtasini aniqlash va ferromagnetik molekulasining magnit momentini hisoblash.

#### Jihozlar:

• Modulalar: «Ta'minot moduli», «Generatorlar bloki», «Multimetrlar bloki», «Maydonlarni yig'ish va modellashtirish bloki»; • Mini-bloklar: «sitgich», «Kyuri nuqtasi».

#### Kirish

Har qanday modda magnit xossaga ega bo'lib, tashqi magnit maydon ta'sirida magnitlanishga qodirdir. Moddalarning magnitlanishini tushuntirish uchun modda molekulalarida doira shaklida aylanadigan toklar (mikrotoklar) mavjud deb hisoblanadi.

Tashqi maydon bo'lmagan holatda ( $H^* = 0$ ) molekulyar toklar betartib yo'nalishda joylashgan bo'ladi. Magnit maydon ta'sirida esa molekulalarning magnit momentlari muayyan yo'nalishda joylashadi – modda magnitlanadi. Magnitlarning magnitlanishini hajm birligiga to'g'ri keladigan magnit momenti bilan ifodalash qabul qilingan. Bu kattalik magnitlanish vektori (yoki magnitlanish) deb yuritiladi:

$$\vec{J} = \frac{\sum \vec{p}_m}{\Delta V} \quad (10.1)$$

Bu yerda  $p_m = IS$  - mikrotokning magnit momenti, bu yerda yig'indilash  $\Delta V$  hajm bo'yicha amalga oshiriladi. Magnitlanish vektorining qiymati magnitlovchi maydonning kuchlanganligiga bog'liq bo'ladi.

$$\vec{J} = \chi H \quad (10.2)$$

Bu yerda  $\chi$  – magnit kirituvchanlik bo'lib, u moddaning tabiati bilan belgilanadi.

Shunday qilib, magnitlarning magnit maydonini tavsiflashda uchta vektordan foydalaniladi:

- magnitlanish vektori ( $\vec{J}$ )

• Magnit maydon kuchlanganligi vektori ( $\vec{H}$ )

• Magnit induksiya vektori ( $\vec{B}$ )

Ular quyidagi munosabat bilan o'zaro bog'langan:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{j} \quad (10.3)$$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \chi \vec{H}) = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} = \mu_r \mu_0 \vec{H} \quad (10.4)$$

$1 + \chi$  qiymati moddaning nisbiy magnit o'tkazuvchanligi deb ataladi.

Moddalar magnit maydon yo'nalishida ( $\chi > 0$ ) yoki unga qarshi ( $\chi < 0$ ) magnitlanishi mumkin.

Magnit kirituvchanlikning ishorasi va qiymatiga qarab barcha magnitik moddalar quyidagi uch guruhga bo'linadi:

- 1) Diamagnitlar – bu moddalar uchun magnit kirituvchanlik  $\chi < 0$  va u mutlaq qiymat jihatidan juda kichik ( $\sim 10^{-6}$ );
- 2) Paramagnitlar – bu moddalar uchun  $\chi > 0$  ( $\sim 10^{-5} \dots 10^{-3}$ );
- 3) Ferromagnitlar – ular uchun  $\chi \gg 1$  bo'lib, juda katta qiymatlarga ( $\sim 10^2 \dots 10^6$ ) yetadi.

Ferromagnitlarning xossalari atomdagi elektronlarning orbitaviy harakati (molekulyar toklar) bilan tushuntirib bo'lmaydi.

Olimlar atom ichida orbitaviy harakatdan tashqari boshqa turdagi harakat mavjud degan taxminga kelishgan bu harakat natijasida mexanik va magnit momentlar hosil bo'ladi.

Dastlab bu tushuncha elektronning o'z o'qi atrofida aylanishiga (ya'ni spiniga) bog'liq deb qaralgan. Elektronning ushbu o'ziga xos mexanik momenti spin deb ataladi.

Kvant mexanikasining rivojlanishi shuni ko'rsatdiki, mexanik modellarni atom miqyosiga to'g'ridan-to'g'ri ko'chirish mumkin emas.

Bugungi kunda elektron elementar zarracha sifatida qaraladi: u zaryadga, massaga, shuningdek o'zining ichki mexanik va magnit momentiga ega.

Ferromagnit xossalari elektronlarning o'ziga xos magnit momentlarining magnit maydon bo'yicha qat'iy yo'nalishi bilan izohlanadi.

Tashqi magnit maydon o'chirilgan taqdirda ham bu yo'nalish saqlanib qoladi.

Spinning qat'iy yo'nalganligi almashinish kuchlari bilan bog'liq.

Ushbu kuchlar kichik sohalarda – domenlar ichida o'z-o'zidan yuzaga keladigan to'liq namagnitlanishga olib keladi.

Bu yo'nalish Kyuri haroratigacha issiqlik harakati ta'sirida buzilmaydi.

Tashqi tomondan magnitlanmagan ferromagnit modda namunasi, aslida to'liq magnitlangan domenlardan tashkil topgan bo'ladi.

Domenlarning o'lchami moddaning kimyoviy tarkibi, namunaviy shakli, kristall strukturasi nuqsonlar kabi omillarga bog'liq. Domen hajmi taxminan  $V \sim 10^{-3} \text{ nm}^3$  bo'lib, ularda juda ko'p atomlar mavjud bo'ladi - bu makroskopik tuzilmalar dir. Domenlarning hosil bo'lish sababi sistemaning potensial energiyasini minimal holatga keltirishga intilishidir.

Ferromagnit xossalarning mavjud bo'lishi uchun moddaning tuzilishida to'liq to'lmagan d- yoki f-orbital bo'lishi lozim. Masalan, temir (Fe) atomining orbital bo'yicha elektron taqsimoti quyidagicha:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$

Maksimal 10 ta d-elektron bo'lishi mumkin. Shuning uchun elektronlarning spini faqat 3d orbitada to'liq kompensatsiyalanmagan bo'ladi bu esa ferromagnit xossani temirda aynan shu orbitadagi elektronlar bilan bog'laydi. Temirdan tashqari, kobalt, nikel, f-elementlar va ba'zi o'tish d- va f-elementlar aralashmasi ham sof ferromagnitik moddalar sirasiga kiradi. Ferromagnitlarning tuzilishi magnit maydon kuchlanishi va haroratga bog'liq holda ularning fizik xossalari murakkab noxiziq o'zgarishlarni yuzaga keltiradi. Har bir ferromagnit modda uchun muayyan Kyuri harorati ( $T_k$ ) mavjud. Ushbu haroratda domenlardagi o'z-o'zidan hosil bo'lgan magnitlanish yo'qoladi va modda ferromagnitlik xossasini yo'qotib, paramagnitga aylanadi.

### Kyuri harorati

Kyuri nuqtasi - bu ma'lum bir harorat ( $T_k$ ) bo'lib, undan yuqori haroratda ferromagnit moddadagi har bir domenning magnitlanish darajasi nolga tenglashadi. Bu holatning sababi - molekullarning issiqlik harakati ta'sirida yuzaga keladigan tartibsizlik, ya'ni domenlarning magnit momentlarining o'zaro yo'nalishini buzuvchi haroratli harakatdir. Natijada modda ferromagnit holatdan paramagnit holatga o'tadi. Toza ferromagnit materiallar uchun Kyuri haroratining qiymatlari 10.1-jadvalda keltirilgan.

### Toza ferromagnit moddalarning Kyuri harorati

10.1-jadval.

Metallar	$T_k, K$
Fe (Temir)	1044
Co (Kobalt)	1360-1388
Ni (Nikel)	627
Gd (Gadoliniiy)	293
Tb (Terbiy)	219

Kyuri nuqtasi  $T_k$  dan pastga harorat pasaygani sari ferromagnit moddaning magnitlanishi  $J$  ortib boradi. Buning sababi shundaki, har bir domen ichida molekullarning magnit momentlari o'zaro parallel yo'nalishga intiladi.

Agar harorat yetarlicha past bo'lsa, barcha domenlardagi magnit momentlar tashqi magnit maydon yo'nalishi bo'yicha to'liq tartiblanadi — bu holat magnit to'yinganlik (magnitlanish) deb ataladi. Bu holatda moddaning magnitlanishi  $J_s$  maksimal qiymatga ega bo'ladi. Magnitlanishning bu maksimal qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$J_s = n p_m \quad (10.6)$$

bu yerda:

- $n$  — ferromagnit moddaning molekullar soni konsentratsiyasi (birlik hajmdagi molekullar soni);
- $p_m$  — bitta molekulaning magnit momenti.

Qat'iy termodinamik nuqtayi nazardan, to'liq magnit to'yinganlik 10.6 formulasi asosida faqat  $T = 0 K$  da amalga oshadi.

10.3-ifodaga muvofiq, magnit to'yinganlikdagi magnitlanish qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$J_s = \frac{1}{\mu_0} B_s - H_s \quad (10.7)$$

$$\vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H} \quad \frac{\vec{B}}{\mu_0} = \mu_r \vec{H}$$

Magnit to'yinganlik holatida  $\mu = 1 + \chi \approx 10^2 - 10^3$  bo'lgani sababli, quyidagi nisbat o'rinli bo'ladi:  $\frac{\vec{B}}{\mu_0} \gg \vec{H}$

Bu shart bajarilganda, magnit kuchlanganlikning to'yinganlik qiymati ( $H_s$ )

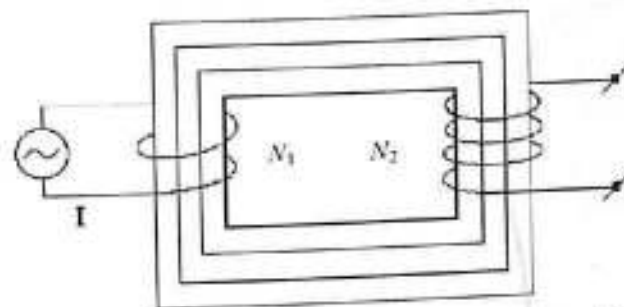
ni e'tibordan chetda qoldirish mumkin.

$$J_s \approx \frac{1}{\mu_0} B_s \quad (10.8)$$

"S" indeksi — bu qiymatlar ferromagnit moddaning to'yinganlik holatiga tegishli ekanligini bildiradi.

Magnit induksiya to'yinganlik qiymati ( $B_s$ ) ni uning haroratga bog'liqlik grafigi  $B_s = f(T)$  ning past haroratlar sohasida ekstrapolyatsiya qilish orqali aniqlash mumkin.

Ish bajarish tartibi



10.1-rasm. Magnit induksiya chiziqlarining ferromagnit markazidagi yo'nalishi

Ferromagnitdagi magnit maydon induksiyasini aniqlash usulini tavsiflaymiz. Ushbu ishda transformatoridagi yon qismi materiali o'rganiladi. Unga birlamchi (magnitlovchi) chulg'am orqali tok o'tkazilganda, modda magnitlanadi.

Magnit induksiya chiziqlari to'liq asosning ichidan o'tadi (10.1-rasm). Bunday holatda ferromagnitdagi magnit maydon kuchlanganligi magnitlovchi toklar hosil qilgan maydon kuchlanganligiga teng bo'ladi.

Magnit maydon kuchlanganligini aniqlash uchun solenoid (g'altak) uchun ishlatiladigan quyidagi formula qo'llaniladi:

$$H = \frac{IN_1}{l} = I n_1 \quad (10.9)$$

bu yerda:

- $N$  — birlamchi chulg'amdagi o'ramlar soni;
- $I$  — chulg'amdan o'tuvchi tok (amper);

Bu yerda:

- $I$  — tok kuchi (amper);

- $N_1$  — birlamchi chulg'amdagi o'ramlar soni;
  - $n_1 = N_1 / l$  — chulg'am birlik uzunlikga to'g'ri keladigan o'ramlar soni.
- Magnitlovchi chulg'am orqali o'zgaruvchan tok oqayotgan holatda:  
 $I = I_{max} \sin(\omega t)$ ,  $\omega = 2\pi\nu$ ,  $\nu = 50$  Hz. Ferromagnit yadro kesimini kesib o'tuvchi magnit oqimi ham sinusoidal qonunga bo'ysunadi:

$$\Phi = \Phi_{max} \sin(\omega t) \quad (10.10)$$

bu yerda:

- $\Phi_{max}$  - magnit oqimning maksimal qiymati;
- $B_{max}$  - magnit induksiyaning maksimal qiymati;
- $S$  - kesim yuza.

Bu qiymat quyidagicha ifodalanadi:

$$\Phi_{max} = B_{max} \cdot S \quad (10.11)$$

Shunda transformatoridagi ochiq (ya'ni, zanjirga ulanmagan) ikkilamchi chulg'amda, o'ramlar soni  $N_2$  bo'lgan holatda, EYuK hosil bo'ladi.

$$E = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \frac{d}{dt} (\Phi_{max} \sin \omega t) = -N_2 \Phi_{max} \cos \omega t = -N_2 B_{max} S \cos \omega t \quad (10.12)$$

$$E_{max} = N_2 \omega B_{max} S \quad (10.13)$$

$$B_{max} = \frac{E_{max}}{N_2 \omega S} \quad (10.14)$$

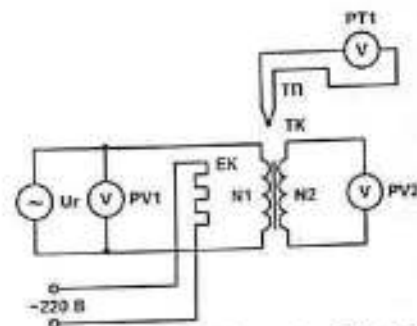
Bu yerda:

- $\omega = 2\pi\nu$ ,  $\nu = 50$  Hz O'lchov chulg'amiga  $N_2$  o'ramli o'ralgan holda ulangan voltmetr kuchlanishning amplituda qiymatini emas, balki uning effektiv qiymatini ko'rsatadi:  $U_{eff} \approx E_{eff}$  bo'lsa, u holda quyidagi tenglik o'rinli bo'ladi:

$$B_{max} = \frac{U_{eff} \sqrt{2}}{2\pi\nu N_2 S} \quad (10.15)$$

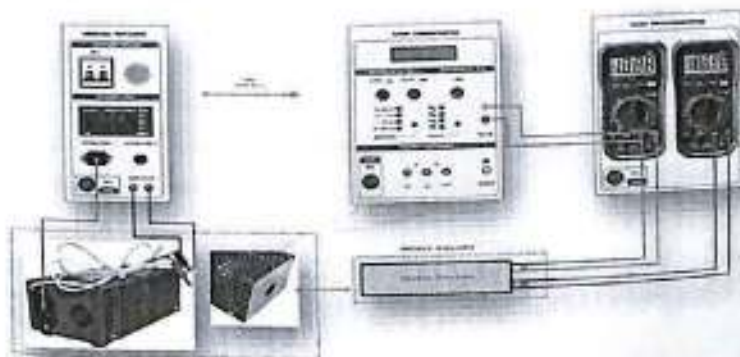
#### Uskunani tavsifi

Ushbu ishda Kyuri nuqtasini aniqlash uchun maxsus tajriba uskunasi foydalaniladi. Uskunaning prinsipial elektr sxemasi 10.2-rasmda keltirilgan. Uskunadagi elementlar o'zaro ulanish sxemasi 10.3-rasmda ko'rsatilgan.



10.2-rasm. Ferromagnit moddada Kyuri nuqtasini aniqlash uchun mo'ljallangan tajriba uskunasining prinsipial elektr sxemasi

- $U_g$  — maxsus shakldagi signal generatori;
  - PV1 — «Generatorlar bloki» modulidagi strelkali voltmetr (ish rejimi tanlash tugmasi «Tashqi» holatiga o'rnatiladi);
  - EK — issiqlik elementi (isitgich);
  - TK — «Kyuri nuqtasi» mini-bloki, tarkibida:
    - $N_1$  — birlamchi chulg'am;
    - $N_2$  — ikkilamchi chulg'am;
  - PV2 — voltmetr (multimetr) doimiy kuchlanishni o'lchash rejimida (kontaktlar: COM,  $V\Omega$ );
  - TP — termojuft (termopara);
  - RT1 — haroratni o'lchash rejimidagi multimetr (kontaktlar: TEMP + / -).
- Tadqiq qilinayotgan namunaviy material marganets temir asosidagi transformator asosi bo'lib, u temirdan farqli o'laroq past Kyuri haroratiga ega. Shu sababli u laboratoriya sharoitida Kyuri nuqtasini aniqlash tajribalarida qulay foydalaniladi.



### 10.3-rasm. Uskuna elementlarining o'zaro ulanish sxemasi

Tajriba qurilmasi konstruktsion jihatdan isitgichdan iborat bo'lib, uning ichki qismiga tadqiq qilinayotgan namunaviy element – ferromagnit yadroga ega transformator joylashtirilgan. Transformator ikkita chulg'amga ega: birlamchi (magnitlovchi)  $N_1$  va ikkilamchi (o'lchov)  $N_2$ .

Birlamchi chulg'amdagi kuchlanish qiymati PV1 voltmetri yordamida aniqlanadi (tajriba davomida u doimiy saqlanadi). Ikkilamchi chulg'amda induksiya natijasida hosil bo'ladigan kuchlanish esa PV2 voltmetri orqali qayd etiladi.

Isitgich ichiga joylashtirilgan termojuft (termopara) yordamida harorat  $t$  aniqlanadi. Termoparaning signali analogo-raqamli o'zgartirgichli o'lchov asbobiga (temperaturani o'lchash rejimidagi multimetr) uzatiladi va natija Selsiy darajasida qayd etiladi. O'lchov aniqligi  $\pm 1^\circ\text{C}$  ni tashkil etadi.

Namuna Kyuri haroratiga yetganda, uning magnit xossalari o'zgaradi, buning natijasida ikkilamchi chulg'amdagi EYuK keskin kamayadi. Bu holat PV2 voltmetri orqali aniqlanadi.

#### Ishni bajarish tartibi

1. Tajribani boshlashdan avval qurilmaning prinsipial elektr sxemasi (10.2-rasm) va ulanish sxemasi (10.3-rasm) bilan tanishib chiqing. Tarmoq kabelining butligini tekshiring.
2. Qurilmani  $\sim 220$  V kuchlanish manbaiga ulang. "Tarmoq" tugmasini "YONDI" holatiga o'tkazing. Bu vaqtda signalli indikator chirog'i yonishi kerak.
3. Qurilmaning ishga tayyor holatga kelishi uchun uni bir necha daqiqa davomida qizdiring.
4. "Generatorlar bloki" modulida signal shakli va chastotasini tanlang: "..." va "0,1...1 kGts". "katta qadamli" va "Aniq" regulyatorlari yordamida signal chastotasini 50 Gts ga sozlang. Chiqarish amplitudasini o'qituvchi ko'rsatmasiga muvofiq "Chiqarish" regulyatori yordamida belgilang.
5. RT1 multimetrdan foydalanib, isitgich harorati  $t$  ni qayd eting. PV1 multimetr orqali birlamchi chulg'amdagi kuchlanishni  $U_1$  o'lchang. Natijalarni 10.1-jadvalga yozing.

10.1-jadval

$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{K}$	$U_1, \text{B}$	$U_2, \text{B}$	$B_{\text{max}}, \text{TA}$

6. Kuchlanish  $U_2$  ning harorat  $t$  ga bog'liqligini aniqlang. O'lchovlarni har  $2-5^\circ\text{C}$  oraliqda qayd etib boring. O'lchashni pech harorati  $t \approx 28-30^\circ\text{C}$  ga yetganda boshlang va  $t \approx 75^\circ\text{C}$  gacha davom ettiring. Natijalarni 10.1-jadvalga yozing.

7. Tajriba yakunida «Tarmoq» tugmasini «O'CHIRILDI» holatiga o'tkazing. Bu vaqtda indikator chirog'i o'chishi kerak.

#### Uskunaga oid ma'lumotlar

- Ikkilamchi chulg'amdagi o'ramlar soni:  $N_2 = 500$
- Ta'minot chastotasi:  $\nu = 50$  Gts
- Yadroning kesim yuzasi:  $S = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- Birlamchi chulg'amdagi kuchlanish:  $U_1 = \dots$
- Ferromagnit molekularining konsentratsiyasi:  $n = 1,4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$

#### O'lchov natijalarini qayta ishlash

1. Haroratni Kelvinga o'tkazing va 10.1-jadvalga kiriting:  $T[\text{K}] = t[^\circ\text{C}] + 273$
2.  $U_2 = f(T)$  – ikkilamchi chulg'am kuchlanishining haroratga bog'liqlik grafigini chizing.
3. Har bir harorat qiymati uchun 10.15 formulaga asosan  $B_{\text{max}}$  ni hisoblang va jadvalga yozing.
4.  $B_{\text{max}} = \varphi(T)$  grafigini 0 K dan boshlab chizing.
5.  $B_{\text{max}} = f(T)$  grafigini tayyorlab  $B_s$  – magnit induksiya to'yinganlik qiymatini aniqlang.
6. 10.8- formulaga asosan  $J_s$  – magnitlanish to'yinganlik qiymatini hisoblang.
7. 10.6- formulaga asosan  $p_m$  – molekulaning magnit momentini hisoblang. Bu qiymatni Borga magnitoni  $M = 0,927 \cdot 10^{-23} \text{ A} \cdot \text{m}^2$  bilan taqqoslang.
8. Formulaga (10.16) asosan birlamchi chulg'amdagi o'ramlar sonini aniqlang:  $N_1 = \dots$

9.  $l = 1,0$  sm va  $R = 1000$  Om deb olib tokni hisoblang. So'nra 10.9 formulaga asosan  $H_{max}$  – magnit maydon kuchlanganligini toping.

10. Boshlang'ich haroratda ferromagnit moddaning magnit singdiruvchanligi ni aniqlang.

12. Oddiy metodlar yordamida magnit singdiruvchanlikni aniqlashdagi xatolikni hisoblang.

#### Nazorat savollari

1. Tokli kontur magnit momenti deb nimaga aytiladi?
2. Elektronning orbitaviy magnit momenti nima? U elektron zaryadi va orbitaning radiusi bilan qanday bog'langan?
3. Ushbu ishda modda atomlarining magnit momenti qanday aniqlanadi?
4. Moddaning magnitlanishi tushunchasiga ta'rif bering. U magnit maydonning qaysi xossalari bilan bog'liq? Paramagnit modda misolida namagnitlanish sababini tushuntiring.
5. Ferromagnit moddalarda magnit sezuvchanlik va magnit singdiruvchanlikning yuqori bo'lishi nima bilan izohlanadi?
6. Domen nima? Domenlarning hosil bo'lishiga nima sabab bo'ladi? Qanday moddalar domenli tuzilishga ega?
7. Ferromagnitlarning xossalari haroratga qanday bog'liq? Kyuri nuqtasi nima?
8. Ushbu laboratoriya ishida magnit induksiyasini aniqlash metodikasini tushuntiring.

## 11-LABORATORIYA ISHI "TEBRANUVCHI KONTURDA SO'NUVCHI ELEKTR TEBRANISHLARNI O'RGANISH"

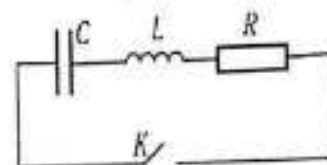
**Maqsad:** So'nuvchi elektr tebranishlarini o'rganish hamda tebranuvchi konturning quyidagi asosiy xususiyatlarini o'lchash: tebranish davri  $T$ , so'nishning logarifmik dekrementi  $\lambda$ , va kontur uchun kritik qarshilik  $R_{kr}$ .

**Kerakli jihozlar:** Modul: "Ulanadigan maydonlar bloki va maydonlarni modellashtirish qurilmasi"; Mini-bloklar: "Tugma (kalit)", "10 Om li rezistor", "100 Om li rezistor", "2 mF kondensator", "1 mF kondensator", "Induktivlik  $L_x$ "; Osillograf.

So'nuvchi tebranishlar tasviri DSO tipidagi osillograf ekranida kuzatiladi, u tegishli sxema bo'yicha ulangan (11.1-rasmga). Uskunaning ishlash prinsipi shundan iboratki, kondensator zaryadlanganda tebranuvchi konturda hosil bo'lgan so'nuvchi tebranishlar kuzatilib, kontur xususiyatlari o'zgartirilganda uning fizikaviy xususiyatlari o'rganiladi.

#### Kirish

Tebranuvchi kontur - bu elektr zanjiri bo'lib (11.1-rasmga qarang), uning tarkibida induktivlik  $L$  va sig'im  $C$  mavjud.

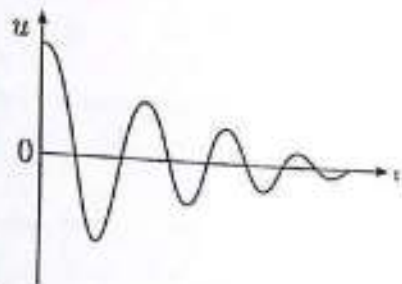


11.1-rasm. Tebranuvchi kontur

$C$  - kondensator;  $L$  - induktiv g'altak;  $R$  - aktiv qarshilik;  $K$  - kalit.

Agar kondensator zaryadlanib, unga ma'lum miqdorda energiya uzatilsa va so'ng kalit  $K$  orqali yopilsa, kondensator zaryadini bo'shatishni boshlaydi. Tajriba shuni ko'rsatadiki, zanjirda o'zgaruvchan tok hosil bo'ladi. Buning sababi shundaki, zaryadsizlanish jarayonida o'z-o'zidan induksion elektr yurutuvchi kuch (EYuK) vujudga keladi. Bu EYuK dastlab tokning oshishiga qarshilik qiladi, ammo kondensator to'liq zaryadsizlangach, aynan shu EYuK tokni dastlabki yo'nalishda davom

ettirishga sabab bo'ladi. Natijada kondensator qayta zaryadlanish boshlaydi. Kondensator plastinkalarida maksimal zaryad hosil bo'lgach, yana zaryadsizlanish jarayoni boshlanadi va bu paytda tok yo'nalishini o'zgartiradi.



11.2-rasm. So'nuvchi tebranishlar.

Kondensator zaryadlanganda konturga berilgan energiya issiqlik energiyasiga aylanadi va bu issiqlik rezistorda  $R$  ajralib chiqadi. Shu sababli tebranishlar asta-sekin so'na boshlaydi. 11.2-rasmda vaqt o'tishi bilan kondensator plastinkalaridagi kuchlanishning  $u = q/C$  bo'yicha o'zgarish grafigi ko'rsatilgan.

Kuchlanishning o'zgarish qonuni quyidagi ko'rinishga ega:

$$u(t) = U_m e^{\delta t} \cos(\omega t + \alpha) \quad (11.1)$$

Bu yerda:  $u(t)$  - kuchlanishning ayni vaqtdagi qiymati,  $U_m$  - boshlang'ich amplitudasi,  $\omega$  - so'nuvchi tebranishlarning tebranish chastotasi,  $t$  - zaryadsizlanish boshlangan vaqt,  $\alpha$  - boshlang'ich faza,  $\delta$  - so'nish koeffitsienti.

$$\delta = \frac{R}{2L} \quad (11.2)$$

So'nuvchi tebranishlarning tebranish chastotasi  $\omega$  zanjirning parametrlari - uning induktivligi  $L$ , sig'imi  $C$  va aktiv qarshiligi  $R$  ga bog'liq holda aniqlanadi:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \quad (11.3)$$

bu yerda  $\omega_0$  - konturning xususiy chastotasi,

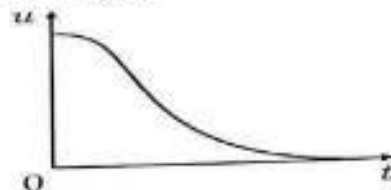
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (11.4)$$

So'nuvchi tebranishlar davri

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{(\frac{1}{LC}) + \delta^2}} \quad (11.5)$$

bu chastota, ya'ni  $\omega$ , so'nmas tebranishlar uchun bo'lgan davr  $T_0 = 2\pi/\omega_0$  dan kichikroq bo'ladi. 11.2 va 11.5 formulalardan ko'rinib turibdiki, bu farq  $\delta$  - so'nish koeffitsienti qancha katta bo'lsa, shuncha sezilarli bo'ladi. Agar  $\delta \ll \omega_0$  (ya'ni so'nish juda kichik bo'lsa), u holda tebranishlar davri quyidagicha aniqlanadi:  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ .

So'nish koeffitsienti  $\delta$  ortib borishi bilan tebranishlar davri ham ortadi va  $\delta = \omega_0$  bo'lganida u cheksizlikka intiladi. Bu esa zanjirdagi tebranishlar tugab, o'rniga kondensatorning tebranishsiz zaryadsizlanishi yuzaga kelishini anglatadi (11.3-rasmga).



11.3-rasm. Tebranishsiz zaryadsizlanish

Bunday zaryadsizlanish yuzaga keladigan kontur qarshiligi kritik qarshilik deb ataladi.  $\delta = \omega_0$  sharti va (11.2), (11.4) formulalarga asoslanib, kritik qarshilik  $R_{kr}$  quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$R = 2\sqrt{L/C} \quad (11.6)$$

Tebranishlarning so'nishini logarifmik dekrement deb ataluvchi kattalik orqali baholanadi:

$$\lambda = \ln(U/U_{t+T}) \quad (11.7)$$

Bu yerda  $U_t$  va  $U_{t+T}$  - vaqt bo'yicha bir davr farq qiluvchi ikkita lahzada o'lgangan kuchlanish amplitudalari.  $T$  tebranishlar qonuniga (11.1 ga) muvofiq quyidagini olamiz:

$$\lambda = \delta T \quad (11.8)$$

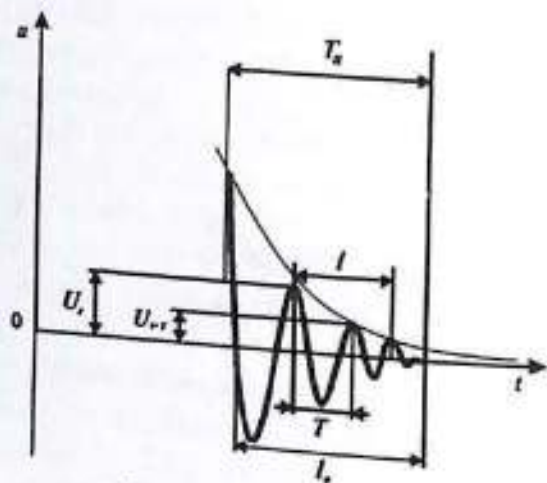
#### O'lchov usuli

So'nuvchi tebranishlarni kuzatish uchun kondensator plastinkalaridagi kuchlanish  $u$  tebranuvchi konturdan osillografning  $Y$  kirishiga uzatiladi. Kondensator doimiy kuchlanish manbai  $E_3$  ga ulangan. Birinchi yarim davr davomida kondensatordagi kuchlanish  $u$  manba EMK'siga teng bo'lganda yarim davrdan so'ng kuchlanish  $u = 0 V$  ga tenglashadi va konturda erkin

so'nuvchi tebranishlar boshlanadi. Ushbu tebranishlarning osillogrammasi 11.4-rasmda ko'rsatilgan.

### So'nuvchi tebranishlar parametrlarini osillogramma orqali o'lchash.

Kondensatordagi kuchlanish amplitudalari  $U_t$  va  $U_{t+T}$  (11.4-rasm), logarifmik dekrement  $\lambda$  ni (7) formula bo'yicha hisoblash uchun zarur bo'lgan qiymatlardir. Ushbu amplitudalarni osillografning Y o'qi shkala bo'linmalari bo'yicha o'lchash mumkin.



11.4-rasm. Osillogramma

Tebranishlar davri  $T$  ni o'lchash uchun, avval osillografning vaqt o'qi oldindan ma'lum bo'lgan  $T_0$  davri asosida kalibrlanadi. Bu jarayonda quyidagilar aniqlanadi:

$$m = \frac{T_0}{T_0} \quad (11.9)$$

X o'qi bo'yicha bir bo'linmaning qiymati ( $s$  bo'linma) vaqtning bir bo'linmaga to'g'ri keluvchi miqdori sifatida aniqlanadi. Natijada, so'nuvchi tebranishlarning o'lchanayotgan davri quyidagicha topiladi:

$$T = \frac{mT}{n} = \frac{T_0}{n}$$

Bu yerda:  $T_0$  - tebranish davriga teng vaqt oralig'iga mos keladigan bo'linmalar soni (11.3 va 11.4-rasmlar);  $n$  - ushbu oralig'da joylashgan to'liq tebranishlar soni.

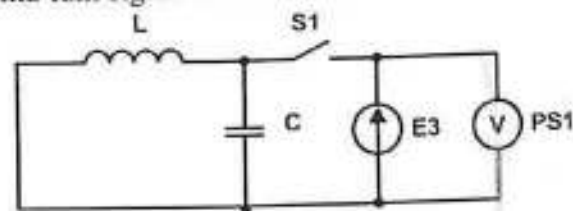
O'lchangan  $\lambda$  va  $T$  qiymatlaridan foydalangan holda (8) formula orqali

so'nish koeffitsienti  $\delta$  ning tajribaviy (eksperimental) qiymati aniqlanadi.

Konturning kritik qarshiligi  $R_{kr}$  tajriba yo'li bilan aniqlanadi buning uchun konturdagi aktiv qarshilik  $R$  oshirilganda  $u(t)$  kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarish grafigi qanday o'zgarishini kuzatish kerak. Kondensatorning tebranishsiz zaryadsizlanish rejimiga o'tganini bildiruvchi belgisi bu  $u(t)$  egri chizig'ining tebranishsiz, ya'ni silliq so'nuvchi ko'rinishda bo'lishidir (11.1-rasmga qarang).

### Uskunani tavsifi

Elektr zanjirining sxemasi 11.5-rasmda, ulanishlar sxemasi esa 11.6-rasmda ko'rsatilgan. Tadqiq qilinayotgan tebranuvchi kontur ketma-ket ulangan elementlardan iborat: ma'lum induktivlikka ega bo'lgan g'altak  $L$ , qarshilik  $R$ , va ma'lum sig'imli kondensator  $C$ .

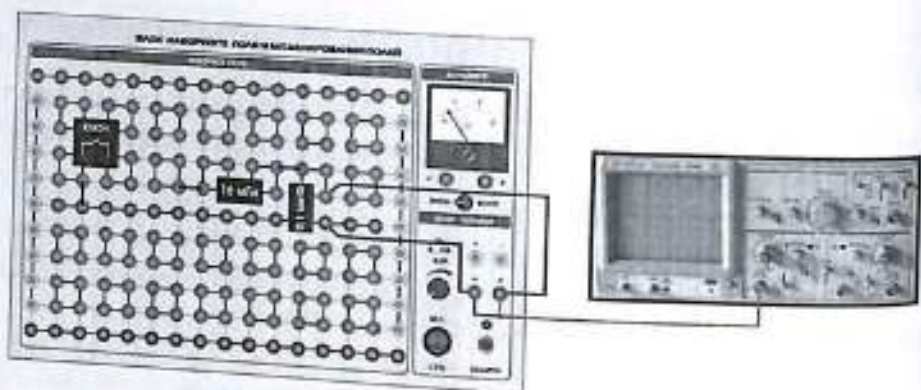


11.5-rasm. Elektr sxemasi

S1 - "Kalit" mini-bloki; L - "Induktivlik  $L_x$ " mini-bloki; C - "2,2 mKf kondensator" mini-bloki; UY - osillografning Y kirishiga beriladigan signal; E3 - 0 dan 15 V gacha sozlanadigan doimiy kuchlanish manbai; PS1 - osillograf.

Tebranuvchi konturdagi kondensatordan olinadigan  $U_Y$  kuchlanishi osillografning Y kirishiga uzatiladi. Osillograf ekraniga tushirilgan shkalali to'r orqali  $u(t)$  funksiyasining asosiy parametrlarini ya'ni so'nuvchi tebranishlarning amplitudasi va davrini o'lchash mumkin bo'ladi.

Osillogramma orqali  $u(t)$  funksiyasini kuzatish jarayonida kondensatorning tebranishli rejimdan tebranishsiz zaryadsizlanish rejimiga o'tishi ham ko'rinadi. Bu holatga erishish uchun konturdagi qarshilik qarshiliklar magazini yordamida oshiriladi.



11.6-rasm. Ulanish sxemasi

Ishni bajarish tartibi

1. Elektr zanjirini 11.6-rasmda keltirilgan ulanish sxemasi asosida yig'ing.
2. Osillografni yoqing va elektron tasvirni ekran markaziga keltiring.
3. Modulni quvvat manbaiga ulang "Tarmoq" tugmachasini "BKJ" holatiga o'tkazing.
4. Osillograf ekranida 11.4-rasmda ko'rsatilgan ko'rinishga ega osillogramma hosil qiling. Egri chiziqning barqaror tasvirini osillografning skanerlash chastotasi va sinxronlash bloki tugmalari yordamida sozlash orqali ta'minlang. Osillogrammaning kerakli o'lchamlarini esa "X kuchaytirish" va "Y kuchaytirish" tugmalari yordamida tanlang. X o'qi bo'yicha kuchaytirishni o'zgartirib,  $l_0$  oraliq ekran to'rining butun kengligini egallashiga erishing.  $l_0$  qiymatini 11.1-jadvalga yozing.

5 11.1-jadvalga konturning quyidagi parametrlari kiritiladi:

L - g'altakning induktivligi, C - kondensatorning sig'imi,  $R_k = 3 \text{ Om}$  g'altakning aktiv qarshiligi.

11.1-jadval Tajriba parametrlari

C, mkF	L, mGn	R, Om	$R_k$ , Om	$l_0$ , s	l, s	n	$U_0, \Delta\theta L$	$U_{t+T}, \Delta\theta L$	Ro'nachas, kOm
0,1	16	470							
1	16	100							
$C_x$	$L_x$	10							

6. Kuchlanish tebranishi  $u(t)$  osillogrammasini osillograf ekranidan qog'oz varag'iga ko'chirib chizing. Ekrandagi koordinata to'ridan yoki lineykadan foydalanib grafikdagi zarur bo'laklarning uzunligini o'lchang.

7.  $l$  va  $l_0$  uzunliklarini, kuchlanish amplitudalari  $U_t$  va  $U_{t+T}$  ni o'lchang (aniqroq natija olish uchun o'lchanayotgan nuqtani ekran markaziy chizig'iga olib kelib o'lchang). Shuningdek,  $l$  oraliqda nechta to'liq tebranish borligini  $n$  sonini aniqlang. O'lchov natijalarini 11.1-jadvalga yozing.

8. "Ulanadigan maydonlar bloki" modulining va osillografning quvvatini o'chiring.

9. "100 Om li rezistor" ni mini-blokka ulang.

10. "Ulanadigan maydonlar bloki" modulining va osillografning quvvatini yana yoqing.

11. Tebranishlarning so'nishini kuzating. Agar osillogramma 11.4-rasmdagidek shaklga ega bo'lsa, u holda zanjirdagi minimal qarshilik kritik qiymatga teng bo'ladi:  $R_{kr} = R_k + R$ .  $R_k$  - g'altakning aktiv qarshiligi,  $R_{kr}$  - qiymatini 11.1-jadvalga yozib qo'ying.

12. "Ulanadigan maydonlar bloki" modulining va osillografning quvvatini o'chiring.

13. Navbatma-navbat turli qiymatdagi qarshilik R, sig'im C va induktivlik L ni o'rningating va tajribani takrorlang. Olingan ma'lumotlarni 11.1-jadvalga kiriting.

O'lchov natijalarini qayta ishlash

1. Konturning tabiiy tebranish chastotasi  $f_0$ , logarifmik dekrement  $\lambda$ , so'nish koeffitsienti  $\delta$ , tebranish davri T va kritik qarshilik  $R_{kr}$  ning hisoblash (h) va tajribaviy (t) qiymatlarini hisoblang. Hisoblashda 11.2-jadvalda keltirilgan formulalardan foydalaning va natijalarni ushbu jadvalga yozing.

11.2-jadval

$f_0$		$\lambda$	$\delta, c^{-1}$		T, mc		$R_{kr}, kOm$		
h	t	p (4)	o (7)	p (2)	o (8)	p (5)	o (9)	p (6)	o ( $R_k + R_0$ )

**Eslatma.** Diqqat qiling; tajribaviy yo'l bilan olingan so'nish koeffitsienti qiymatlari hisobiy qiymatlarga qaraganda kattaroq chiqadi. Buning sababi g'altak yadrosi (magnit o'tkazgich)da yuzaga keladigan magnitlanish yo'qotishlari tufayli energiyaning sezilarli darajada yo'qolishidir.

2. Ish bo'yicha xulosa tayyorlang, unda quyidagilarni tahlil qiling:

a) Kontur sig'imi o'zgartirilganda osillogramma shaklida va tebranish parametrlarida qanday o'zgarishlar yuz berganini ko'rsating;

b) Zanjirdagi aktiv qarshilik oshirilgan sari  $u(t)$  kuchlanish grafigi qanday o'zgariganini tavsiflang;

c) Olingan tajribaviy  $T_b$  (tebranish davri) va  $R_{kr}$  (kritik qarshilik) qiymatlarini hisobiy qiymatlar bilan taqqoslang.

#### Nazorat savollari

1. Quyidagi fizik kattaliklar  $R, L,$  va  $C$  elementlarini o'z ichiga olgan tebranuvchi konturda kondensator zaryadsizlanganda qanday qonun bo'yicha o'zgaradi:

a) kondensator plastinkalaridagi kuchlanish;

b) plastinkalardagi zaryad;

c) zanjirdagi tok?

2. Quyidagi tebranish xarakteristikalari tebranuvchi kontur parametrlari bilan qanday bog'liqligini ko'rsatadigan formulalarni ayting:

a) so'nuvchi tebranishlarning aylanish chastotasi va davri;

b) tebranishlarning so'nish koeffitsienti;

c) konturning kritik qarshiligi?

3. Quyidagi holatlarda,  $R, L,$  va  $C$  elementlariga ega kontur parametrlarining qaysi biri o'zgartirilganda:

a) so'nuvchi va so'nmas tebranishlar davrlarining qiymatlari yaqinlashadi?

b) tebranishlarning so'nish koeffitsienti o'zgaradi?

c) konturning kritik qarshiligi o'zgaradi?

4. Agar  $\delta > \omega_0$  sharti bajarilsa, tebranuvchi konturda nima sodir bo'ladi?

5. Quyidagi qiymatlarni aniqlash uchun osillogrammadan qanday fizik kattaliklar o'lchanadi:

a) so'nuvchi tebranishlar davri;

b) tebranishlarning logarifmik decrementi?

6. Osillografning  $X$  o'qi (vaqt o'qi) ni kalibrlashda qanday kattaliklardan foydalaniladi?

7. Konturdagi kritik qarshilikning tajribaviy qiymati qanday aniqlanadi? Kritik qarshilik  $R_{kr}$  ga erishilganda  $u(t)$  osillogrammasi qanday ko'rinishga ega bo'ladi?

8. Elektr zanjirining quyidagi elementlari nima vazifani bajaradi:

a) maxsus shakldagi kuchlanish generatori;

b) reostat?

9. Kondensator zaryadsizlanishini hosil qilish uchun tebranuvchi konturda qaysi parametрни o'zgartirish kerak?

10. So'nuvchi tebranishlarni kuzatish uchun elektr zanjirining qaysi elementlaridan osillografning  $Y$  kirishiga kuchlanish berish mumkin?

11. Quyidagi kattaliklar qanday formulalar yordamida aniqlanadi:

a) Tebranishlar davrining tajribaviy qiymati  $T$  qanday formula bilan aniqlanadi?

b) Tebranishlarning so'nish koeffitsienti  $\delta$  ning tajribaviy qiymati qanday formula bilan aniqlanadi?

c) Quyidagi  $T, \delta, R_{kr}$  qiymatlarning hisobiy (nazariy) qiymatlari qanday formulalar bilan topiladi?

12-LABORATORIYA ISHI  
"KONTURDAGI MAJBURIY ELEKTR TEBRANISHLARNI  
O'RGANISH"

**Maqsad:** O'zgaruvchan tok chastotasiga bog'liq holda konturdagi elektr qarshiligi va induktivlikning qanday o'zgarishini o'rganish.

**Kerakli jihozlar:** Modullar: "Generatorlar bloki", "Multimetrlar bloki", "Montaj maydoni va maydonlarni modellashtirish bloki"; Mini-bloklar: "10 Om li rezistor", "100 Om li rezistor", "470 Om li rezistor", "Solenoidlar" (2 dona); Osillograf.

Laboratoriya ishi 12.2-rasmda ko'rsatilgan sxema asosida olib boriladi. Uskunaning ishlash prinsipi shundan iboratki, tashqi EYuK ta'sirida tebranuvchi konturda majburiy tebranishlar hosil qilinadi. Bu tebranishlarni hosil qilish uchun elektr konturga generator orqali o'zgaruvchan kuchlanish uzatiladi. Majburiy tebranishlar osillograf ekrani orqali kuzatiladi.

**Kirish**

Majburiy elektr tebranishlar konturda o'zgaruvchan kuchlanish ta'sirida yuzaga keladi. Agar induktivlik  $L$  ga ega g'altakni o'z ichiga olgan elektr zanjirga

$$\varepsilon = \varepsilon_m \cos \omega t$$

ko'rinishidagi o'zgaruvchan kuchlanish ulanadigan bo'lsa, unda bu EMK ga qo'shimcha ravishda zanjirda o'z-o'zidan induksiyalanadigan kuchlanish ham hosil bo'ladi:

$$\varepsilon_s = -L \frac{di}{dt}$$

Bunday konturda tok tashqi kuchlanish chastotasi  $\omega$  bilan bir xil chastotada tebranadi, ammo u faza bo'yicha tashqi kuchlanishdan  $\varphi$  ga orqada bo'ladi:

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi)$$

Tok amplitudasi  $I_m$  tashqi elektromotor kuchi amplitudasi  $\varepsilon_m$  ga proporsional bo'ladi:

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{Z} \quad (12.1)$$

bu yerda  $Z$  - konturning to'liq (kompleks) qarshiligi bo'lib, u qarshilik, induktivlik va sig'imga bog'liq,

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (12.2)$$

bu yerda:  $R$  - zanjirdagi aktiv qarshilik,  $X_L = \omega L$  - zanjirning induktiv qarshiligi,  $L$  - solenoidning induktivligi,  $\omega = 2\pi\nu$  - o'zgaruvchan tokning siklik chastotasi,  $\nu$  - tokning chastotasi (Hz).

Induktivlik - bu konturning o'z magnit oqimini hosil qilish xususiyatini ifodalaydi va u konturdan bir birlik tok o'tganda u bilan bog'langan magnit oqimi  $\Phi_m$  ga teng bo'ladi:

$$\Phi_m = LI$$

Konturning induktivligi uning o'lchamlari, shakli va uni o'rab turgan muhitning magnit singdiruvchanligi  $\mu_r$  ga bog'liq. Masalan, uzun solenoid uchun induktivlik quyidagilarga bog'liq bo'ladi:

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2}{l} S \quad (12.3)$$

bu yerda:  $\mu_0$  - magnit doimiysi,  $N$  - solenoidning o'ramlar soni,  $S$  - solenoid o'zagining kesim yuzasi,  $l$  - g'altakning o'rta o'q uzunligi.

Ferromagnit solenoidning induktivligi o'ramdan o'tayotgan  $I$  tokka ham bog'liq bo'ladi. Bu esa shundan dalolat beradiki, ferromagnit materiallarning magnit singdiruvchanligi  $\mu_r$  magnit maydonning kuchlanishi  $H$  ga bog'liq bo'ladi. Bu kuchlanish esa solenoiddagi tok orqali aniqlanadi:

$$H = I \frac{N}{l} \quad (12.4)$$

**O'lchash usuli**

Ushbu ishda zanjirning to'liq qarshiligi  $Z$  ni o'lchash Om qonuniga (12.1) asoslanadi, ya'ni o'zgaruvchan tokning amaldagi qiymati  $I$  va kuchlanish  $U$  ni o'lchash orqali aniqlanadi:

$$Z = \frac{U}{I}$$

12.2 ifodaga ko'ra, faol qarshilik juda kichik bo'lsa (odatda,  $R \ll Z$ ), unda solenoidning to'liq qarshiligi induktivlikka teng bo'ladi:

$$Z = \omega L \quad (12.5)$$

Bu esa induktivlikni quyidagi formula orqali aniqlash imkonini beradi:

$$L = \frac{Z}{\omega} = \frac{1}{2\pi\nu} \frac{U}{I} \quad (12.6)$$

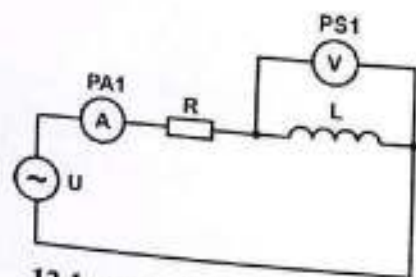
Ma'lum chastotadagi o'zgaruvchan tok yordamida g'altakning qarshiligi o'lchanadi. Solenoid uchida o'lchangan kuchlanish 12.4 va 12.5 ifodalarga ko'ra, o'zgaruvchan tok chastotasiga bog'liq:

$$U = IZ = I\omega L$$

Tok kuchi  $I$  ning doimiy qiymatida olingan  $U = f(\omega)$  bog'lanishi shakli jihatidan  $Z = f(\omega)$  bog'lanishiga mos keladi va chiziqli bo'ladi, agar solenoidning induktivligi  $L$  doimiy bo'lsa (ya'ni chastotaga bog'liq bo'lmasa). Bunday holda  $L$  qiymati tajriba yo'li bilan to'g'ri chiziqning burchak koeffitsienti orqali aniqlanadi:  $U = I\omega L$ , bu yerda  $K = IL$ . (3) ifodaga ko'ra, bu magnit singdiruvchanlikning doimiy qiymatiga  $\mu_r$  ga mos keladi, bu esa odatda ferromagnit bo'lmagan muhitlar uchun xosdir. Ferromagnit yadroga ega bo'lgan solenoid uchun esa, yuqorida qayd etilganidek, induktivlik o'ramdan o'tayotgan tok kuchiga bog'liq bo'ladi. Bu bog'liqlikni induktiv qarshilikni turli tok kuchlarida aniqlash orqali tajriba yo'li bilan aniqlash mumkin. Shunday qilib, agar o'ramdan o'zgaruvchan tok turli chastotalarda o'tkazilsa, solenoidda kuchlanishni o'lchash orqali uning induktivligi va chastotaga bog'liqligini tajriba asosida aniqlash mumkin bo'ladi.

#### Uskuna tavsifi

Uskunaning elektr sxemasi 12.2-rasmda, ulanish sxemasi esa 12.2-rasmda ko'rsatilgan.



12.1-rasm. Elektr sxemasi:

$U$  - maxsus shakldagi signallar generatori (modul: "Generatorlar bloki");  
 $RA1$  - multimetr (A ~ 20 mA rejimida, COM va mA kirishlariga ulangan);  
 $PS1$  - ossilograf (V ~ 2 V rejimida);  $L$  - "Solenoidlar" miniblogi (yurakchasi olinadigan g'altak, induktivlik  $L$  va qarshilik  $R$  ga ega);  $R$  - "470 Om rezistor" miniblogi - cheklovchi qarshilik.

Induktivligi  $L$  va qarshiligi  $R$  bo'lgan g'altak hamda multimetr ketma-ket ulanib, maxsus shakldagi signal generatoriga ulanadi. G'altakdagi kuchlanish ossilograf yordamida o'lchanadi.



12.2-rasm. Ulanish sxemasi  
Ishni bajarish tartibi

#### 1-topshiriq. To'liq qarshilik $Z$ ning chastotaga bog'liqligini o'rganish. O'lchovlarni bajarish

- "Multimetrlar bloki" modulidagi ikkinchi multimetr yordamida g'altakning  $R_L$  qarshiligini o'lchang va uni 12.1-jadvalga yozing. Buning uchun multimetрни ommetr rejimiga - 200  $\Omega$  rejimiga, COM va V kirishlariga ulang.
- Elektr zanjirni 12.2-rasmda keltirilgan ulanish sxemasi bo'yicha yig'ing, g'altak  $L$  ni ulang.
- Modullarni ishga tushiring - kalitlarni "SETb" holatidan "BKJ" holatiga o'tkazing.

12.1-jadval

O'zaksiz holda $I = \dots$ mA		Ferromagnit o'zakli $I = \dots$ mA					
v, kGts	U, V	Z, Om	L, mGn	v, Gts	U, V	Z, Om	L, mGn
0,75				50			
1,0				60			
1,25				70			
1,5				80			
1,75				90			
2,0				100			
2,25				110			
2,5				120			

2,75				130			
3,0				140			
3,25				150			
3,5				160			
3,75							
4,0							

4. "Generatorlar bloki" modulida boshqaruv tugmalari yordamida chiqish signalining shaklini tanlang, chastotalar diapazoni 0,01...1 kHz. "Katta qadamli" va "Aniq" chastota sozlagichlarini maksimal qiymatga, ya'ni 4 kHz ga o'mating. "Chiqish" sozlagichi yordamida tok kuchini zanjirda 2 dan 7 mA gacha (RA1 ampermetrida ko'rsatiladi) bo'lgan qiymatga o'mating. Shu belgilangan tok qiymatida tok chastotasini 12.1-jadvaldagi qiymatlarga muvofiq o'zgartirib boring, har bir chastotada g'altakdagi kuchlanishni o'lchang va 12.1-jadvalga yozib boring.

Diqqat! Chastota o'zgartirilganda, belgilangan tok  $I$  ni saqlab turish kerak. Buning uchun chiqish kuchlanishi darajasini sozlovchi regulyator yordamida uni moslab boring.

5. Generatorlar blokining kuchlanishini o'chiring. G'altakka ferromagnit o'mating. Generatorlar blokining kuchlanishini yana yoqing. 4-bandda bayon qilinganidek o'lchovlarni bajaring. Tok kuchini 160 Gts chastotada 4-bandga muvofiq sozlang. Natijalarni 12.1-jadvalga yozib boring.

6. Generatorlar blokining kuchlanishini o'chiring.

#### O'lchov natijalarini qayta ishlash

1. G'altak uchun o'zaksiz va ferromagnit o'zakli holda o'zgaruvchan tokdagi to'liq qarshilik  $Z$  ni quyidagi (4) formula bo'yicha hisoblang:

$$Z = \frac{U}{I} \dots \text{Om}$$

va induktivlikni (6) formula bo'yicha hisoblang:

$$L = \frac{1}{2\pi\nu} \frac{U}{I} = \dots \text{Gn}$$

Hisoblash natijalarini 12.1-jadvalga yozing.

2.  $R_L$  va  $Z$  ni solishtirib,  $R_L \ll Z$  yaqinlashuvining to'g'riligiga ishonch hosil qiling. Bu tekshiruvni har ikki g'altak uchun bajaring.

3. Har ikki g'altak uchun  $Z = f(\omega)$  bog'liqligi grafigini chizing.

4. Ish bo'yicha xulosalarda: a) ikki solenoid uchun ferromagnit o'zakli va o'zaksiz to'liq qarshilik  $Z$  ning chastotaga bog'liqligini solishtiring; b) har

ikki solenoid uchun induktivlikning chastotaga bog'liqligi xususiyatlarini qayd eting.

#### 2-topshiriq. Solenoid induktivligining tokka bog'liqligini o'rganish. O'lchovlarni bajarish

1. O'zaksiz g'altakni o'rganish uchun 1-topshiriqdagi bilan bir xil elektr zanjir ishlatiladi. Ferromagnit o'zakli g'altakni o'rganish uchun esa qo'shimcha cheklovchi rezistorsiz elektr zanjirdan foydalaniladi.

2. Yadro (magnetik o'zak) siz induktivlik g'altagini  $L$  ulang. Modullarga quvvat bering. Chastota sozlagich yordamida tok chastotasini 1-3 kHz oraliqida o'mating.

3. Tok kuchini «Chiqish» regulyatori yordamida 1 mA dan 20 mA gacha (1 mA oraliqda) o'zgartiring, har bir qiymat uchun g'altakdagi kuchlanishni  $U$  o'lchang va natijalarni 12.2-jadvalga yozing.

4. Generatorlar blokining kuchlanishini o'chiring. G'altakka ferromagnit o'zak o'mating. Modullarni yana yoqing. Chastota sozlagichini (0,2 - 20 kGts) 50 - 70 Gts oraliqiga o'mating. 3-bandda ko'rsatilganidek o'lchovlarni bajaring. Natijalarni 12.2-jadvalga kiriting.

#### 12.2-Jadval

Yadro g'altak				Ferromagnit yadroli g'altak			
				$\nu = \dots \text{Gts}$			
$I, \text{mA}$	$U, \text{mV}$	$Z, \text{Om}$	$L, \text{Gn}$	$U, \text{mV}$	$Z, \text{Om}$	$L, \text{Gn}$	

#### O'lchov natijalarini qayta ishlash

1. Har ikki g'altak uchun  $Z$  va  $L$  qiymatlarini 12.4 va 12.6- formulalar asosida hisoblang. Hisoblash natijalarini 12.2-jadvalga yozing.
2.  $L = f(I)$  bog'liqlik grafigini chizing. Xulosa chiqaring.

#### Nazorat savollari

1. Majburiy tebranishlarda zanjirdagi tokning o'zgarish qonunini yozing.
2. Majburiy tebranishlarning chastotasi va amplitudasi qanday aniqlanadi?
3. Majburiy tebranishlarni qanday EYuK yuzaga keltiradi?
4. Majburiy tebranishlar paytida tebranuvchi konturda qanday EYuKlar ta'sir qiladi? Induksion EYuK ifodasini yozing.
5. Induktivlikli zanjir qanday xususiyatlarga ega va qanday qiymatlarga

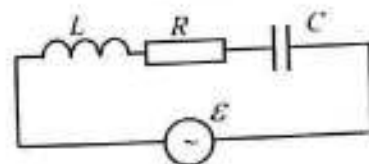
- bog'liq?
6. O'zgaruvchan tok konturining to'liq qarshiligi qanday parametrlarga bog'liq?
  7. Solenoid induktivligining ferromagnit o'zagi borligi va tok chastotasiga bog'liqligi nima bilan izohlanadi?
  8. Ushbu ishda zanjirning to'liq qarshiligi  $Z$  qanday o'lchanadi?
  9. O'zaksiz solenoiddan foydalanganda, tok  $I$  ning doimiy qiymatida olingan  $U(\omega)$  bog'lanishi qanday xarakterga ega?
  10. Ushbu ishda o'zgaruvchan tok manbai sifatida qanday asbob ishlatiladi?
  11. Ushbu ishda g'altak induktivligini aniqlashda faol ( $R$ ) va to'liq ( $Z$ ) qarshiliklar qanday maqsadda ishlatiladi?

### 13-LABORATORIYA ISHI "O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRLARIDA REZONANS HODISASINI TAHLIL QILISH"

**Ishdan maqsad:** O'zgaruvchan tok zanjirlarida kuchlanish va tok rezonansini o'rganish, induktivlikni rezonans usuli orqali o'lchash.

**Kerakli jihozlar:** Modullar: "Generatorlar bloki", "Multimetrlar bloki", "Montaj va modellashtirish maydoni bloki"; Minibloklar: "100 Omli rezistor", "Induktivlik  $L_x$ ", "1 mκF kondensator"; Ossilloqrof.

#### Kirish



13.1-rasm. O'zgaruvchan tok zanjiri

Kondensator sig'imi  $C$ , induktivligi  $L$  bo'lgan g'altak va faol qarshiligi  $R$  bo'lgan rezistor ketma-ket ulangan yopiq elektr zanjirini (kontur) ko'rib chiqamiz. Zanjirga o'zgaruvchan EYuK  $\varepsilon = \varepsilon_m \sin(\omega t)$  ni hosil qiluvchi generator ulangan (13.1-rasm). Faraz qilamizki, zanjirdan o'tayotgan o'zgaruvchan tok quyidagi shartni qanoatlantiradi:  $\omega\tau \ll 1$ , bu yerda  $\tau$  - elektromagnit uyg'otuvchanlikning zanjir bo'ylab tarqalish vaqti,  $T$  esa elektr maydonining kuchlanishi o'zgarishining xarakterli vaqti. Bunday toklar kvazistatsionar toklar deb ataladi va ularning har bir vaqt lahzasidagi qiymatlari uchun doimiy tok qonunlari amal qiladi. Kirxgofning ikkinchi qonuniga muvofiq, quyidagicha yoziladi:

$$IR = U_C = \varepsilon_S + \varepsilon \quad (13.1)$$

bu yerda:  $IR$  - rezistordagi kuchlanish tushuvi;  $U_C = Q/C$  - kondensatordagi kuchlanish;  $\varepsilon_S = -L \cdot \frac{dI}{dt}$  - g'altakdagi o'z-o'zidan induksiyalanish EYuK. Bu tenglamani vaqt bo'yicha differensiallab,  $I = \frac{dQ}{dt}$  bog'lanishni qo'llab, zanjirdagi majburiy tebranishlarning differensial tenglamasini hosil qilamiz:

$$\frac{d^2I}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC} I = \varepsilon_m \cos(\omega t) \quad (13.2)$$

Majburiy tebranishlar nazariyasidan ma'lumki, bu tenglamaning barqarorlashgan tebranishlar holatidagi yechimi quyidagicha bo'ladi:

bu yerda:

$$I = I_m \sin(\omega t - \varphi) \quad (13.3)$$

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{Z} = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (13.4)$$

bu yerda  $\varphi$ - EYuK bilan tok orasidagi faza siljishi. 13.4-ifoda o'zgaruvchan tok uchun Om qonuni deb ataladi. Bu yerda  $Z$ ,  $R$  va  $X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$  qiymatlari mos ravishda to'liq, aktiv va reaktiv qarshiliklar deb ataladi. Zanjirdagi o'zgaruvchan tok uchun qarshiliklar quyidagicha bo'ladi:  $\omega L = X_L$  - induktiv reaktiv qarshilik,  $\frac{1}{\omega C} = X_C$  - sig'imli reaktiv qarshilik. Ushbu kattaliklarning barchasi Ommlarda o'lchanadi.

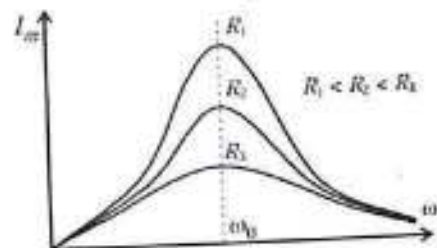
Tashqi EYuK va tok orasidagi faza siljishi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (13.5)$$

13.4 va 13.5 formulalardan ko'rinadiki, tok amplitudasi va faza siljishi tebranish chastotasi  $\omega$  ga bog'liq. Agar  $\omega \rightarrow 0$ , ya'ni  $1/\omega C \rightarrow \infty$ , bo'lsa, to'liq qarshilik  $Z$  cheksizlikka intiladi va tok amplitudasi  $I_m$  nolga teng bo'ladi. Agar  $\omega$  oshsa, reaktiv qarshilik  $X$  va to'liq qarshilik  $Z$  dastlab kamayadi, bu esa tok amplitudasi  $I_m$  ni oshishiga olib keladi. Chastota  $\omega = \omega_0$  bo'lganda:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (13.6)$$

reaktiv qarshilik nolga aylanadi, zanjirning to'liq qarshiligi eng kichik qiymatga (ya'ni  $Z_{\min} = R$ ) teng bo'ladi va tok amplitudasi maksimal qiymatga yetadi. Agar chastota  $\omega > \omega_0$  bo'lsa, reaktiv qarshilik  $X$  yana noldan farqli bo'ladi va  $\omega$  oshishi bilan ortib boradi. Shu sababli to'liq qarshilik  $Z$  yana ortadi, tok amplitudasi  $I_m$  esa kamayadi va asta-sekin nolga intiladi.



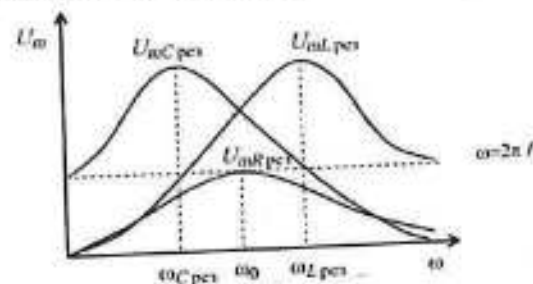
13.2-rasm - Rezonans egri chiziqlari

Turli xil faol qarshilik qiymatlariga ega konturdagi tok amplitudasi  $I_m$  ning chastotaga  $\omega$  bog'liqlik grafigi 13.2-rasmda keltirilgan. Qarshilik  $R$  qancha kichik bo'lsa, boshqa shartlar bir xil bo'lganda, tok amplitudasi shuncha katta bo'ladi va grafikdagi maksimum shuncha yuqoriroq bo'ladi. Demak, EYuK generatorining chastotasi  $\omega$  zanjirning o'z rezonans chastotasiga  $\omega_0$  teng bo'lgan holat alohida ahamiyatga ega: bu holatda tok amplitudasi maksimal qiymatga yetadi, va EYuK bilan tok orasidagi faza siljishi nolga teng bo'ladi. Majburiy tebranishlarning ushbu holati rezonans deb ataladi.

Rezistordagi kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

$$U_R = IR = U_{mR} \sin(\omega t - \varphi) \quad (13.7)$$

bu yerda  $U_{mR} = I_m R$  - kuchlanish amplitudasi. Demak, rezistordagi kuchlanish amplitudasining rezonans egri chizig'i tokning rezonans egri chizig'idan faqat  $R$  ko'paytuvchisi bilan farq qiladi, ya'ni  $U_{mR}^{\text{rez}}$  maksimal qiymati ham  $\omega_0$  rezonans chastotasi vaqtida kuzatiladi (13.3-rasm).



13.3-rasm. Kondensator, induktivlik g'altagi va rezistordagi kuchlanish amplitudasining chastotaga bog'liqligi

Tashqi EYuK chastotasi o'zgarganda, kondensator va induktivlik g'altagidagi kuchlanish ham o'zgaradi. Kondensatordagi kuchlanish

quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$U_C = IRU_C = \frac{Q}{C} = \frac{\int Idt}{C} \quad (13.8)$$

bu yerda  $I = I_m \sin(\omega t - \varphi)$ .

13.3 ifodani 13.8 ga qo'yib,  $I(t)$  ni vaqt bo'yicha integrallab, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$U_C = -\frac{1}{\omega C} I_m \cos(\omega t - \varphi) = U_{mC} \sin(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}) \quad (13.9)$$

bu yerda  $U_{mC} = \frac{I_m}{\omega C}$  — kuchlanishning amplituda qiymati. 13.9-ifodadan ko'rinib turibdiki, kondensatordagi kuchlanish tokdan faza bo'yicha  $\pi/2$  ga ortda qoladi.  $U_{mC}$  ning chastotaga bog'liqlik grafigi 13.3-rasmda keltirilgan. Kondensatordagi kuchlanish amplitudasining maksimal qiymati quyidagi chastotada kuzatiladi:

$$\omega_C = \omega_0 \sqrt{1 + 2(\frac{\delta}{\omega_0})^2} < 0 \quad (13.10)$$

bu yerda  $\delta = \frac{R}{2L}$  — so'nish koeffitsienti.

Induktivlik g'altagidagi kuchlanishni zanjirning ushbu qismining Om qonuni asosida aniqlash mumkin:

$$U_L = Ir - \varepsilon_s \quad (13.11)$$

bu yerda  $r$  — g'altakning faol qarshiligi bo'lib, bu holatda u nolga teng deb olinadi,  $\varepsilon_s$  — g'altakdagi o'z-o'zidan induksiyalanish EYuKi, u quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\varepsilon_s = -L * \frac{dI}{dt} \quad (13.12)$$

13.3 va 13.12 formulalarni 13.11 ga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$U_L = -\varepsilon_s = L * \frac{dI}{dt} I_m \cos(\omega t - \varphi) = U_{mL} \sin(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}) \quad (13.13)$$

bu yerda  $U_{mL} = I_m \omega L$  — kuchlanish amplitudasi. Ko'rinib turibdiki, g'altakdagi kuchlanish tokdan faza bo'yicha  $\pi/2$  ga ilgari yuradi.  $U_{mL}$  ning chastotaga bog'liqlik grafigi 13.3-rasmda keltirilgan. Induktivlikdagi kuchlanish amplitudasining maksimal qiymati quyidagi chastotada yuz beradi:

$$\omega_C = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 + 2(\frac{\delta}{\omega_0})^2}} < 0 \quad (13.14)$$

bu yerda  $\delta = \frac{R}{2L}$  — so'nish koeffitsienti.

Rezonansdagi  $U_{mCrez}$  va  $U_{mLrez}$  qiymatlarini topamiz. Tok amplitudasi (13.4) ga ko'ra,  $\omega_0$  (13.6) rezonans chastotada maksimalga yetadi:

$$I_m = \frac{\varepsilon_s}{R} \quad (13.15)$$

13.9 va 13.13 formulalardan quyidagilar kelib chiqadi:

$$U_{Cnat} \approx X_C I_m = \frac{\varepsilon_m}{\omega_0 C R} = \frac{\varepsilon_m}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = Q \varepsilon_m \quad (13.16)$$

$$U_{Lnat} \approx X_L I_m = \frac{\varepsilon_m}{R} \omega_0 L = \frac{\varepsilon_m}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = Q \varepsilon_m \quad (13.7)$$

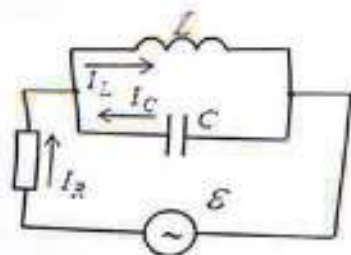
Bu yerda  $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$  qiymati konturning sifat koeffitsienti deb ataladi. Uning qiymati har doim 1 dan katta bo'ladi, shuning uchun bu kuchlanishlarning amplitudasi tashqi EYuK  $\varepsilon_m$  amplitudasidan  $Q$  marta katta bo'ladi. Shuning uchun ketma-ket ulangan konturdagi rezonans hodisasi kuchlanish rezonansi deb ataladi.

Shunday qilib, rezonans holatida kondensatordagi  $U_{mCrez}$  va induktivlik g'altagidagi  $U_{mLrez}$  kuchlanish amplitudalari bir-biriga teng bo'lishi kerak. Yuqorida aytib o'tilganidek, bu kuchlanishlar orasidagi faza siljishi nolga teng bo'ladi va konturda faqat rezistordagi kuchlanish tebranishlari qoladi, uning amplitudasi  $U_{mRrez}$  ga teng. Endi yopiq elektr zanjirida kondensator  $C$  va induktivlik g'altagi  $L$  parallel ulangan holatni ko'rib chiqamiz (13.4-rasm). Masalani soddalashtirish uchun konturning faol qarshiligi  $R=0$  deb faraz qilamiz. (13.3) ifodaga muvofiq, kondensator joylashgan tarmoq bo'ylab quyidagi tok oqadi:

$$I_C = I_{mC} \sin(\omega t - \varphi). \quad (13.18)$$

Bu tokning amplitudasini 13.4-ifodadan  $R=0$  va  $L=0$  shartlari ostida aniqlash mumkin.

$$I_{mC} = \frac{\varepsilon_m}{\omega C} = \omega C * \varepsilon_m \quad (13.19)$$



13.4-rasm. G'altak va kondensatorning parallel ulanishi

Bu tokning boshlang'ich fazasi 13.5-ifodadan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \varphi_C = -\infty \quad \varphi_C = -\frac{\pi}{2} \quad (13.20)$$

Xuddi shu tarzda g'altak joylashgan tarmoqdagi tok kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$I_L = I_{mL} \sin(\omega t - \varphi_L) \quad (13.21)$$

Uning amplitudasi (8.4) ifodaga muvofiq,  $R = 0$  va  $C = \infty$  bo'lsa, quyidagicha bo'ladi:

$$I_{mL} = \frac{\varepsilon_m}{\omega L} \quad (13.22)$$

Bu tokning boshlang'ich fazasi (8.5) ifodadan aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \varphi_L = +\infty \quad \varphi_C = +\frac{\pi}{2} \quad (13.23)$$

13.20 va 13.23-ifodalarni solishtirib ko'rsak, zanjirning parallel qismlaridan oqayotgan toklarning faza farqi  $\pi$  ga teng, ya'ni ular qarama-qarshi fazada. Zanjirning ajralmagan qismidagi tok amplitudasi quyidagicha bo'ladi:

$$I_{mR} = |I_{mC} - I_{mL}| = \varepsilon_m \left| \omega C - \frac{1}{\omega L} \right| \quad (13.24)$$

Agar  $\omega = \omega_0$  bo'lsa (13.6), u holda  $I_{mC} = I_{mL}$  va  $I_{mR} = 0$ . Tashqi zanjirdagi tok amplitudasining keskin kamayishi hodisasi, bunda kondensator va induktivlik g'altagi parallel ulangan holatda  $\omega \rightarrow \omega_0$  bo'lganda sodir bo'lsa, tok rezonansi deb ataladi.

Agar zanjirning faol qarshiligi  $R$  ni hisobga oladigan bo'lsak, toklar orasidagi faza farqi  $\pi$  ga teng bo'lmaydi. Shuning uchun tok rezonansida umumiy tok amplitudasi  $I_{mR}$  nolga teng bo'lmaydi, lekin u eng kichik qiymatga ega bo'ladi. Demak, bu vaqtda rezistordagi kuchlanish tushuvi  $U_{mR}$  ham eng kam bo'ladi. Shu bilan birga, g'altak va kondensatordagi toklar  $I_{mL}$  va  $I_{mC}$  rezonans holatida  $I_{mR}$  dan sezilarli darajada katta bo'lishi

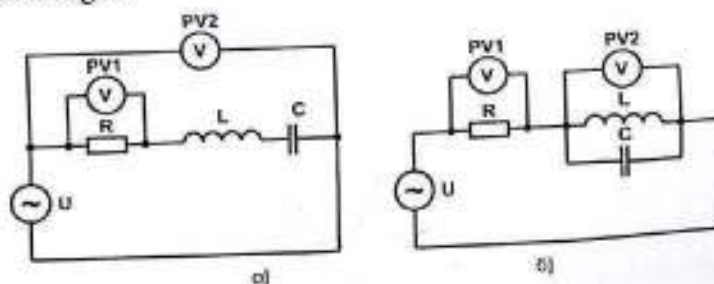
mumkin.

### Tadqiqot usulining tavsifi

Tebranma konturga nazorat qilinadigan chastotali sinusoidal tashqi kuchlanish  $\omega$  uzatiladi, zanjir elementlaridagi kuchlanish turli chastotalarda o'lchanadi va natijada ular amplitudalarining chastotaga bog'liqligi  $U_m = f(\omega)$  grafigi tuziladi. Kondensator va induktivlik g'altagi ketma-ket ulangan holatda rezonans chastotasi  $\omega_0$  da  $U_{mR}$ ,  $U_{mL}$  va  $U_{mC}$  qiymatlari maksimal bo'lishi kerak. Agar kondensator va g'altak parallel ulangan bo'lsa, kontur rezonansi quyidagicha aniqlanadi: rezistordagi kuchlanish  $U_{mR}$  minimal bo'ladi, kondensator va g'altakdagi kuchlanishlar  $U_{mC}$  va  $U_{mL}$  esa maksimalga yetadi.

### Uskunani tavsifi

Rezonans hodisasini o'rganish uchun 13.5-rasmda keltirilgan elektr zanjirlardan foydalaniladi. L va C elementlari ketma-ket ulangan zanjir (13.5-rasm, a) kuchlanish rezonansini o'rganish uchun, L va C elementlari parallel ulangan zanjir (13.5-rasm, b) esa tok rezonansini o'rganish uchun mo'ljallangan. Kuchlanishning haqiqiy (amaldagi) qiymatlari (ular amplituda qiymatlaridan  $\sqrt{2}$  marta kichik, lekin bizning vazifamiz uchun bu farq ahamiyatga ega emas) multimetr yordamida o'lchanadi. Tashqi o'zgaruvchan kuchlanish manbai sifatida maxsus shakldagi signal generatori ishlatiladi. 13.6-rasmda kuchlanish rezonansini o'rganish uchun ulanish sxemasi, 13.7-rasmda esa tok rezonansini o'rganish uchun ulanish sxemasi keltirilgan.



13.5-rasm. Elektr sxemasi:

U - maxsus shakldagi kuchlanish generatori (ichida chastotomer mavjud);  
PV1, PV2 - multimetr (V ~ 2 V rejimida, COM va VΩ kirishlariga

ulangan);  $R$  - "100 Om rezistor" miniblogi;  $L$  - "Induktivlik  $L_x$ " miniblogi;  
 $C$  - "1 mkF kondensator" miniblogi.

### Ishni bajarish tartibi

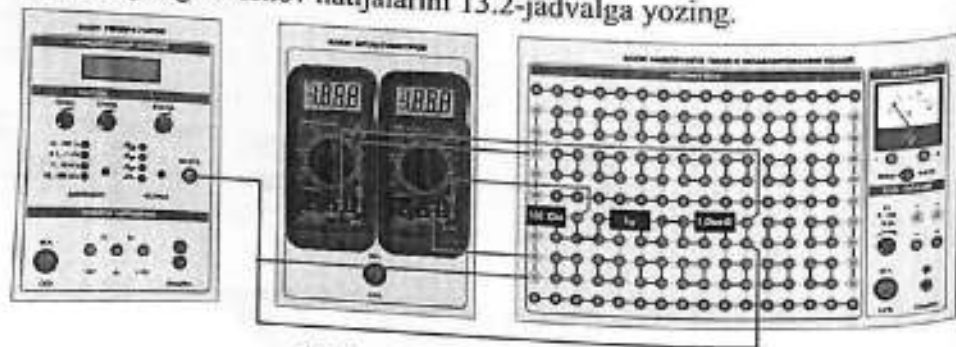
#### 1. Kondensator va g'altakning ketma-ket ulanishi

1.1. 13.6-rasmda keltirilgan ulanish sxemasiga muvofiq, kondensator  $C$ , g'altak  $L$  va rezistor  $R$  ketma-ket ulangan elektr zanjirini yig'ing (qarang: 13.5a-rasm).

1.2. "Generatorlar bloki", "Multimetrlar bloki" va "Montaj maydoni bloki" modullarini tarmoqqa ulang. Modullarning quvvat kalitlarini "SETb" tugmasi orqali "YOQILGAN" holatga o'tkazing.

"Generatorlar bloki"da boshqaruv tugmalari yordamida chiqish signalining shaklini "sinus" deb tanlang, diapazon va regulyator tugmalari ("katta qadamli"/"Aniq") orqali chastotani  $\nu_1 = 0,20 \text{ kHz}$  qilib belgilang. Chiqish kuchlanishini  $\varepsilon = 1,0 \pm 0,1 \text{ V}$  qilib o'rnatib (buni PV2 multimetrlarining voltmetr rejimida ishlatib o'lchang). Kelgusida generator chiqish kuchlanishining o'zgarishini multimetr yordamida nazorat qilib boring.  $\varepsilon$  qiymatini 13.2-jadvalga yozing.

1.3. Generator chiqish signalining chastotasini oshirib, rezistordagi rezonans (ya'ni maksimal) kuchlanish  $U_{R \text{ rez}}$  va unga mos keluvchi chastota  $\nu_0$  ni aniqlang. O'lchov natijalarini 13.2-jadvalga yozing.



13.6-rasm. Ulanish sxemasi

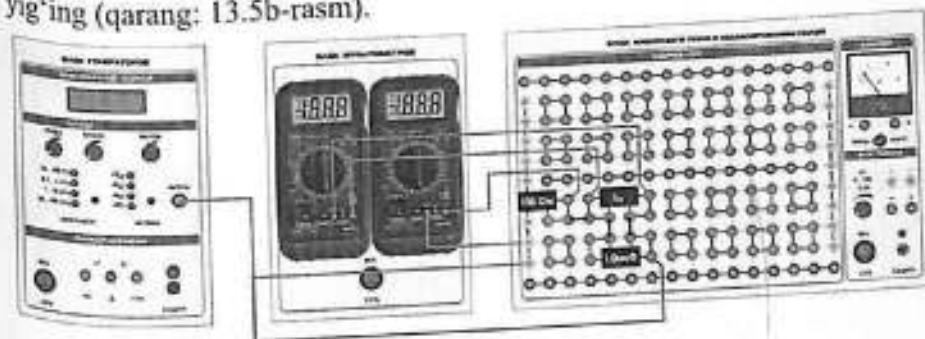
1.4.  $U_R(\nu)$  bo'yicha o'lchovlarni bajaring. O'lchovlar chastota oraliqlarida amalga oshiriladi, bunda kuchlanish rezonansdagi  $U_{R \text{ rez}}$  ga nisbatan 3-4 marta kamayadi. O'lchovlar oralig'ini o'zgartirish mumkin. Rezonansga yaqin sohalarda egri chiziqning keskin ko'tarilishi va pasayishi

joylarida o'lchovlar oralig'ini qisqartirish kerak. Natijalarni 13.2-jadvalga yozing (hisobotni qarang). O'lchovlar soni kamida 10-15 ta bo'lishi lozim.

1.5. PV1 multimetrlarini navbatma-navbat g'altak va kondensatorga ulagan holda, 1.3 va 1.4-bandlarga muvofiq  $U_L$  va  $U_C$  kuchlanishlarini o'lchang. Natijalarni 13.2-jadvalga yozing.

#### 2. G'altak va kondensatorning parallel ulanishi

2.1. 13.7-rasmda keltirilgan ulanish sxemasi bo'yicha kondensator  $C$ , induktivlik  $L$  va rezistor  $R$  elementlari parallel ulangan elektr zanjirini yig'ing (qarang: 13.5b-rasm).



13.7-rasm. Ulanish sxemasi

2.2. Generatorning chiqish kuchlanishini avvalgi o'lchovlardagi kabi bir xil qilib o'rnatib. Buni generatorning kirish klemmalariga ulangan multimetr yordamida amalga oshirish mumkin.

2.3. PV1 multimetrlarini rezistorga  $R$ , PV2 multimetrlarini esa kondensator va g'altakka ulang.  $U_R$  va  $U_{LC}$  kuchlanishlarini o'lchang. Generator chiqish signalining chastotasini  $\nu$  o'zgartirib, rezistordagi rezonans (minimal) kuchlanish  $U_{R \text{ rez}}$  va unga mos keluvchi chastota  $\nu_0$  ni aniqlang. Nazariy bashoratlarga ko'ra, rezonansda  $U_{LC}$  kuchlanishi maksimal bo'lishi kerak. O'lchov natijalarini 13.3-jadvalga yozing.

2.4.  $U_R(\nu)$  va  $U_{LC}(\nu)$  bo'yicha o'lchovlarni bajaring. O'lchovlar chastota oraliqlarida amalga oshiriladi, bunda  $U_R$  qiymati generatorning boshlang'ichda multimetr yordamida o'lchangan kuchlanishiga yaqinlashadi. O'lchovlar oralig'ini o'zgartirish mumkin. Rezonans yaqinida, grafikning keskin ko'tarilish va pasayish sohalarda, o'lchovlar orasidagi intervalni kamaytirish kerak. O'lchov natijalarini 13.3-jadvalga yozing (hisobotga qarang). O'lchovlar soni kamida 10-15 ta bo'lishi kerak.

2.5. Kuchlanish generatori va multimetr bloklarini o'chiring.

**O'lchov natijalarini qayta ishlash**

1. 13.2-jadvaldagi ma'lumotlar asosida bir grafikda uchta rezonans egri chiziqni chizing: ketma-ket ulangan elementlar konturi uchun  $U_R(v)$ ,  $U_L(v)$  va  $U_C(v)$ .

2. Rezonans chastotasi  $\nu_0$  va ma'lum sig'im C qiymati orqali g'altakning induktivligi  $L_x$  ni quyidagi formula orqali hisoblang (6-formuladan olingan):

$$L_x = \frac{1}{C \cdot (2\pi\nu_0)^2} \quad (13.25)$$

3. So'nish koeffitsienti  $\delta$ , shuningdek, rezonans aylanish chastotalari  $\omega_{C rez}$  (13.10) va  $\omega_{L rez}$  (13.14) ni hisoblang.  $\nu = \omega/2\pi$  munosabatini inobatga olgan holda, g'altak va kondensator uchun rezonans chastotalarining nazariy qiymatlarini hisoblang:  $\nu_{L rez}^{teor}$  va  $\nu_{C rez}^{teor}$ . Ularni tajriba natijalari bilan taqqoslang:  $\nu_{L rez}^{taj}$  va  $\nu_{C rez}^{taj}$ . Natijalarni 13.4-jadvalga yozing.

4. Konturning nazariy sifat koeffitsientini (Q) quyidagi formula asosida aniqlang (13.16):

$$Q_{naz} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (13.26)$$

va uni tajriba natijalari bilan solishtiring:

$$Q_{taj} = \frac{U_{L naz}}{\varepsilon}, \quad Q_{taj} = \frac{U_{taj}}{\varepsilon} \quad (13.27)$$

Natijalarni 13.4-jadvalga yozing.

5. 13.3-jadval asosida ikkinchi grafikda quyidagilarni chizing:  $U_R(v)$  va  $U_{LC}(v)$  — bu grafiklar kondensator C va g'altak  $L_x$  parallel ulangan konturga tegishli bo'ladi. Ketma-ket ulanishda kuzatilgan rezonans chastotasi  $\nu_{rez}^{taj}$  ni aniqlang, 13.4-jadvalga yozing va uni  $\nu_0$  bilan taqqoslang.

**O'lchov xatolarini baholash**

1. Induktivlikni bilvosita o'lchashdagi sistematik nisbiy xatolik (13.25-formula asosida) quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\gamma_L = \frac{\theta L_x}{L_x} = 1.1 \sqrt{\left(\frac{\theta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\theta \omega_0}{\omega_0}\right)^2} \quad (13.28)$$

bu yerda  $\frac{\theta C}{C}, \frac{\theta \omega_0}{\omega_0}$  sig'im va rezonans chastotasining to'g'ridan-to'g'ri o'lchovlardagi sistematik nisbiy xatolari.

2. Sistematik mutlaq xatolik nisbiy xatolik bilan bog'liq bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$\theta L_x = \gamma_L \cdot L_x / 100\% \quad (13.29)$$

3. Bajirilgan ish bo'yicha hisobotni rasmiylashtiring.

**13.1-jadval. O'lchov asboblari va ularning tavsiflari**

Asbob nomi	O'lchangan qiymatga nisbatan ruxsat etilgan asosiy nisbiy xatolik (% da)
Voltmetr	$\theta_U / U = 0.5 \%$
GSSF chastotomeri	$\theta \omega_0 / \omega_0 = 1.0 \%$

**O'lchov natijalari 13.2-jadval.**

$L_x$  va C ning ketma-ket ulanishi bo'yicha  $\varepsilon = \dots V, C = \dots \mu F, \theta_C / C = \dots \%, R = \dots \Omega$

$\nu_0$ = kGts	$U_{R rez}$ = V	$\nu_{L rez}^{taj}$ = kGts	$U_{L rez}$ = V	$\nu_{C rez}^{taj}$ = kGts	$U_{C rez}$ = V
$\nu, kGts$	$U_R, V$	$\nu, kGts$	$U_L, V$	$\nu, kGts$	$U_C, V$

**13.3-jadval.**

$L_x$  va C ning ketma-ket ulanishi bo'yicha  $\varepsilon = \dots V$

$\nu_{0 rez}^{taj}$ = kGts	$U_{R rez} = V$	$U_{LC rez} = V$
$\nu, kGts$	$U_R, V$	$U_{LC rez}, V$

**13.4-jadval**

$\nu_0$ kGts	$\nu_{L rez}^{naz}$ kGts	$\nu_{L rez}^{taj}$ kGts	$\nu_{C rez}^{naz}$ kGts	$\nu_{C rez}^{taj}$ kGts	$\nu_{0 rez}^{taj}$ kGts	$\delta, s^{-1}$	$Q_{naz}$	$Q_{L taj}$	$Q_{C taj}$

- «Blok maydonlar to'plami» va «Multimetrlar bloki» modullarini yoqing kalitni «TARMOQ» holatidan «YOQILGAN» holatiga o'tkazing. SI tugmasini yoping.
- Quvvat manbai dastagi («E3 0...15V») yordamida kondensator kuchlanishini 10 dan 15 V gacha (o'qituvchi ko'rsatmasiga ko'ra) sozlang.
- SI tugmasini ochib, kondensatorni doimiy kuchlanish manbaidan uzing va kondensatorning zaryadi tushishi jarayonida har 5 soniyada voltmeter ko'rsatkichlarini qayd eting. Natijalarni 14.1-jadvalga yozing.
- SI kondensatoriga C2 kondensatorni (1 mkF) parallel ulang va shunga o'xshash o'lchovlarni ( $C_{parallel}$ ) parallel ulang kondensatorlar uchun takrorlang.
- Modullarni o'chiring.

14.1-jadval

$t, c$	$C_1 = 0,1 \text{ mkF}$		$C_{paral} = \dots \text{ mkF}$	
	$U_1, B$	$\ln U_1$	$U_{paral}, B$	$\ln U_{paral}$
0				
5				
10				
15				
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				
O'rta nuqta				

**O'lchov natijalarini qayta ishlash**

- 14.1-jadvalga  $C_{paral}$  kondensator sig'imini parallel ulanish formulasi bo'yicha hisoblab yozing:  $C_{paral} = C_1 + C_2 = \dots \text{ mkF}$ .

- Bir varaqda quyidagi grafiklarni chizing:  $U_1 = f(t)$  va  $U_1 = f(t) - C_1$  kondensatori uchun, boshqa varaqda esa:  $U_{paral} = f(t)$  va  $U_{paral} = f(t) - C_{paral}$  Kondensatori uchun. Grafiklarda kuchlanish  $U$  o'qi chap tomonda,  $\ln U$  o'qi esa o'ng tomonda joylashgan bo'lishi kerak.
- $U_1 = f(t)$  va  $U_{paral} = f(t)$  grafiklaridan chiziqli bog'liqliklarning burchak koeffitsiyentlarini  $K_1$  va  $K_{parallel}$  ni aniqlang (1-ilova va (1)-formula qarang). Har bir sig'im qiymati uchun zanjirning vaqt konstantasini hisoblang:

$$\tau_1 = -\frac{1}{K_1} \text{ va } \tau_{paral} = -\frac{1}{K_{paral}}$$

- Voltmetr qarshiligini har bir sig'im qiymati uchun quyidagi 14.5 formula bo'yicha hisoblang:  $R_1 = \frac{\tau_1}{C_1} = \dots \text{ Om}$ ,  $R_{paral} = \frac{\tau_{paral}}{C_{paral}} = \dots \text{ Om}$ .

- O'lchangan kattaliklarning nisbiy xatoligini baholang:

$$\delta_{R_1} = \sqrt{\delta_{C_1}^2 + \delta_{\tau_1}^2} \approx \delta_{K_1}, \quad \delta_{R_{paral}} = \sqrt{\delta_{C_{paral}}^2 + \delta_{\tau_{paral}}^2} \approx \delta_{K_{paral}}$$

bu yerda  $\delta_{K_1}$  va  $\delta_{K_{paral}}$  burchak koeffitsiyentlarining xatoligini Ish yakunida olingan eksperimental bog'liqliklarni tahlil qiling va vaqt doimiysini aniqlash usulining aniqligini baholang.

**Nazorat savollari**

- Qanday tok kvazistasionar tok deb ataladi? Elektr toki kvazistasionarligining shartini formulalang.
- Kondensatorning razryadlanish vaqtida kuchlanishning vaqtga bog'liqligini olishda qanday fizik qonunlar va formulalardan foydalaniladi?
- Kondensator razryadlanish vaqtida quyidagi kattaliklar qanday qonun bo'yicha vaqtga bog'liq o'zgaradi: a) plastinkalar zaryadi, b) kondensator kuchlanishi, c) RC-zanjirdagi tok?
- Qaysi kattalik zanjirning vaqt doimiysi deb ataladi va u nima ko'rsatadi?
- RC-zanjirning vaqt doimiysi ushbu zanjir parametrlari bilan qanday bog'langan?

6. O'lchovlar vaqtida multimetrlning ishlash rejimini ko'rsating: o'lchanayotgan kattalik, ish rejimi va qurilma ulanadigan kirishlar.
7. Tadqiq qilinayotgan elektr zanjirida quvvat manbasining vazifasi nimadan iborat?
8. Ish davomida  $U = f(t)$  grafiklari qanday maqsadda quriladi?
9. Tajribaviy bog'liqlik eksponensial ekanligini qanday isbotlash mumkin?
10. Tarkibida  $R$  va  $C$  bo'lgan zanjirning vaqt doimiysi qanday eksperimental aniqlanadi?
11. Ushbu ishda voltmotr qarshiligi qanday usul bilan o'lchanadi?
12. Quyidagi kattaliklarni aniqlash uchun qanday formulalardan foydalaniladi: a) zanjirning vaqt doimiysi, b) multimetr qarshiligi, c) vaqt doimiysi aniqlanishidagi nisbiy xatolik?

## 15-LABORATORIYA ISHI

### "SEGNETOELEKTRIK MATERIALLARNING XOSSALARINI O'RGANISH"

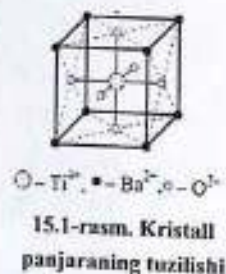
**Maqsad:** Chegaraviy gisterezis xalqasi orqali segnetoelektrlarning asosiy xarakteristikalari va o'lchov metodikasi bilan tanishish, segnetoelektrlarning dielektrik singdiruvchanligining elektr maydoni kuchlanishiga bog'liqligini o'rganish.

**Jihozlar:** «Quvvat manbai moduli», «Maydonlar to'plami va modellashtirish moduli», «Generatorlar bloki», «Multimetrlar bloki»; Minibloklar: «Ferroelektrika» (2000 Hz), «Segnetoelektrik», «Rezistor 100 Om», «Rezistor 470 Om», «Kondensator 100 mκF»; Ossilograf.

Uskunaning ishlash prinsipi segnetoelektrlarning elektr maydon kuchlanishiga bog'liq holda polyarizatsiyasiga asoslangan. Segnetoelektrikka kuchlanish beriladi va uning polyarizatsiyasi kuzatiladi. Gisterezisning dielektrik petlasi ossilograf ekranida tasvirlanadi.

#### Kirish

Segnetoelektriklar - bu kristall dielektriklar guruhi bo'lib, ularning ma'lum bir harorat oralig'ida tashqi elektr maydoni bo'lmagan holatda ham o'z-o'zidan (spontan) qutblanish xususiyati mavjud. Bu qutblanish  $\vec{P}_S$  bilan ifodalanadi ( $\vec{P}_S$  - elektr dipol momentining birlik hajmdagi modda uchun qiymati, tashqi elektr maydoni yo'qligida). Vektor  $\vec{P}_S$  ning kattaligi va yo'nalishi elektr maydoni, mexanik kuchlanish, harorat o'zgarishi va boshqa omillarga bog'liq holda o'zgaradi. Segnetoelektrik xossalar ilk bor I.V. Kurdyumov va P.P. Kobeko tomonidan segnet tuzi (natriy-kaliy tuzi,  $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  - vino kislotasining natriy-kaliy tuzi) misolida batafsil o'rganilgan. Shu sababli bu turdagi dielektriklar "segnetoelektriklar" deb ataladi. Segnetoelektrlarga misollar: bariy titanati ( $\text{BaTiO}_3$ ), triglitaminfosfat  $(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{SO}_4$  va boshqalar. Segnetoelektriklar muhim amaliy ahamiyatga ega. Masalan, segnetoelektrik asosidagi murakkab dielektriklar tayyorlanadi. Ularga turli qo'shimchalar qo'shish orqali, kichik hajmda ham katta sig'imga ega yuqori sifatli kondensatorlar olish mumkin.



Segnetoelektriklar faqatgina kristall jismlar bo'lishi mumkin, ya'ni ularning panjarasi simmetriya markaziga ega emas. Masalan, bariy titanatining kristall panjarasi uchta kublardan iborat kichik strukturalardan tashkil topgan bo'lib, ular bir-birining ichiga joylashgan: birinchisi musbat zaryadlangan bariy ionlari, ikkinchisi manfiy zaryadlangan titan ionlari, uchinchi manfiy zaryadlangan kislorod ionlaridan iborat (15.1-rasm). Titan va kislorod ionlari o'zaro yaqinlashganda, ular orasidagi energiya minimumga tushadi. Bu esa ular bir-biriga qarama-qarshi yo'nalishda siljishi bilan yuz beradi va natijada kristall panjaraning elementar tuzulishidagi simmetriya buziladi.

Agar bunday siljish kristallning barcha elementar yacheykalarida yuz bersa, u holda segnetoelektrik shu siljish yo'nalishida juda katta elektr dipol momentiga ega bo'ladi. Alohida polyarizatsiyalangan yacheykalar o'rtasidagi kuchli elektr o'zaro ta'siri natijasida ular shunday joylashadiki, ularning dipol momentlari bir-biriga parallel bo'ladi. Dipol momentlarning bunday tartibda joylashuvi hatto tashqi elektr maydoni mavjud bo'lmagan holatda ham mumkin. Bu holat spontan polyarizatsiya  $\vec{P}_S$  deb ataladi.

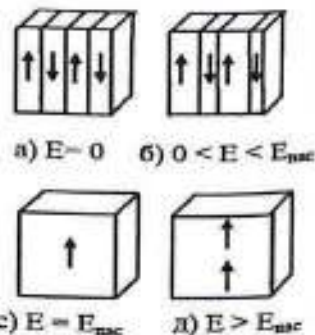
Segnetoelektriklar boshqa dielektrlardan bir qator xususiyatlari bilan farq qiladi:

1. Ularning dielektrik singdiruvchanligi  $\epsilon$  juda katta qiymatga ega (taxminan  $10^5$ ) holbuki, oddiy dielektrlarda bu qiymat odatda bir necha birlikni tashkil qiladi.

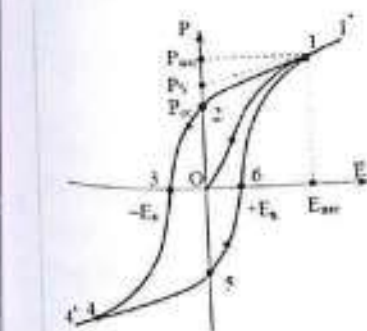
2. Polyarizatsiyaning elektr maydon kuchlanishidan  $E$  bog'liqligi nolineydir. Bu shuni anglatadiki, segnetoelektrlarda

15.2-rasm

dielektrik singdiruvchanlik maydon kuchlanishiga bog'liq bo'ladi. Oddiy dielektrlarda esa bu kattalik maydonga bog'liq emas va moddaning doimiy xususiyati sifatida qaraladi.



3. Tashqi elektr maydoni  $E = 0$  bo'lganda, segnetoelektrikda faqat spontan polyarizatsiya  $\vec{P}_S$  mavjud bo'ladi. Agar segnetoelektrikning makroskopik hajmi spontanga polyarizatsiyalangan bo'lsa, u kuchli elektr maydonining manbai sifatida namoyon bo'ladi. Bu elektr maydoniga katta energiya bog'langan bo'ladi. Demak, bunday holat energetik jihatdan noqulay hisoblanadi. Shuning uchun tizim o'z holatini saqlagan holda, ya'ni spontanga polyarizatsiyani  $\vec{P}_S$  yo'qotmasdan, kamroq energiyali holatga o'tishga intiladi.



15.3-rasm: Gisterezis halqasi

Bu holat quyidagicha amalga oshiriladi: segnetoelektrikning makroskopik hajmi mayda sohalarga - domenlarga ajratiladi, har bir domen esa o'ziga xos spontan polyarizatsiya vektori  $\vec{P}_S$  bilan tavsiflanadi (15.3-rasm). Domenlarning

o'lchami o'rtacha o'n minglab angstromlar, ya'ni mikrometrlar tartibida bo'ladi. Har bir domen ichida barcha elementar yacheykalarining  $\vec{P}_S$  vektorlari bir xil yo'nalishda orientirlangan, biroq turli domenlarda bu yo'nalishlar tasodifiy bo'ladi. Shuning uchun butun segnetoelektrikning umumiy, ya'ni o'rtacha polyarizatsiyasi nolga teng bo'ladi (bu holat 0 nuqta bilan ifodalangan. 15.3-rasm va 15.4a-rasm).

Tashqi elektr maydoni  $\vec{E}$  ta'sir qilganda, segnetoelektrikning polyarizatsiyasi o'zgaradi. Bu polyarizatsiya spontan polyarizatsiya  $\vec{P}_S$  va bu maydon bilan chaqirilgan induksiya qilingan polyarizatsiya  $\vec{P}_{ind}$  yig'indisidan iborat bo'ladi:  $\vec{P} = \vec{P}_S + \vec{P}_{ind}$ .

Polyarizatsiyaning dastlabki ortishi domenlarning "qulay" yo'nalishga nisbatan o'sishi hisobiga yuz beradi. (15.3b-rasm). "Qulay" yo'nalish deganda dipol momentlari tashqi elektr maydoni yo'nalishi bilan kichik burchak hosil qiladigan holat tushuniladi. Bu jarayon eng faol 0-1 egri chiziq bo'lagi uchun sodir bo'ladi. 1 nuqtada barcha domenlarning polyarizatsiyasi elektr maydon  $\vec{E}$  yo'nalishida bo'ladi va segnetoelektrik bir domenli kristallga aylanadi (15.3c-rasm). Bu holatda u to'yinganlik

holatida bo'ladi va unga to'yinganlik kuchlanishi  $E_{NAS}$  mos keladi. Keyingi  $\vec{E}$  ni oshirish esa polyarizatsiyaning sezilarli ortishiga olib kelmaydi, va egri chiziq 0-1 bo'lagidan 1-1' bo'lagiga o'tadi (15.3a-rasm). Keyingi polyarizatsiya ortishi induksiya qilingan polyarizatsiya hisobiga sodir bo'ladi, u esa elektr maydon kuchi  $E$  ga chiziqli bog'liq bo'ladi.

$$\vec{P} = \epsilon_0(\epsilon - 1)\vec{E} \quad (15.1)$$

bu yerda  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  — elektr doimiysi.

To'yinganlik holatiga yetganda, umumiy polyarizatsiyasi spontan va induksiya qilingan polyarizatsiyalarning yig'indisiga teng bo'lganligi sababli, maksimal spontan polyarizatsiya  $\vec{P}_S$  ni aniqlash uchun 1-1' to'g'ri chiziqni R o'qi bilan kesishguncha ekstrapolyatsiya qilish zarur. Agar tashqi maydon kamaytirilsa (1 nuqtadan boshlab),  $P$  ning  $E$  ga bog'liqlik egri chizig'i boshlang'ich egri chiziqqa to'g'ri kelmaydi va undan biroz yuqoriroq o'tadi (1-2 egri chiziq).  $E=0$  bo'lganda ham, segnetoelektrik qayta dipolsiz holatga o'tmaydi, balki qoldiq polyarizatsiya  $P_{qoldiq}$  ni saqlab qoladi (0-2 bo'lagi). Bu hodisa dielektrik gisterezis deb ataladi. Demak, polyarizatsiya vektori  $\vec{P}$  faqat  $\vec{E}$  maydoniga bog'liq bo'lmay, balki segnetoelektrikning avvalgi holatlari tarixiga ham bog'liq bo'ladi.

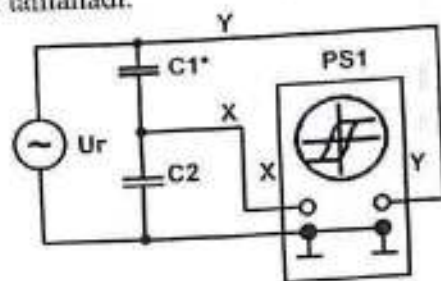
Segnetoelektrikni depolyarizatsiya qilish, ya'ni qoldiq polyarizatsiyani nolga keltirish uchun, qarama-qarshi yo'nalishda ma'lum bir elektr maydoni  $E_k$  ni qo'llash zarur bo'ladi. Bu kuchlanish  $E_k$  (0-3 bo'lagi) qarshilik kuchlanish deb ataladi. Agar maydon shu yo'nalishda yanada oshirilsa, kristalldagi polyarizatsiya yo'nalishini o'zgartiradi va maydon ortishi bilan to'yinganlik holati 4 nuqtada yuz beradi. 4 nuqtadan 4' nuqtagacha bo'lgan keyingi o'sish esa induksiya qilingan polyarizatsiya ta'sirida yuz beradi. Agar kuchlanish yana o'zgartirilib,  $-E_{nas}$  dan  $+E_{nas}$  gacha oshirilsa, segnetoelektrikning elektr holati 4'-4-5-6-1-1' yo'nalishi bo'yicha o'zgaradi. Bu egri chiziqning shu qismi uchun qoldiq polyarizatsiya qiymati 0-5 bo'lagi bo'yicha, koersitiv kuch esa 0-6 bo'yicha aniqlanadi. Yopiq egri chiziq 1'-1-2-3-4-4'-5-6-1-1' shaklida hosil bo'ladi va u gisterezis halqasi deb ataladi.

Elektr maydon kuchlanishi  $-E$  dan  $+E$  gacha o'zgartirilganda va so'ngra  $+E$  dan yana  $-E$  gacha qaytarilganda, bu yerda  $E$ - elektr

maydonining istalgan qiymati bo'lib,  $0 < E < E_{nas}$  (ya'ni to'yinganlik kuchlanishidan kichik), gisterezis halqasi hosil bo'ladi, bu esa qisman halqa deb ataladi. Bunday tsikllar cheksiz ko'p bo'lishi mumkin, va ularning cho'qqilari (ya'ni maksimal qiymatlari) har doim asosiy 0-1 egri chizig'i ustida joylashadi.

### O'lchash usuli

Segnetoelektriklarning xossalarini o'rganish va ularning asosiy xarakteristikalarini to'yinganlikdagi polyarizatsiya, qoldiq polyarizatsiya va koersitiv kuchlanishni aniqlash uchun dielektrik gisterezis halqasidan foydalaniladi. Bunday halqani olish va kuzatish uchun maxsus qurilma qo'llaniladi, uning elektr sxemasi 15.4-rasmga keltirilgan. Ikki kondensator  $C_1$  va  $C_2$ - ketma-ket ulanadi va regulyatorli o'zgaruvchan kuchlanish manbaiga ulanadi.  $C_2$  kondensatori oddiy ("chiziqli") dielektrik bilan to'ldirilgan bo'lib, u doimiy dielektrik singdiruvchanlikka ega.  $C_1$  esa segnetoelektrik moddadan iborat kondensatordir. Kondensatorlar zanjiriga ikkita qarshilik ham parallel ulanadi.  $R_1$  qarshilik tadqiq qilinayotgan segnetoelektrikning qarshiligiga ekvivalent hisoblanadi.  $R_2$  qarshiligi esa osillografga (OZ) berilayotgan kuchlanish signallarining fazalarini tenglashtirish uchun tanlanadi.



15.4-rasm. Elektr sxemasi

$U_r$  — maxsus shakldagi signal generatori; PS1 - GOS-620 rusumli osillograf;  $C_1$  — segnetoelektrik izolyatorga ega kondensator;  $C_2$  — segnetoelektrik bo'lmagan izolyatorga ega kondensator (mini-blok "100 mκF kondensator"); X, Y - kuchlanish chiqishlari ( $U_x$  va  $U_y$ ) ular multimetrlar va osillografning mos kirish uyalariga ulanadi.  $C_1$  kondensatorining sig'imi va segnetoelektrik ichidagi elektr

maydon kuchlanishi  $E_1$  quyidagi formulalar orqali hisoblanadi:

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (15.2)$$

$$E_1 = \frac{UC_1}{d} \quad (15.3)$$

bu yerda:  $\epsilon$  - dielektrik singdiruvchanlik,  $S$  - elektrodning yuza maydoni,  $d$  - ular orasidagi masofa,  $U_{C_1}$  -  $C_1$  kondensatorning plastinalari orasidagi kuchlanish. Kondensatorlar ketma-ket ulanganligi sababli, ularning plastinalaridagi zaryadlar bir xil bo'ladi:

$$Q = C_1 U_{C_1} = C_2 U_{C_2} \quad (15.4)$$

bu yerda  $U_{C_2}$  -  $C_2$  kondensatoridagi kuchlanish. Shundan quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$U_{C_1} = \frac{C_2 d}{\epsilon_0 \epsilon S} U_{C_2}$$

yoki 15.2-formulani hisobga olib:

$$U_{C_1} = \frac{C_2 d}{\epsilon_0 \epsilon S} U_{C_2} \quad (15.5)$$

15.5 ifodani 15.3 ga qo'yib, quyidagicha olinadi:

$$E_1 = \frac{C_1}{\epsilon_0 \epsilon S} U_{C_1} \quad (15.6)$$

15.1 ifodadan, shuningdek, segnetoelektrik uchun  $\epsilon \gg 1$  bo'lsa, quyidagi xulosa qilinadi:

$$E_1 = \frac{P}{\epsilon_0 \epsilon}$$

Shunda 15.6-ifoda quyidagi ko'rinishga keladi

$$\frac{C_1}{\epsilon_0 \epsilon S} U_{C_1} = \frac{P}{\epsilon_0 \epsilon}$$

Shu bilan quyidagi natija chiqadi:

$$U_{C_2} = \frac{S}{C_1} P \quad (15.7)$$

ya'ni, kondensatoridagi kuchlanishning pasayishi  $C_1$  ga nisbatan proporsionaldir. Endi  $U_{R_2}$  ning pasayishini  $R_2$  qarshiligida topamiz. Ushbu qarshilik orqali o'tadigan tok, Ohm qonuniga ko'ra quyidagicha ifodalanadi:

$$I = \frac{U_{R_2}}{R_2} \quad (8)$$

Xuddi shu tok, zanjirning  $R_1 + R_2$  qarshiligi bo'lgan qismini kesib o'tadi:

$$I = \frac{U_{R_1} + U_{R_2}}{R_1 + R_2}$$

bu yerda  $U_{R_1} + U_{R_2} + U_{C_1} = U_{C_2} = U$  - bu esa sxemaga kiritilgan kuchlanishdir (15.4-rasmi). Chunki  $C_2 \gg C_1$  va  $R_1 \gg R_2$ , shuning uchun 15.4 dan quyidagi xulosa qilinadi:  $U_{C_1} \gg U_{C_2}$  va

$$\frac{U_{R_2}}{R_2} = \frac{U_{C_2}}{R_1}$$

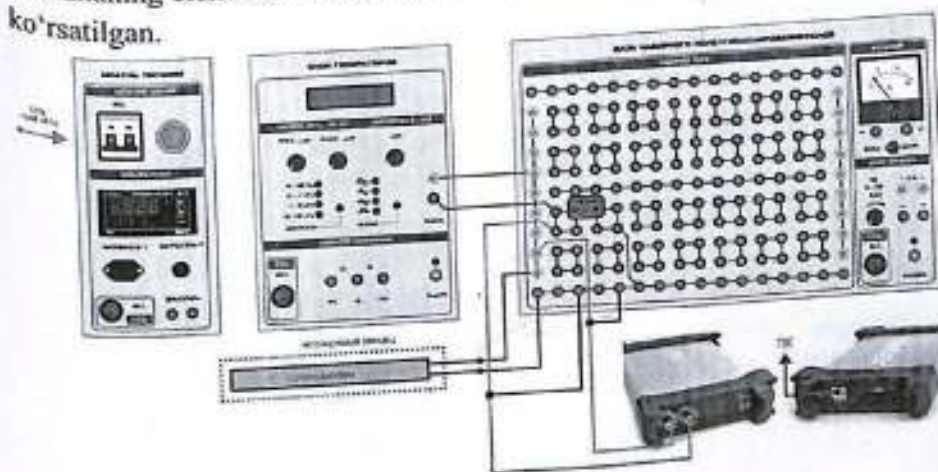
Shu bilan 15.5 tenglikni hisobga olgan holda, quyidagi tenglama olinadi:

$$U_{R_2} = \frac{dR_2}{R_1} E_1$$

ya'ni,  $R_2$  qarshiligidagi kuchlanishning pasayishi tashqi elektr maydonining kuchlanishiga nisbatan proporsional. Shunday qilib, 15.7 va 15.8 tenglamalardan ko'rinib turibdiki, agar  $U_{C_2}$  kuchlanishiga vertikal o'lchovlar ossilografiga kiritilsa,  $U_{R_2}$  kuchlanishi esa gorizontal o'lchovlar  $U_x$  ga kirsam, elektron nurlari X o'qi bo'yicha yo'nalishda bo'ladi va tashqi elektr maydonining X o'qi bo'yicha kuchlanishiga proporsional ravishda elektr maydonining o'zgarishi bir davrida elektron nurlarining polaryzatsiya P o'zgaradi. Bundan tashqari, sinusoida shaklidagi elektr maydonining kuchlanishining o'zgarishi bir davrida elektron nurlarining harakati ekran yuzasida to'liq gistersis davrini va har bir keyingi davrni takrorlaydi. Shuning uchun ekrandagi qo'zg'aluvchan nuqta kuzatiladi.

#### Uskunaning tavsifi.

Uskunaning elektr sxemasi 15.4-rasmda, ulanish sxemasi esa 15.5-rasmda ko'rsatilgan.



### 15.5 –rasm. Ulanish sxemasi

#### Ishni bajarish tartibi

#### O'lovlarini bajarish:

1. Elektr zanjirini rasmda ko'rsatilgan ulanish sxemasiga ko'ra yig'ing- (15.5-rasm). Uskunaning parametrlarini 15.1-jadvalga kiritib yozing.

15.1-jadval

Uskunaning parametrlar:			
$C_2 = 0,1 \mu F, d = 1,00 \cdot 10^{-3} m, s = 19,63 \cdot 10^{-6} m^2, R_1 = 470 \text{ Om}, R_2 = 100 \text{ Om}$			
$U_Y^{max} = \dots V$	$P_{max} = \dots Kl/m^2$	$U_X^{max} = \dots V$	$E_{max} = \dots V/m$
$Y_{max} = \dots mm$	$Y_{ost} = \dots mm$	$Y_s = \dots mm$	$X_K = \dots mm$
$P_{ost} = \dots Kl/m^2$	$P_s = \dots Kl/m^2$	$E_K = \dots V/m$	

- "Generatsiya bloki", "Multimetrlar bloki"ni tarmoqqa ulang. Modullarni ta'minlash – asosiy kalitni (SET) "Yoqish" holatiga o'tkazing. "Generatsiya bloki" modulida boshqarish tugmalarini ishlatib, chiqish signalining shaklini ("sinus"), diapazon tanlash tugmalarini va regulyatorlarni ishlatib, chiqish signalining chastotasini 500 Gts ga sozlang.
- Ossilografni yoqing va elektron nurni ekran markaziga chiqarib qo'ying.
- Transformatorning dastlabki o'ramidagi kuchlanishni oshiring, maxsus shakldagi signalni (kuchlanishni 4,0 V gacha oshiring) oling va chegaraviy gistersis tasvirini ko'rsating. Agar kuchlanish oshsa, bu maydonning hajmini oshirishga olib kelmasligini tekshirib ko'ring.
- Ossilografning boshqarish tugmalari yordamida  $\leftarrow$  va  $\uparrow$  ishga tushirib, xalqaning tasvirini simmetrik holatda X va Y o'qlariga nisbatan joylashtiring.
- Ossilograf ekranida koordinatalar  $x_k, x_{max}, x_{act}, y_s, y_{max}$  ni o'lchang (15.6-rasm).
- "Kuchlanish" dastagi yordamida  $U_y$  kuchlanishini nolga kamaytiring. Bu qo'l bilan  $U_y$  ni nolga yaqinlashtirib, uni taxminan 0.40 V gacha oshiring, maksimal  $U_Y^{max}$  qiymatiga yetkazish uchun. Shuningdek,  $U_x$  uchun mos keladigan kuchlanish qiymatlarini o'lchab, 15.2-jadvalga yozing.

15.2-Jadval

№	Miqdor				
	$U_Y, V$	$U_X, V$	$E, V/m$	$P, Kl/m^2$	$\epsilon$
1					
...					
10					

9. Modullar va Ossilografni o'chirib qo'ying.

#### O'lov natijalarini qayta ishlash:

1. 15.1-jadval va 15.7- 15.8-formulalardan foydalangan holda, segnetoelektrikning polaryzatsiya darajasi va kuchlanish maydonini hisoblang:

$$P_{max} = \frac{C_2}{s} U_Y^{max}, E_{max} = \frac{R_1}{R_2 R} U_X^{max}$$

Hisoblash natijalarini 15.1 jadvaliga yozing.

2. 15.1 jadvaldan foydalanib, statik polaryzatsiya va qoldiq polaryzatsiyani hisoblang,  $P_{res}$  va konsentratsion energiya  $E_K$  ni quyidagi formula yordamida hisoblang:

$$P_s = P_{max} \frac{Y_s}{Y_{max}}, P_{ost} = P_{max} \frac{Y_{ost}}{Y_{max}}, E_K = E_{max} \frac{X_K}{X_{max}}$$

3. 15.1 va 15.2 jadvaldan foydalanib, polaryzatsiya, kuchlanish va dielektrik proporsionallikni hisoblang:

$$P = \frac{C_2}{s} U_Y, E = \frac{R_1}{R_2 d} U_X, \epsilon = \frac{P}{\epsilon_0 E}$$

Hisoblash natijalarini 15.2 jadvaliga yozing va  $P = f(E)$  va  $E = f(P)$  bog'lanishini grafik tarzda qurib chiqing. Olingan natijalar asosida tegishli xulosalar chiqarilsin.

#### Nazorat savollari

- Qaysi moddalar dielektrik deb ataladi?
- Dipolning elektr momenti nima?
- Dielektriklarning polaryzatsiyasi nima?
- Segnetoelektriklarning xos xususiyati nima?
- Segnetoelektriklarning spontan polaryzatsiyasi nima bilan bog'liq?
- Gistersis nima?
- To'lqinlar nima?
- Segnetoelektriklar qayerda qo'llaniladi?

16-LABORATORIYA ISHI  
 "YARIMO-TKAZGICHLARDA ELEKTRON- TESHİK O'TISHINI  
 O'RGANISH"

**Maqsad:** Yarim o'tkazgichli diodlarning asosiy xususiyatlari, xarakteristikalarini va parametrlarini o'rganish, ularning Volt-Amper xarakteristikalarini (VAX) o'rganish.

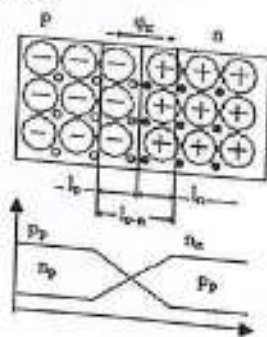
**Jihozlar:** Modullar: "Generator bloki", "Multimetr bloki", "Maydonlarni modellashtirish bloki" Miniblok: "Reostat 470 Ohm", "Kondensator 1 mkF" Osiloskop.

**Asosiy tushunchalar va hisoblash formulalari**

Aksariyat yarimo'tkazgichli qurilmalarning asosiy fizik elementi bu p-n o'tish hisoblanadi. U o'zaro tutashgan ikki yarimo'tkazgich sohasi o'rtasida hosil bo'lgan o'tish qatlamidan iborat bo'lib, bu sohalaridan biri asosiy zaryad tashuvchilar sifatida erkin elektronlarga ega bo'lgan n-tipli, ikkinchisi esa asosiy zaryad tashuvchilar sifatida kovaklarga ega bo'lgan p-tipli yarimo'tkazgichdir.

**p-n o'tishining shakllanishi. p-n o'tishi barqaror holatda**

P-n o'tishning tashqi kuchlanishsiz holati muvozanat holati deb ataladi. Ma'lumki, p-tipli sohada ikkita asosiy zaryad tashuvchilar mavjud: bu - manfiy zaryadlangan va harakatsiz akseptor qo'shimcha atomlarining ionlari hamda musbat zaryadlangan kovaklar. n-tipli sohada esa shunga o'xshash ikki xil asosiy zaryad tashuvchilar mavjud: bu - musbat zaryadlangan harakatsiz donor qo'shimcha ionlari hamda manfiy zaryadlangan erkin elektronlar.



16.1-rasm

p va n sohalar tutashguniga qadar elektronlar, kovaklar va qo'shimcha

atomlar ionlari bir tekis taqsimlangan bo'ladi. p va n sohalar chegarasida kontakt yuzaga kelganda, erkin zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi gradienti hosil bo'ladi va diffuziya jarayoni sodir bo'ladi. Diffuziya ta'sirida elektronlar n-sohadan p-sohaga o'tib, u yerda d kovaklar bilan rekombinatsiyalanadi. Shu bilan birga, kovaklar p-sohadan n-sohaga o'tib, u yerda elektronlar bilan rekombinatsiyalanadi. Erkin zaryad tashuvchilarning bunday harakati natijasida chegaraviy hududda ularning konsentratsiyasi deyarli nolga tushadi. Shu bilan bir paytda, p-sohada akseptor qo'shimchalarining manfiy zaryadlangan harakatsiz ionlaridan iborat fazoviy zaryad, n-sohada esa donor qo'shimchalarining musbat zaryadlangan harakatsiz ionlaridan iborat fazoviy zaryad hosil bo'ladi. Ushbu qarama-qarshi zaryadlar o'rtasida kontakt potentsiallar farqi - phi\_k va unga muvofiq elektr maydoni - E\_k yuzaga keladi, u esa p- va n-sohalarning ichki qismidan erkin zaryad tashuvchilarning p-n o'tish orqali diffuziyasiga to'sqinlik qiladi. Shu tariqa, erkin zaryad tashuvchilarning harakati natijasida yuzaga kelgan va o'z elektr maydoniga ega bo'lgan soha p-n o'tish deb ataladi.

p-n o'tishi ikki asosiy parametr bilan tavsiflanadi:

1. Potentsial to'siq balandligi. Bu kontakt potentsiallar farqi phi\_k ga teng. O'tishdagi potentsial farqi zaryad tashuvchilari konsentratsiyasi gradienti bilan belgilanadi. Bu energiya, erkin zaryadga potentsial to'siqni yengib o'tish uchun kerak bo'lgan energiya:

$$\varphi_k = \varphi_p - \varphi_n = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_a N_d}{n_i^2} = \frac{kT}{e} \ln \frac{p_p}{p_n} = \varphi_T \ln \frac{p_p}{p_n}$$

bu yerda: k - Boltsmann doimiysi; e - elektronning zaryadi; T - temperatura; N\_a va N\_d - akseptor va donorlarning konsentratsiyasi, p\_p va p\_n - p va n hududlaridagi bo'shliqlarning konsentratsiyasi; n\_i - sof yarim o'tkazuvchanlikning konsentratsiyasi. Potentsial to'siqning temperaturaga bog'liqligi: phi\_T = kT/e. Agar harorat T = 270K bo'lsa, phi\_T = 0.025 B va bu germaniy o'tishlar uchun phi\_T = 0.6 B, kremniy o'tishlari uchun esa phi\_T = 0.88 B. Ga teng.

2. p-n o'tishining kengligi (16.2- rasm) zaryad tashuvchilari birikkan chegara hududidir. p-n o'tishining kengligi quyidagi formulalar bilan ifodalanadi: l\_p - n = l\_p + l\_n:

$$l_p = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon\varphi_k}{e} \frac{1}{N_A}} l_k = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon\varphi_k}{e} \frac{1}{N_p}}$$

Shu bilan:

$$l_p - l_k = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon\varphi_k}{e} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_p} \right)}$$

bu yerda  $\varepsilon_0$  - materialning dielektrik singdiruvchanligi ;  $\varepsilon_0$  - elektr doimiysi.

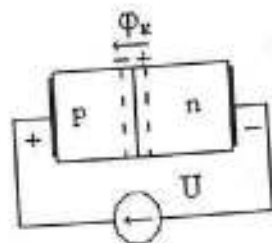
Elektron-kovak o'tishining qalinligi (0,1 - 10)  $\mu\text{m}$  oralig'ida bo'ladi. Agar  $N_a = N_d$  unda  $l_a = l_p$  va p-n o'tishi simmetrik bo'ladi. Agar  $N_a > N_d$  ( $N_a < N_d$ ), unda  $l_a > l_p$  va p-n o'tishi nosimmetrik bo'ladi, bu holatda u yarim o'tkazgichda aralashma konsentratsiyasi kamroq bo'lgan hududda joylashadi. Muvozanat holatida (ya'ni tashqi kuchlanishsiz) p-n o'tish orqali ikki qarama-qarshi yo'nalgan zaryad oqimi harakatlanadi (ikki xil tok mavjud bo'ladi). Ulardan biri bu asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning dreif toki, ikkinchisi esa asosiy zaryad tashuvchilar bilan bog'liq bo'lgan diffuziya tokidir. Tashqi kuchlanish mavjud bo'lmaganligi sababli, tashqi zanjirda umumiy tok kuzatilmaydi, va natijada, dreif toki hamda diffuziya toki bir-birini to'liq muvozanatlaydi, shuning uchun p-n o'tishdagi umumiy tok nolga teng bo'ladi.

$$I_{ap} + I_{dif} = 0$$

Bu munosabatni izolatsiyalangan p-n o'tishida diffuziya va dreif jarayonlarining dinamik muvozanat shartlari deb atashadi. p va n hududlari o'zaro kontakt qiladigan yuza dielektrik chegara deyiladi. Haqiqatan, bu yuzaning ma'lum bir qalinligi bor ( $\delta_m$ ).

#### p-n o'tishi tashqi kuchlanish ostida

Tashqi kuchlanish p-n o'tishidagi toklarning dinamik muvozanatini buzadi. p-n o'tishi barqaror holatdan beqaror holatga o'tadi. Tashqi kuchlanishning p-n o'tishidagi hududlarga qo'llanilishiga qarab, ikki xil ish rejimi mavjud bo'lishi mumkin.



16.2-rasm.

1) p-n o'tishning to'g'ri ulangan holati. Agar quvvat manbaining musbat qutbi p-sohaga, manfiy qutbi esa n-sohaga ulanadigan bo'lsa, u holda p-n o'tish to'g'ri yo'nalishda ulanilgan deb hisoblanadi (16.2-rasmga).

To'g'ri ulanish holatida ichki elektr yurituvchi kuch ( $\varphi_k$ ) va tashqi kuchlanish (U) qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi, natijada p-n o'tishdagi umumiy kuchlanish  $\varphi_k - U$  miqdorigacha kamayadi. Bu esa elektr maydon kuchlanishining kamayishiga olib keladi va asosiy zaryad tashuvchilarning diffuziya jarayoni yana faollashadi. Bundan tashqari, to'g'ri ulanish p-n o'tish zonasining kengligini ham kamaytiradi, chunki o'tish zonasining kengligi  $I_{p-n} \approx (I_k - U)^{1/2}$  ifodasi bilan aniqlanadi. Natijada, asosiy zaryad tashuvchilarning diffuziya toki dreif tokiga nisbatan ancha ortadi. Shunday qilib, p-n o'tish orqali to'g'ri yo'nalgan tok oqib o'tadi.

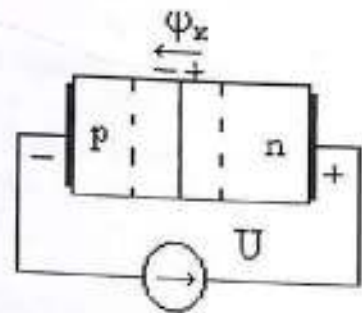
$$I_{p-n} = I_p + I_{dif} + I_{dr}$$

To'g'ri tokning oqib o'tishi davomida p-hududdagi asosiy zaryad tashuvchilar n-hududga o'tadi, u yerda ular neytrallashadi. Diffuziya jarayonida asosiy zaryad tashuvchilar neytral holatga o'ta boshlaydi. Neytral zaryad tashuvchilarning kompensatsiyasi uchun n-hududida to'plangan zaryad tashuvchilari p-hududiga o'tib, tashqi zanjirda elektr tokini yuzaga keltiradi, bu esa elektr neytrallik prinsipining saqlanishini anglatadi.

Tashqi kuchlanish U oshganda, tok keskin oshadi,  $I_{pn} = I_0 e^{U/\varphi T}$  bu yerda  $\varphi T$  temperaturali potensial va tok katta qiymatlarga yetishi mumkin, chunki bu asosiy zaryad tashuvchilari bilan bog'liq va ularning konsentratsiyasi katta.

2) Teskari ulash, bu p-hududiga manfiy, n-hududiga esa musbat tashqi kuchlanish qo'llanganda yuzaga keladi (16.3-rasm).

Bunday tashqi kuchlanish  $U, i_k$  ga muvofiq ulanadi. Potentsial to'siq balandligini  $i_k + U$  ga oshadi; Elektr maydonining kuchlanganligi va p-n o'tishining kengligi oshadi, chunki  $I_{p-n} \approx (i_k - U)^{1/2}$  Diffuziya jarayoni to'liq to'xtaydi va p-n o'tishidan dreif toki oqib o'tadi. Bunday tokni p-n o'tishining teskari toki deb atashadi, va u zaryad tashuvchilari bilan bog'liq bo'lib, ular termogeneratsiya orqali paydo bo'ladi. Shuning uchun bunday tokni issiqlik toki deyiladi va  $I_0$  bilan belgilanadi.



16.3 - rasm

$$I_{p-n} = I_{tes} = I_{dif} + I_{dr} = I_0$$

Bu tok juda kichik bo'ladi, chunki u asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilar bilan bog'liq bo'lib, ularning konsentratsiyasi juda past. Shu sababli, p-n o'tish bir tomonlama o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'ladi.

Teskari siljitish holatida p-n o'tish chegarasida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi muvozanat holatiga nisbatan biroz kamayadi. Bu esa p va n sohalarining ichki qismlaridan p-n o'tish chegarasiga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning diffuziyasiga olib keladi. Ular chegaraga yetib borgach, kuchli elektr maydon ta'siriga tushadi va p-n o'tish orqali tashiladi, bu yerda ular asosiy zaryad tashuvchilarga aylanadi. Asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning p-n o'tish chegarasiga tomon diffuziyasi va ular orqali drift bilan o'tib, asosiy tashuvchilarga aylanishi jarayoni ekstraksiya deb ataladi. Aynan ekstraksiya jarayoni teskari tokni hosil qiladi, ya'ni bu asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning teskari yo'nalishdagi toki hisoblanadi.

Teskari tokning kattaligi atrof-muhit haroratiga, yarimo'tkazgich materiali turiga va p-n o'tish yuzasining maydoniga katta darajada bog'liq

bo'ladi.

Haroratga teskari bog'liq tokni aniqlovchi ifoda quyidagicha:  $I_0(T) = I_0(T_0) 2^{\frac{T-T_0}{T}}$  bu yerda  $T_0$  - nominal temperatura,  $T$  - amaldagi temperatura,

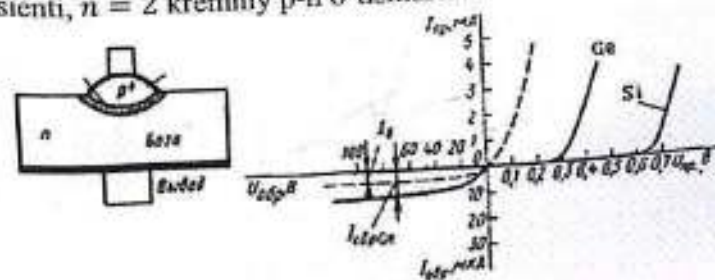
$T^*$  - issiqlik tokining ikkilanish harorati  $T^* = \begin{cases} 5 - 6^\circ\text{C, Si} \\ 8 - 10, \text{Ge} \end{cases}$  Kremniy o'tishidagi issiqlik tokini germaniy o'tishiga nisbatan  $I_0(T_0)$  (3-4 tartibda kichikroq) hisoblash mumkin. Bu esa  $i_k$  bilan bog'liq. O'tish maydoni maydoni oshgani sayin, uning hajmi ham ortadi, va shu bilan birga issiqlik toki va termogeneratsiya jarayonida hosil bo'ladigan asosiy zaryad tashuvchilari soni ham ortadi. Shunday qilib, p-n o'tishining asosiy xususiyati - uning bir tomonlama o'tkazuvchanligi bo'lib, uning VAX (volt-ampere xarakteristikasi) rasmda keltirilgan (16.4- rasm).

#### Yarim o'tkazgichli diodlar

Bitta p-n o'tishga ega bo'lgan va ikkita kontakt bilan jihozlangan yarimo'tkazgichli qurilma yarimo'tkazgichli diod deb ataladi (16.4-rasm). p-n tuzilmasining p' deb belgilangan sohasi emitter, asosiy zaryad tashuvchilarning bazaga nisbatan yuqoriroq konsentratsiyasiga ega. Ikkinchi soha esa baza deb ataladi. Yarimo'tkazgichli diodning statik volt-ampere xarakteristikasi (VAH) 16.4-rasmda keltirilgan. Shu rasmda punktir chiziq bilan elektron-kovak (p-n) o'tishning nazariy VAX ham tasvirlangan bo'lib, u quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$I = I_0 e^{\frac{U}{mT}} - 1$$

bu yerda:  $I_0$  - to'ldirish toki,  $U$  - p-n o'tishiga qo'llanilgan kuchlanish,  $\varphi T = \frac{kT}{e}$  - temperaturali potentsial ( $k$  - Boltsmann doimiysi,  $T$  - temperatura,  $e$  - elektronning zaryadi),  $n$  - tuzilishning sifat koeffitsienti,  $n = 2$  kremniy p-n o'tishlarida.



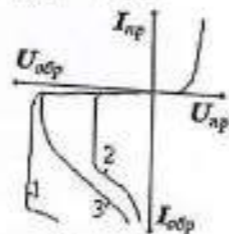
### 16.4-rasm

Kremniyli diodlar, asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi past bo'lgani sababli, germaniyli diodlarga nisbatan ancha kichik teskari tok qiymatiga ega. Shu sababli, kremniyli diodlarning volt-ampere xarakteristikasining (VAX) teskari tarmoqlanishi tanlangan mashtabda deyarli absitsa o'qi bilan ustma-ust tushadi. Bunda kremniyli diodlarning to'g'ri tarmoqlanishi esa VAX grafigida germaniyli diodlarga nisbatan sezilarli darajada o'ngroqda joylashadi. Agar germaniy diodi orqali doimiy tok o'tsa, diodning harorati o'zgarganda uning kuchlanishidagi pasayish taxminan  $2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  ga teng bo'ladi:  $\frac{dU}{dt} = 2,5 \text{ V}/^\circ\text{C}$ .

Integratsiyalashgan rejimda diodlar uchun  $\frac{dU}{dt} - 1,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  dan  $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  gacha bo'lib, mikrotok rejimida esa maksimal qiymatga etadi. Diodning teskari toki ruxsat etilgan maksimal darajada ortishi uning ruxsat etilgan maksimal haroratini belgilaydi. Bu harorat **germaniyli diodlar** uchun  $80-100^\circ\text{C}$ , **kremniyli diodlar** uchun esa  $150-200^\circ\text{C}$  ni tashkil qiladi. Diodning minimal ruxsat etilgan harorati esa taxminan  $-(60-70)^\circ\text{C}$  oralig'ida joylashgan. **Diodning differensial qarshiligi** deb dioddagi kuchlanishning ortishi bilan hosil bo'lgan tok ortishi o'rtasidagi nisbatga aytiladi:

$$r_{dif} = \frac{dU}{dI}$$

Shu bilan, p-n o'tish uchun  $\rho_{dif} = \varphi/I$ .



16.5-rasm.

Diodga teskari kuchlanish ma'lum bir kritik qiymatdan oshganda, teskari tokning keskin o'sishi kuzatiladi (16.5-rasm). Bu hodisa diodning buzilishi deb ataladi. Buzilish quyidagi ikki asosiy sababdan yuzaga keladi. Diodning buzilishi p-n o'tishida kuchli elektr maydonining ta'siri natijasida yuzaga

keladi (16.5-rasm, 1 va 2-chi egri chiziqlar) va tunnel buzilish deyiladi. **Issiqlik buzilishi**: p-n o'tish orqali katta tok o'tganda, issiqlik ajralib chiqadi va agar issiqlik yetarlicha tarqalmasa (ya'ni issiqlik chiqarish yomon bo'lsa), p-n o'tish qizib ketadi (16.5-rasm, 3-chi egri chiziq). Bunday probani issiqlik buzilishi deb atashadi. Diodning sifatida ishlashida teskari kuchlanish maksimal buzilish qiymatidan oshmasligi shart. Qabul qilinadigan teskari kuchlanish qiymati elektr buzilishining oldini olish uchun hisobga olinadi va  $(0,5 - 0,8) U_{prob}$  ga teng bo'ladi.

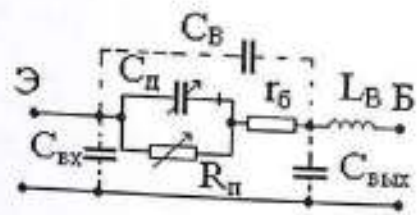
Diodning sig'imi haqida gap borganda, odatda diod chiqishlarida, berilgan siljitish kuchlanishi va chastotada o'lchanadigan umumiy sig'im  $C_a$  nazarda tutiladi. Diodning umumiy sig'imi, to'siq sig'imi  $C_b$ , diffuziya sig'imi  $C_{dif}$ , va asbobning korpus sig'imi  $C_k$  yig'indisiga teng (16.6-rasm).

**To'siq sig'imi** - bu p-n o'tish zonasida, kompensatsiyalanmagan hajmiy zaryad tashuvchilari - asosan akseptor va donor ionlari - tomonidan hosil qilinadigan sig'imdir. Ushbu zaryadlar p-n o'tishning har ikki tomonida, ya'ni p-hududda akseptor ionlari va n-hududda donor ionlari ko'rinishida mavjud bo'lib, ular diffuziya natijasida asosiy zaryad tashuvchilarning (kovak va elektronlarning) bir-biri bilan rekombinatsiyalashuvi tufayli hosil bo'lgan statsionar zaryadlardir.

To'siq sig'imi modelining fizik analogi sifatida uni tekis plastinkali kondensator bilan taqqoslash mumkin. Bu yerda kondensatorning plastinkalari sifatida p- va n-hududlar, dielektrik material sifatida esa p-n o'tishning dielektrik zonasi xizmat qiladi. Ushbu zonada deyarli harakatsiz, statsionar holatda bo'lgan ionlashgan donor va akseptor zarralari mavjud bo'ladi. To'siq sig'imining miqdori kuchlanishga bog'liq bo'lib, u o'nlabdan yuzlab pikofaradgacha o'zgarishi mumkin. Teskari kuchlanish ortgani sayin to'siq qatlamining kengligi oshadi va natijada sig'im kamayadi; shu sababli, to'siq sig'imi kuchlanish ortishi bilan keskin o'zgarishi mumkin, ba'zida u o'n baravargacha kamayadi.

**Diffuziya sig'imi** esa p-n o'tish orqali o'tayotgan asosiy zaryad tashuvchilarning (elektronlar va kovaklarning) hajmiy konsentratsiyasi o'zgarganda yuzaga keladigan to'g'ri tokning dinamik xususiyatlaridan kelib chiqadi va diffuziya sig'imi bilan tavsiflanadi. Struktura nuqtai

nazaridan, diffuziya sig'imi to'siq sig'imi bilan parallel ulangan deb qaraladi.



16.6-rasm.

Yarim o'tkazgichli diodning ekvivalent sxemasi 16.6- rasm da tasvirlangan. Bu yerda:  $C_D$  -diodning umumiy sig'imi;  $R_p$  -o'tish qarshiligi, bu qiymat diodning statik VAX yordamida aniqlanadi ( $R_p = \frac{U}{I}$ );  $r_b$  -diodning baza va chiqishlari o'rtasidagi taqsimlangan elektr qarshiligi.

Ba'zan o'zgartirish sxemasi diodning chiqishlari orasidagi sig'im  $C_v$  -kirish va chiqish sig'imlari  $C_{vh}$  va  $C_{vux}$  (nuqta bilan ko'rsatilgan) va chiqishlarning induktivligini  $L_v$  bilan to'ldiriladi.

#### Yarim o'tkazgichli diodlarning turlari

To'g'rilovchi diodlar -bu 50 Hz dan 100 kHz gacha bo'lgan chastotali o'zgaruvchan toklarni to'g'rilash uchun qo'llaniladigan yarimo'tkazgichli diodlardir. Ularning ishlash prinsipi p-n o'tishning bir yo'nalishli o'tkazuvchanlik xususiyatiga asoslangan.

To'g'rilovchi diodlarning asosiy xususiyati — bu kattaligi bo'yicha yuqori qiymatlarga ega bo'lgan toklarni to'g'rilashga mo'ljallangan, katta maydonli p-n o'tishlarga ega bo'lishidir.

Bunday diodlarning asosiy texnik-parametrlari, odatda, faqat bitta yarim davrda ishlaydigan to'g'rilovchi sxemada ishlash rejimi uchun keltiriladi. O'rtacha to'g'ri kuchlanish  $U_{pr, sr}$  -dioddagi o'rtacha to'g'ri kuchlanish bo'lib, u maksimal ruxsat etilgan to'g'rilangan tok o'tgan vaqt davomida hisoblanadi.

O'rtacha teskari tok  $I_{obr, sr}$  -dioddagi o'rtacha teskari tok bo'lib, u

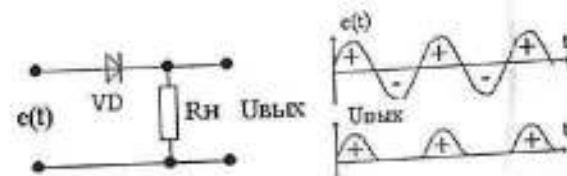
maksimal teskari kuchlanishda o'lchanadi.

Maksimal ruxsat etilgan teskari kuchlanish  $U_{obr, max}$  - diod uzoq vaqt davomida ishonchli ishlashini ta'minlaydigan maksimal doimiy (yoki impulsli) teskari kuchlanish.

Maksimal ruxsat etilgan to'g'rilangan tok  $I_{pp, sr, max}$  -diod orqali o'tayotgan o'rtacha tok (doimiy tarkib) bo'lib, diodni ishonchli va uzoq muddatli ishlashini ta'minlaydi.

Maksimal ruxsat etilgan qiymatlarning oshirilishi diodning xizmat muddatining keskin qisqarishiga yoki diodning bizilishiga olib keladi.

Maksimal chastota  $f_{max}$  -diodda ishlayotgan to'g'rilash qurilmasi uchun qo'llaniladigan maksimal kuchlanish chastotasi bo'lib, bu chastotada diod samarali ishlaydi va uning qizishi ruxsat etilgan qiymatdan oshmaydi. To'g'rilash qurilmasida o'zgarmas tok energiyasi diodlarning bir tomonlama o'tkazuvchanligi orqali o'zgarmas tok energiyasiga aylantiriladi.



16.7-rasm.

16.7-rasmda bir yarm davrli to'g'rilash sxemasi keltirilgan. To'g'rilash qurilmasining ishlash jarayoni quyidagicha, Agar generator sinusoidal kuchlanishni ishlab chiqarsa,

$$e = E_m \sin \omega t$$

unda musbat (+) yarmida diod uchun kuchlanish to'g'ri bo'ladi, uning qarshiligi kichik bo'lib, rezistor orqali tok oqadi, bu esa rezistor  $R_n$  da  $U_{chiq}$  kuchlanishining tushishiga olib keladi, bu kuchlanish kiruvchi kuchlanish  $e(t)$  ga mos keladi. Keyingi manfiy (-) yarmida diod uchun kuchlanish teskari bo'ladi, diodning qarshiligi katta, tok deyarli o'tmaydi va shuning uchun  $U_{chiq} = 0$ .

Shu tariqa diod va  $R_n$  orqali pulsatsiyalanuvchi to'g'rilangan tok oqadi. Bu tok  $R_n$  rezistorida pulsatsiyalanuvchi to'g'rilangan kuchlanishni  $U_{chiq}$  hosil qiladi.

To'g'rilangan kuchlanishning foydali qismi uning doimiy tarkibi yoki o'rtacha qiymati  $U_{sr}$  quyidagicha hisoblanadi:

$$U_{sr} = \frac{U_{max}}{p} = 0.318U_{max}$$

Shunday qilib,  $U_{sr}$  maksimal qiymatning taxminan 30% ini tashkil etadi. To'g'rilangan kuchlanish odatda elektron sxemalarini quvvatlantirish uchun ishlatiladi.

Yuqori chastotali va impulsli diodlar o'zgaruvchan toklarni to'g'rilash, signalni modulyatsiya qilish va detektrlash uchun ishlatiladi, ularning chastotasi bir necha yuz megagerts gacha bo'lishi mumkin. Impulsli diodlar mikrosekund va nanosekund davomiyligidagi impulslar bilan ishlovchi qurilmalarda asosiy kalit (kommutatsiya) elementlar sifatida qo'llaniladi. Ularning asosiy parametrlari quyidagilardan iborat: Maksimal ruxsat etilgan teskari kuchlanish  $U_{obr.max}$  - bu doimiy (impulsli) teskari kuchlanishlar bo'lib, uning oshirilishi diodning darhol shikastlanishiga olib keladi.

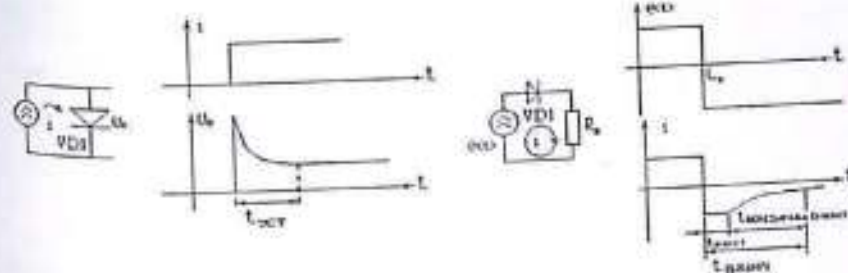
Doimiy to'g'ri kuchlanish  $U_{pr}$  - diodda doimiy to'g'ri tok  $I_{pr}$  o'tganida kuchlanishning diodda hosil bo'ladigan tushuvi.

Doimiy teskari tok  $I_{obr}$  - diod orqali maksimal teskari kuchlanish  $U_{obr.max}$  o'tgandagi tok. Qanchalik kichik bo'lsa, diod shunchalik sifatli bo'ladi.

Diodning sig'imi  $C_d$  - bu diod chiqishlari orasidagi berilgan kuchlanish sharoitida o'lchanadigan sig'im. Teskari kuchlanish oshishi bilan  $C_d$  sig'imi kamayadi. Qisqa davomli impulslar bilan ishlaganda, diodning yoqilishi va o'chirilishidagi inertlik (ya'ni kechikish) jarayonlarini hisobga olish zarur bo'ladi.

Bu holat quyidagi parametrlar orqali tavsiflanadi:

1. Diodda to'g'ri kuchlanishning o'rnatilish vaqti  $t_{ust}$  - bu vaqt, to'g'ri tokni yoqish orqali diodda kuchlanish ma'lum aniqlik bilan o'zining stasionar qiymatiga yetishi uchun kerak bo'lgan vaqt (rasm 16.8- rasm).



16.8-rasm

16.9-rasm

Bu vaqt diffuziya tezligi bilan bog'liq bo'lib, emitter tomonidan baza sohasiga in'ektsiya qilingan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning to'planishi hisobiga bazaning qarshiligining kamayishi bilan tavsiflanadi. Dastlab bu qarshilik yuqori bo'ladi, chunki zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi kam. To'g'ri kuchlanish berilgach, baza sohasida asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi ortadi, bu esa diodning to'g'ri yo'nalishdagi qarshiligini kamaytiradi.

2. Diodning teskari qarshiligini tiklash vaqti ( $t_{tik}$ ) - bu diodga berilgan kuchlanishning yo'nalishi to'g'ri dan teskari tomonga o'zgartirilgach, teskari tokning o'zining stasionar (barqaror) qiymatiga belgilangan aniqlikda yetguncha o'tgan vaqt (odatda bu aniqlik teskari tokning maksimal qiymatining 10 foizi bilan belgilanadi) (16.9-rasm). Ushbu vaqt to'g'ri tok o'tganda baza sohasida to'plangan asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning tarqalib ketishi (rekombinatsiyasi) bilan bog'liq. Bu tiklanish vaqti ikki tarkibiy qismdan iborat:  $t_{tik} = t_1 + t_2$  bu yerda  $t_1$  - tarqalish (rekombinatsiya) vaqti, ya'ni asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi p-n o'tish chegarasida nolga tenglashadigan vaqt;  $t_2$  - diffuziya sig'imi bo'yicha zaryadning chiqarilishi vaqti, bu bazaning hajmida neoddiy zaryad tashuvchilarning so'rilishi bilan bog'liq.

Umuman olganda, tiklanish vaqti - bu diodning o'chish vaqti deb ham qaraladi. Tez almashish talab etiladigan sohalarda Shottki diodlari qo'llaniladi Bunday holatlarda Shottki diodlari ishlatiladi. Bu diodlar metall-yarimo'tkazgich o'tishiga asoslangan bo'lib, u to'g'rilash



bu yerda:  $\Delta E$  - stabilizator kirishidagi kuchlanishning o'zgarishi;  $\Delta U_{st}$  - stabilizator chiqishidagi kuchlanishning o'zgarishi. Amaliy  $K_{st}$  koeffitsienti bir necha o'nlik qiymatlarni tashkil etadi.

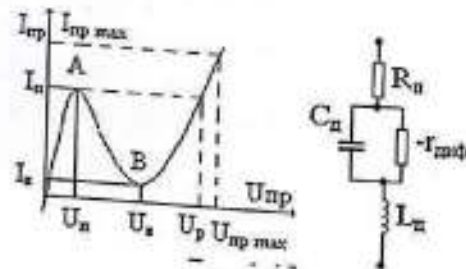
**Varikap** - yarim o'tkazgichli diod, elektr bilan boshqariladigan sig'imi sifatida ishlatiladigan element. Teskari kuchlanish oshirilganda, varikapning sig'imi quydagicha kamayadi:

$$C_b = C_0 \left( \frac{\varphi_k}{\varphi_k + U} \right)^n$$

bu yerda  $C(U)$  - diodning sig'imi;  $C_0$  - diodning sig'imi teskari kuchlanish nolga teng bo'lgandagi sig'im;  $\varphi_k$  - potentsiallar farqi;  $n$  - varikap koeffitsienti ( $n=1/2-1/3$ );  $U$  - varikapga qo'llaniladigan teskari kuchlanish. Varikap, signal chastotasini ko'paytirish uchun mo'ljallangan diodga "varaktor" deb ataladi.

O'zgaruvchan sig'imning asosiy parametrlari quyidagilarni o'z ichiga oladi:

1. o'zgaruvchan umumiy sig'im  $C_v$  - bu ma'lum bir teskari kuchlanishda o'lchanadigan sig'imdir (odatda  $U=5B$  da o'lchanadi) va o'nlab - yuzlab pF bo'ladi.
2. Sig'im bo'yicha qamrov koeffitsienti  $K_p$  - bu varikapning sig'imi ikki chegara, teskari kuchlanish qiymatlaridagi sig'imlar nisbatidir ( $k_v = \frac{C_{max}}{C_{min}}$  bu koeffitsient odatda 5 dan 8 gacha bo'ladi);
3. Varikapning qarshiligi  $Q$  - bu reaktiv qarshilik bo'lib,  $X_c$  - bilan ifodalanadi, bunda  $X_c$  - varikapning reaktiv qarshiligi, va  $\tau_r$  - faol energiya yo'qotishlarini ifodalaydi;
4. Doimiy tok  $I_{dc}$  - bu varikap orqali teskari kuchlanishda uzluksiz o'tadigan tok.



16.12-rasm.

Tunnelli diodning volt-ampere xarakteristikasi (16.12-rasm) o'z tarkibida manfiy differensial qarshilikka ega bo'lgan sohani mujassam etgan. Ushbu xususiyat tunnelli dioddan elektr tebranishlarini kuchaytiruvchi va generatsiyalovchi qurilmalarda, shuningdek, impulsi tizimlarda foydalanish imkonini beradi.

Diodning funksional samaradorligi asosan volt-ampere xarakteristikasining pasayuvchi uchastkasining uzunligi va tikligi bilan baholanadi. Tunnelli diod past amplitudali signal sharoitida va manfiy differensial qarshilik sohasida ishlaganda, uning chastotaviy xususiyatlari diodning ekvivalent sxemasiga kiruvchi elementlarning parametrlariga bog'liq bo'ladi (16.12-rasm).

To'liq qarshilikning aktiv komponenti ma'lum bir chastotagacha manfiy qiymatga ega bo'ladi, bu esa qurilmaning kuchaytirish yoki generatsiya qilish qobiliyatini belgilovchi muhim omil hisoblanadi.

$$f_R = \left( \frac{R_d}{R_p} - 1 \right)^{1/2} / (2\pi r_d C)$$

Kuchaytirish va tebranishlarni generatsiya qilish faqat  $f^R$  chastotadan oshmaydigan qiymatlarda mumkin bo'ladi.

Tunnelli diodning asosiy parametrlariga quyidagilar kiradi: Pik volt-ampere xarakteristikasining maksimal nuqtasida kuzatiladigan to'g'ri yo'nalishdagi tok qiymati; Chuqurlik toki  $I_B$  - arakteristikaning minimal nuqtasida aniqlanadigan to'g'ri yo'nalishdagi tok; Pik kuchlanishi  $U_p$  - pik nuqtasida aniqlanadigan to'g'ri yo'nalishdagi tok; O'ra kuchlanishi  $U_B$  - o'ra tokka mos keladigan to'g'ri kuchlanish qiymati. O'ra kuchlanishi  $U_p$  - chuqurlik tokiga mos keladigan to'g'ri kuchlanish; Ochilish kuchlanishi  $U_p$  - chuqurlik kuchlanishidan katta bo'lgan va pik tokka tenglashadigan to'g'ri kuchlanish.

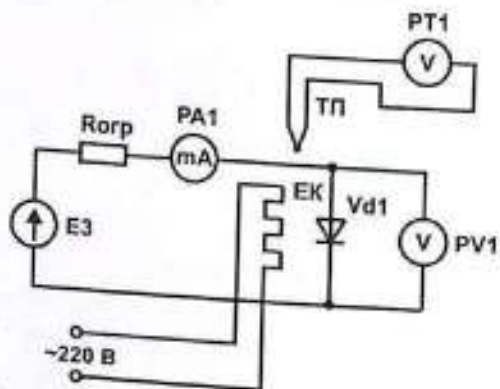
#### Uskunani tavsifi

p-n o'tishining xossalarini o'rganish uchun ushbu ishda 16.13-rasmda keltirilgan ulanish sxemaga ega bo'lgan tajriba qurilmasidan foydalaniladi. Ulanish sxemasi 16.14-rasmda ko'rsatilgan. Tadqiqot uchun ishlatilayotgan VD1 namunalari germaniy va kremniydan tayyorlangan bo'lib, silindrsimon shaklda ishlangan. Bu ularni EK isitgichiga joylashtirishni osonlashtiradi. Isitgich 220 V, 50 Gts chastotali o'zgaruvchan tok manbaidan quvvatlanadi. Isitgichda haroratni avtomatik boshqarish mavjud emas, shu sababli

kerakli haroratga erishish isitish va tabiiy sovish jarayonlarini boshqarish orqali amalga oshiriladi. Agar tajriba muayyan haroratda bajarilishi kerak bo'lsa, kerakli haroratga yetilganda isitgichning elektr ta'minoti uziladi. Harorat ma'lum vaqt davomida barqaror saqlanadi va bu vaqt tajriba o'tkazish uchun yetarli bo'ladi.

Isitgichning harorati tashqi termojuft (TP) yordamida o'lchanadi, u namunalar bilan birga isitgich kamerasiga joylashtiriladi. Haroratni o'lchashda digital multimetrdan foydalaniladi, u "°C" rejimiga o'rnatiladi. Termojuftdan chiqadigan simlar multimetarning "TEMP: + / -" ulagichlariga ulanadi.

R1 rezistori diod VD1 orqali oqayotgan tokni cheklash uchun xizmat qiladi. PA1 va PV1 asboblari mos ravishda diod orqali o'tuvchi tok va dioddagi kuchlanishni o'lchash uchun ishlatiladi.



**16.13-rasm** – Elektrik zanjir sxema: E3 – 0...15V oralig'ida sozlanadigan quvvat manbai; PV1 – modulning ko'rsatkichli voltmetri ("Generatorlar bloki") (rejim almashtirgichni "TASHQI" holatiga o'rnatish lozim); EK – isituvchi element; TP – termojuft; RT1 – haroratni o'lchash rejimidagi multimetr (ulanishlari «TEMP + / -»); Rorp – cheklovchi qarshilik – miniblok "470 Omli rezistor"; PA1 – doimiy tokni o'lchash rejimidagi multimetr (rejim A-200 mA, ulanishlar: COM, mA).

#### Ish bajarish tartibi

1. 2.6.14-rasmda keltirilgan ulanish sxemasi asosida elektr zanjirini yig'ing. Tadqiqot uchun "Germaniy" diodini namunaviy element sifatida tanlang. Tadqiqot qilinyotgan VD1 diodini to'g'ri (anod-katod)

yo'nalishda ulang.

2. Sxemaga quvvat bering. Buning uchun modullar panelidagi «TOK MANBASI» tugmasini «YOQILGAN» holatga o'tkazing. ISITGICH QUVVATINI HOZIRCHA YOQMANG!

3. VD1 to'g'rilovchi diodning volt-ampere xarakteristikasini doimiy tok rejimida aniqlang: avval to'g'ri yo'nalishda, so'ngra teskari yo'nalishda. Teskari yo'nalishdagi xarakteristikani olish uchun quvvat manbaining qutblanishini yoki diod ulanishini almashtiring (ya'ni, diodni teskari yo'nalishda ulang).

Kirish kuchlanishini "E3" potenshiometri yordamida 0...15V oralig'ida sozlang, va shu bilan birga dioddan o'tayotgan tokni (PA1) hamda dioddagi kuchlanishni (PV2) qayd eting. O'lchov natijalarini 16.1-jadvalga kiriting. So'ngra, stendagi modullar quvvatini o'chiring. "E1" potenshiometrini nol holatiga qaytaring.

16.1-jadval

$U_{to'g'ri}, V$									
$I_{to'g'ri}, mA$									
$U_{tesk}, V$									
$I_{tesk}, mA$									

4. Olingan ma'lumotlar asosida quyidagi grafiklarni qurish kerak:  $I_{to'g'ri}(U_{to'g'ri})$  va  $I_{tesk}(U_{tesk})$ .

5. VD1 diodning to'g'ri yo'nalishdagi volt-ampere xarakteristikasi (VAX) asosida differensial qarshiligini quyidagi formula bo'yicha hisoblang:  $R_{dif} = \frac{\Delta U}{\Delta I} \Big|_{I_{to'g'ri}=const}$ , bunda  $I_{to'g'ri} = 8 mA$ . Xuddi shu hisoblashni quyidagi tok qiymatlari uchun ham bajaring:  $I_{to'g'ri} = 4 mA, I_{to'g'ri} = 2 mA, I_{to'g'ri} = 0,5 mA$ . Hisoblash natijalarini hisobotda yozing:

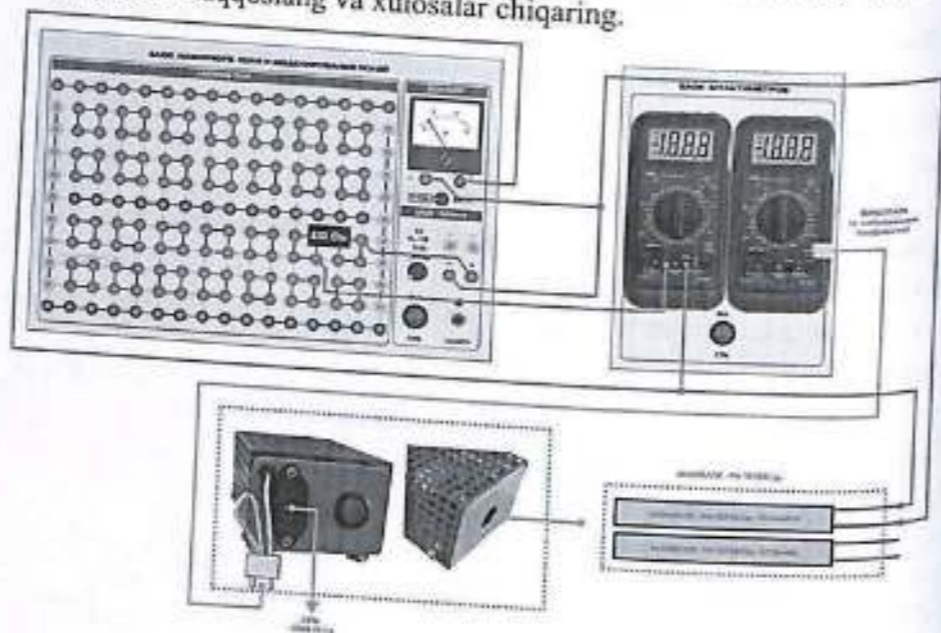
$$R_{dif} = \frac{\Delta U}{\Delta I} \Big|_{I_{to'g'ri}=8 mA} = \dots$$

Shundan so'ng quyidagi funksiyaning grafigin chizing:  $R_{dif} = f(I_{to'g'ri})$ .

6. Diodning statik qarshiligini doimiy tok rejimida quyidagi formula bo'yicha hisoblang:

$R_{stat} = \frac{U_0}{I_0}$ , bunda  $I_0 = 8 \text{ mA}$ . Natijani hisobotga yozing.

- Diodning teskari yo'nalishdagi differensial qarshiligini 5 V va 10 V kuchlanish qiymatlarida hisoblang, natijalarni hisobotga kiriting.
- Tajribani kremniyli diod namunasi uchun ham takrorlang. Hisobot natijalarini taqqoslang va xulosalar chiqaring.



16.14-rasm. Ulanish sxemasi

- VAX ni olish tajribasiga o'xshab, diodning to'g'ri va teskari yo'nalishdagi toki haroratga qanday bog'liqligini o'lchang (kremniyli va germaniyli namunalar uchun). Bu jarayonda dioddagi to'g'ri va teskari kuchlanishlar doimiy bo'lishini ta'minlash kerak. Isitgichni yoqing. Isitgich harorati 25 °C ga yetgach, PA1 ampermetr va RT1 harorat o'lchagich ko'rsatkichlarini o'qing. Bu ma'lumotlarni 2.6.2-jadvalga yozing. Haroratni har 5 °C ga oshirishda asbob ko'rsatkichlarini o'qishda davom eting.
- 2.6.2-jadvaldagi ma'lumotlar asosida quyidagi grafiklarni tuzing:  $I_{to'g'}(t)$  bunda  $U_{to'g'} = const$  va  $I_{tesk}(t)$  bunda  $U_{tesk} = const$

16.2-jadval

$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{K}$ (273 + t)	$U_{to'g'}, \text{V}$ (const)	$I_{to'g'}, \text{mA}$	$U_{tesk}, \text{V}$ (const)	$I_{tesk}, \text{mA}$
---------------------	----------------------------	----------------------------------	------------------------	---------------------------------	-----------------------

25				
30				
35				
...				
75				

- Diodning teskari toki uchun tabiiy logarifm  $\ln I_{tesk}$  ning teskari haroratga 1/T bog'liqlik grafigini tuzing. Eksperimental nuqtalar orqali to'g'ri chiziq o'tkazing.
- Grafikdagi to'g'ri chizikli maydonning oxirgi nuqtalar koordinatalarini aniqlang va yarim o'tkazgichning taqiqlangan zona kengligini quyidagi formula bo'yicha hisoblang:

$$\Delta W = k \frac{\ln I_{s1} - \ln I_{s2}}{\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)}$$

- bu yerda:  $I_{s1}$  va  $I_{s2}$  - mos ravishda  $T_1$  va  $T_2$  haroratlarda o'lchangan to'yinganlik teskari toklaridir,  $k$  — Boltsman doimiysi.
- Hisoblangan qiymatni quyidagi ma'lumotlar bilan taqqoslang: kremniy uchun:  $\Delta W = 1.07 \text{ eV}$  germaniy uchun:  $\Delta W = 0.65 \text{ eV}$ . (340 K haroratda, bu yerda  $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ).

#### Nazorat savollari

- Turli xil elektr o'tkazuvchanlikka ega yarim o'tkazgichlarning ideal kontaktida p-n o'tish qanday hosil bo'ladi?
- VAX (volt-amper xarakteristikasi) ni ampermetr va voltmeter yordamida olish sxemasini chizing va usulni tushuntiring.
- VAX ni osillograf yordamida olish sxemasini chizing va usulni tushuntiring.
- p-n o'tishning to'g'ri va teskari ulanishda qanday ishlashini tushuntiring.
- Ideal p-n o'tish va haqiqiy p-n o'tish VAX lari o'rtasidagi farq nimada?
- Diodning differensial qarshiligi qanday aniqlanadi? Uning grafik usulda aniqlanishini tushuntiring.
- To'g'rilovchi diod uchun VAX tenglamasini yozing, VAX grafigini

chizing va uni izohlang.

8. Stabiltron VAX sini chizing va kuchlanishni barqarorlashtirish ishlash sohasi qanday aniqlanishini ko'rsating.

9. To'siq sig'imi (bar'yer sig'imi) qiymati qo'llanilgan kuchlanishdan qanday bog'liqlikda o'zgaradi?

10. p-n o'tishdagi diffuzion sig'imning fizik tabiati qanday?

11. Diodning asosiy parametrlarini sanab bering

## 17-LABORATORIYA ISHI

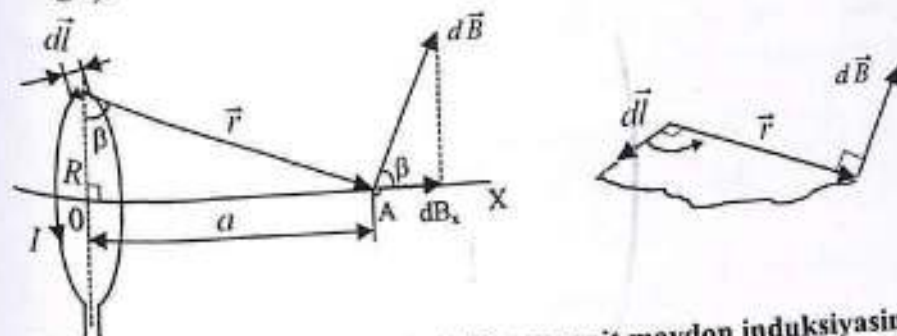
### "XOLL DATCHIGI YORDAMIDA SOLENOIDNING MAGNIT MAYDONINI TADQIQ QILISH"

**Maqsad:** Xoll datchigi yordamida solenoid o'qi bo'ylab magnit maydonni o'rganish.

**Jihozlar:** Modullar: "Generatorlar bloki", "Multimetrlar bloki", "Maydonlarni modellashtirish va tanlash bloki"; Minibloklar: "Xoll effekti", "Solenoid".

#### O'lchash usuli:

Dastlab, xalqasimon tok hosil qilgan magnit maydonning induksiya vektori  $B$  ni solenoid o'qi bo'yicha hisoblash ifodasini keltirib chiqaramiz (17.1-rasmga).



17.3-rasm. Aylana tok o'qi bo'yicha magnit maydon induksiyasini hisoblashga doir sxema

Biyo-Savar-Laplas qonuniga ko'ra, aylana tok elementining A nuqtadagi magnit maydon induksiyasi quyidagiga teng:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot [dl]}{4\pi r^3} \quad (17.1)$$

yoki skalyar shaklda:

$$dB = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot [dl]}{4\pi r^2} \quad (17.2)$$

Chunki  $\angle(d\vec{l}, \vec{r}) = \pi/2$ , ya'ni bu vektorlar o'zaro to'g'ri burchak hosil qiladi.

Tok elementidan hosil bo'lgan magnit maydon induksiyasining o'q yo'nalishidagi kichik qismi esa quyidagicha ifodalanadi:

$$dB_x = dB \cos \beta = dB \frac{R}{r} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot [dl]}{4\pi r^2} \quad (17.3)$$

Xalqali tokli o'tkazgichda hosil bo'lgan magnit maydon induksiyasi  $\vec{B}$  simmetriya o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lib, 17.2-ifodaga ko'ra quyidagicha yoziladi:

$$B = \int_0^{2\pi R} dB_x = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 R I}{4\pi r^3} dl = \frac{\mu_0 R I}{4\pi r^3} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0 R^2 I}{2r^3} \quad (17.4)$$

Shu bilan birga, e'tiborga olamizki:

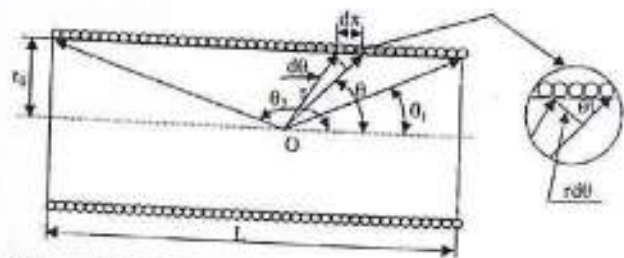
$$r = \sqrt{R^2 + a^2} \quad (17.5)$$

Natijada, magnit induksiya quyidagicha ifodalanadi:

$$B = \frac{\mu_0 R^2 I}{2(R^2 + a^2)^{3/2}} \quad (17.6)$$

bu yerda  $a$  xalqa markazidan qaralayotgan A nuqtagacha bo'lgan masofa.

Endi solenoidni qatoriga ulangan aylanma toklar tizimi sifatida ko'rib chiqamiz. Solenoid o'qi bo'yicha O nuqtasida magnit maydon induksiyasini aniqlaymiz.



17.4-rasm. Solenoid o'qi bo'ylab magnit maydon induksiyasini hisoblashga oid sxema

Faraz qilaylik, solenoidning har bir uzunlik birligiga  $n$  burama keladi. Shunday qilib,  $dx$  uzunlikdagi bo'lakda  $n \cdot dx$  burama bo'ladi, ular esa O nuqtasida magnit maydonni hosil qiladi, uning induksiyasi quyidagicha bo'ladi:

$$dB_x = \frac{\mu_0 n I dx}{2r^3} \quad (17.7)$$

17.2-rasmida keltirilgan geometrik tasvirlardan quyidagilar kelib chiqadi:

$$r = \frac{r_0}{\sin\theta}; \quad dx = \frac{r d\theta}{\sin\theta} \quad (17.8)$$

Ifoda (17.8) ni (17.7) ga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$B = \frac{\mu_0 I n}{2} \sin\theta d\theta \quad (17.9)$$

(17.9) ifodani integrallab, solenoid o'qi bo'yicha magnit induksiya uchun

quyidagicha umumiy formula olinadi:

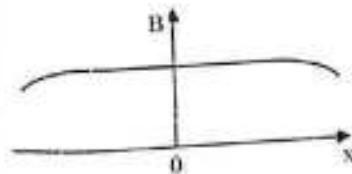
$$B_x = \frac{\mu_0 I n}{2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta \, d\theta = \frac{\mu_0 I n}{2} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (17.10)$$

bu yerda:  $\theta_1$  va  $\theta_2$  - solenoidning chekka o'ramlaridan O nuqtaga chizilgan radius-vektorlar bilan solenoid o'qi orasidagi burchaklar.

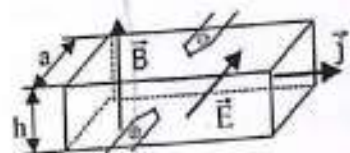
Magnit maydon induksiyasining solenoid o'qi bo'yicha o'zgarishining taxminiy ko'rinishi 17.3-rasmida ko'rsatilgan. Bu yerda  $x = 0$  qiymati solenoid o'rtasidagi nuqtaga mos keladi.

Solenoidning uzunligi  $L$  va diametri  $D$  bo'lgan holatda, uning o'qi bo'ylab o'rtacha nuqtadagi magnit maydon induksiyasi  $B_0$  ni hisoblash formulasi quyidagicha bo'ladi. Bu holda:

$$\cos\theta_1 = \frac{L}{\sqrt{L^2 + D^2}} \quad \cos\theta_2 = -\frac{L}{\sqrt{L^2 + D^2}}$$



17.5-rasm. Solenoid o'qi bo'ylab magnit maydon.



17.6-rasm. Xoll effekti

$n = N/L$  deb olsak (bu yerda  $N$  - solenoidning umumiy o'ramlar soni), 17.10-ifodadan o'rtacha nuqta uchun magnit induksiya quyidagicha bo'ladi:

$$B = \frac{\mu_0 I n L}{\sqrt{L^2 + D^2}} \quad (17.11)$$

Agar solenoid cheksiz uzun bo'lsa,  $\theta_1 = 0$ ,  $\theta_2 = \pi$ , shunda 17.10-ifodadan quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$B_0 = \mu_0 I n \quad (17.12)$$

Mazkur ishda solenoid o'qi bo'ylab magnit maydon induksiyasini o'rganish uchun Xoll effekti asosida qurilgan metod qo'llaniladi. Bu effekt tok zichligi  $\vec{j}$  ga ega bo'lgan qattiq jism (yoki yarim o'tkazgich) magnit maydon  $\vec{B}$  ga tushganda, u yerda yo'nalishi  $\vec{E}$  bo'lgan elektr maydonining hosil bo'lishidir. Natijada namunadagi yon tomonlarga tegib turgan elektrodlar orasida potentsiallar farqi  $\Delta\phi_x$  hosil bo'ladi (17.4-rasm).

Xoll EYuK (elektr yurituvchi kuchi) quyidagi ko'rinishda yozilishi

mumkin:

$$\Delta\varphi_x = R_x j B a \quad (17.13)$$

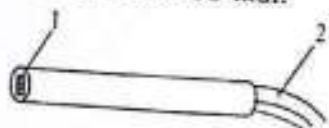
bu yerda:  $R_x$  – Xoll doimiysi,  $a$  – o'tkazgichning eni,  $j$  – tok zichligi. Tok zichligi quyidagicha aniqlanadi:

$$j = \frac{I_x}{ah} \quad (17.14)$$

bu yerda:  $I_x$  – Xoll datchigi orqali o'tayotgan boshqaruvchi tok. 17.14-ifodani 17.13 ga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$\Delta\varphi_x = R_x \frac{I_x B}{h} \quad (17.15)$$

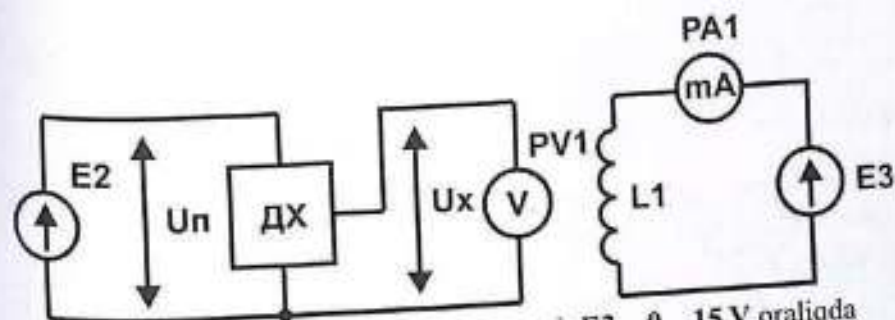
Odatda Xoll doimiysi qiymati yarim o'tkazgichlar uchun o'tkazgichlarga qaraganda ancha katta bo'ladi.



17.5-rasm . Xoll datchigi

Ushbu ishda yarim o'tkazgichli Xoll datchigi qo'llaniladi, uning tuzilmasi 17.5-rasmda ko'rsatilgan. Xoll datchigi 1-solenoid o'qi bo'ylab harakatlanuvchi maxsus zond uchiga o'rnatilgan. Shtokning solenoid ichidagi joylashuvi taxminan aniqlanadi. Zondga solenoid o'qi bo'ylab elektrodni ulash uchun 2-juft sim ulangan. Magnit maydoni mavjud bo'lmaganda ( $B = 0$ ) Xoll EYuK  $\Delta\varphi_x$  nolga teng bo'lishi kerak, biroq amalda bu turli omillar sababli bajarilmaydi. Uskunaning elektr sxemasi 17.6-rasmda keltirilgan.

Solenoid L1 kabel orqali quvvat manbai E3 ga ulanadi. Solenoiddan o'tayotgan tok ampermetr PA1 yordamida nazorat qilinadi. Xoll datchigi shtokini solenoid o'qi bo'ylab harakatlantirish orqali Xoll EYuK si PV1 voltmetri yordamida o'lchanadi. E2 manbai Xoll datchigini quvvatlantirish uchun xizmat qiladi.



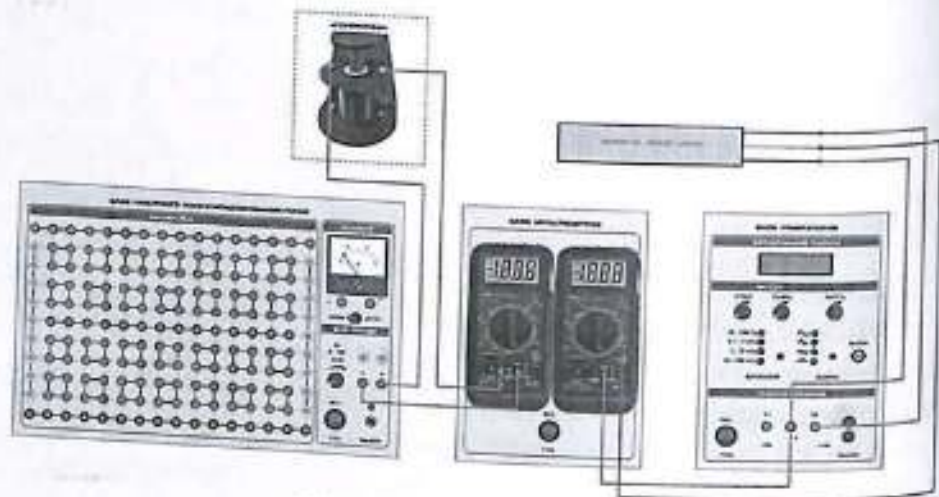
17.7-rasm – Uskunaning elektr sxemasi: E3 – 0...15 V oraliqda sozlanadigan quvvat manbai; L1 – “Solenoid” minibloki; DX – “Xoll datchigi” minibloki; E2 – +15 V kuchlanishli barqarorlangan doimiy tok manbai; PV1 – doimiy kuchlanishni o'lchash rejimidagi multimetr (rejim: V–20 V, kirishlar: COM, VΩ); PA1 – doimiy tokni o'lchash rejimidagi multimetr (rejim: A–1 A, kirishlar: COM, mA).

#### Uskuna parametrlari:

- Xoll datchigining magnit maydon yo'nalishidagi qalinligi:  $h = 200 \pm 10 \mu\text{m}$ ;
- Xoll datchigidan o'tuvchi boshqaruvchi tok:  $I_x = 90 \pm 5 \text{ mA}$ ;
- Solenoid o'ramlar soni:  $N = 1000 \pm 2$ ;
- Solenoid uzunligi:  $L = 170 \pm 5 \text{ mm}$ ;
- Solenoid diametri:  $D = 60 \pm 5 \text{ mm}$ ;

#### Ishni bajarish tartibi:

1. 17.6-rasmda tasvirlangan sxemani, 17.7-rasmga muvofiq ulanish sxemasi asosida yig'ing.
2. Xoll datchigi o'rnatilgan shtokni solenoid o'qi bo'ylab markaziy holatga joylashtiring (bu shtok shkala bo'yicha “0” nuqtaga to'g'ri keladi).
3. Solenoidning o'rta nuqtasida Xoll EYuK  $\Delta\varphi_x$  ni quyidagi tok qiymatlari uchun o'lchang: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 A. Olingan natijalarni 17.1-jadvalga yozing. Solenoiddagi tok E3 manbai yordamida sozlanadi.



7.8-rasm. Ulanish sxemasi

17.1-jadval					
No T/r	$I_c, A$	$\Delta\varphi_x, mV$	$B_0, mTl$	$\gamma, Tl$ * $A/m$	$R_x, Om$ * $m/Tl$

- Solenoid markazidagi magnit maydon induksiyasini 17.11-formula bo'yicha hisoblang.
- 17.15-ifodadan ko'rinadiki,  $\Delta\varphi_x = \gamma$  (bu yerda  $\gamma = \frac{I_x \cdot B_0}{h}$ ) bog'lanishi  $y = k \cdot x$  ko'rinishidagi chiziqli funksiya bilan ifodalanadi. Bu yerda  $k$  - Xoll doimiysi ( $R_x$ ) Har bir tok qiymati uchun  $\gamma$  ni hisoblang va natijalarni 17.1-jadvalga kiriting. Olingan ma'lumotlar asosida  $\Delta\varphi_x = f(\gamma)$  grafigini chizing va chiziqli grafiga tenglama moslab, og'ish burchagi koeffitsienti bo'yicha  $R_x$  ni aniqlang.
- Solenoiddagi tok qiymatini  $I_c = 1 A$  ga o'rnatib.
- Xoll datchigi o'rnatilgan shtokni solenoid o'qi bo'ylab har  $\Delta x \approx 25m$  intervalda harakatlantiring va Xoll EYuK ni o'lang. O'lchov natijalarini 17.2-jadvalga yozib boring.

17.2- jadval.											
$x, cm$	10	8	6	4	2	0	-2	-4	-6	-8	-10

$\Delta\varphi_x, mV$																			
$B, Tl$																			

- Xoll datchigining har bir holati uchun solenoiddagi magnit maydon induksiyasi qiymatini 17.15-formulaga asosan hisoblang:

$$B = \frac{h\Delta\varphi_x}{I_c R_x}$$

- Solenoid o'qi bo'ylab koordinata bo'yicha magnit maydon induksiyasining bog'liqlik grafigini chizing:  $B = f(x)$ .

Nazorat savollari

- Lorens kuchi, Amper kuchi?
- Bio-Savar-Laplas qonuni?
- Aylana tokli o'tkazgich o'qi bo'ylab magnit maydon induksiyasini hisoblang?
- Solenoid o'qi bo'ylab magnit maydon induksiyasini hisoblash?
- Solenoidning chekka qismida hosil bo'ladigan magnit maydon induksiyasi qiymati cheksiz solenoiddagi qiymatdan ikki baravar kichik ekanligini isbotlang?
- Xoll effekti nimada namoyon bo'ladi?
- Ish davomida olingan eksperimental bog'liqliklarni tushuntiring?

## 18-LABORATORIYA ISHI

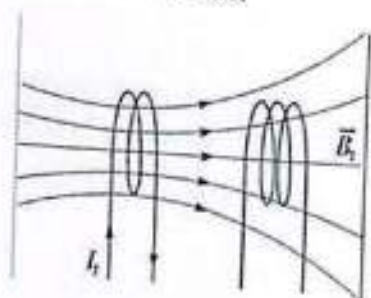
### "IKKI SOLENOID O'RTASIDAGI O'ZARO INDUKSIYANI O'RGANISH (TRANSFORMATOR)"

**Maqsad:** Ikki solenoid o'rtasidagi o'zaro induksiya koeffitsientini tajriba asosida aniqlash va uni nazariy hisoblangan natijalar bilan solishtirish.

**Jihozlar:** Modullar: "Generatorlar bloki", "Multimetrlar bloki"; Minibloklar: "Solenoidlar" (2 dona); Osillograf.

Uskunaning ishlash prinsipi ikki g'altak o'rtasidagi o'zaro induksiya hodisasiga asoslangan. Generator tomonidan uzatilayotgan sinusoidal signal g'altaklardan biriga beriladi, ikkinchi g'altakda esa o'zaro induksiya EYuK hosil bo'ladi. Uning shakli va miqdori osillograf ekrani orqali kuzatiladi.

#### Kirish

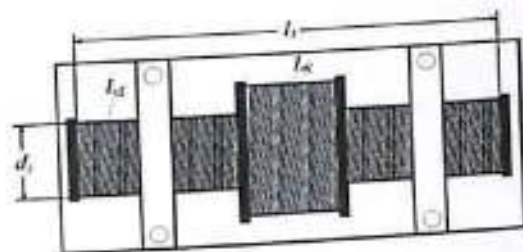


18.1-rasm.

Tok oqayotgan  $I_1$  konturi atrofida  $B_1$  magnit maydonini hosil qiladi (18.1-rasm). Agar ushbu kontur yaqiniga ikkinchi kontur joylashtirilsa, u bilan birga ayrim magnit oqim  $\Phi_2$  bog'lanadi. Tajriba va nazariyaga ko'ra, bu magnit oqim birinchi konturdagi tok miqdoriga proporsional bo'ladi:

$$\Phi_2 = M_{21} \cdot I_1.$$

Bu yerda  $M_{21}$  - ikkinchi kontur bilan bog'langan magnit oqim  $\Phi_2$  ning birinchi konturdagi tok  $I_1$  ga proporsionallik koeffitsienti bo'lib, u ikkinchi konturga nisbatan birinchi konturdagi o'zaro induksiya koeffitsienti deb ataladi. Biz konturlar o'rtasidagi o'zaro induksiya koeffitsientini ikkita solenoid misolida o'rganamiz. Ularning o'qlari mos tushadi, shulardan biri (qisqasi)  $L_q$  uzunlikka ega bo'lib, ikkinchisi (uzuni)  $L_d$  tashqarisiga emas, balki o'rtasiga joylashtirilgan (18.2-rasm).



18.2-rasm.

Uzun solenoid ( $l_1 \gg d_1$ ) o'zining markaziy qismida (qisqa solenoid joylashgan hududda) deyarli bir jinsli magnit maydon hosil qiladi, bu maydonning induksiya vektori quyidagicha bo'ladi:

$$B_1 = \frac{\mu\mu_0 N}{l_1} I_1 \quad (18.1)$$

bu yerda:  $N_1$  - uzun solenoidning o'ramlar soni,  $l_1$  - uning uzunligi. Uzun (va demak, qisqa) solenoidning kesimi orqali o'tuvchi magnit oqim:

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}, \quad (18.2)$$

$$\Phi_1 = B_1 S_1$$

Uzun solenoid tashqarisida magnit maydon yo'qligi sababli, qisqa solenoid bilan bog'langan magnit oqim quyidagicha bo'ladi:

$$\Phi_2 = \Phi_1 N_2 = \mu\mu_0 \frac{N_1 N_2}{l_1} S_1 I_1 \quad (18.3)$$

bu yerda  $N_2$  - qisqa solenoidning o'ramlar soni.

Shunday qilib, ikkinchi va birinchi solenoidlar o'rtasidagi o'zaro induksiya koeffitsienti quyidagicha bo'ladi:

$$M_{21} = \mu\mu_0 \frac{N_1 N_2}{l_1} S_1 \quad (18.4)$$

Bizning holatda  $\mu = 1$  (ya'ni, havo muhiti). Agar uzun solenoid orqali o'zgaruvchan tok o'tkazilsa:

$$I = I_0 \cos \omega t \quad (18.5)$$

bu yerda  $\omega = 2\pi\nu$  - tokning aylanish chastotasi, unda qisqa solenoid bilan bog'langan magnit oqim ham o'zgaruvchan bo'ladi:

$$\epsilon_2 = \frac{d\Phi_2}{dt} = M_{21} I_0 2\pi\nu \sin 2\pi\nu t \quad (18.6)$$

va natijada, unda induksiya EYuK hosil bo'ladi:

$$\epsilon_0 = \frac{d\Phi_1}{dt} = M_{21} I_0 2\pi\nu \sin 2\pi\nu t \quad (18.7)$$

Bu EYuK ning amplitudasi:

chastotasini  $\nu=1000\text{Hz}$  ga o'rnatib. Bu vaqtda L1 solenoididagi tokni  $I_1 = \dots \text{mA}$  qilib milliampermetr yordamida o'lchang va L2 solenoididagi kuchlanish  $U_2$  ni aniqlang. Natijalarni 18.1-jadvalga kiriting.

- Jadvaldagi boshqa chastotalar uchun ham xuddi shunday o'lchovlarni bajaring.
- 18.10-formula yordamida har bir o'lchov uchun magnit induksiya bo'yicha eksperimental o'zaro induksiya koeffitsienti  $M_{21/2}$  ni hisoblang.
- Olingan eksperimental qiymatlar asosida o'zaro induksiya koeffitsientining o'rtacha qiymati ( $M_{\Sigma}$ ) ni hisoblang.
- 18.4-formuladan foydalanib o'zaro induksiya koeffitsientining nazariy qiymati  $M_T$  ni hisoblang.
- Eksperimental qiymat  $M_{\Sigma}$  va nazariy qiymat  $M_T$  ni o'zaro taqqoslang. O'zaro induksiya koeffitsientlari orasidagi nisbiy xatolikni hisoblang. Xulosa chiqaring.

#### Nazorat savollari

- O'zaro induksiya koeffitsienti nima?
- O'zaro induksiya koeffitsienti qanday birlikda o'lchanadi?
- Nega ushbu ishda uzun va qisqa solenoidlar ishlatiladi?
- Magnit oqim nima?
- Elektromagnit induksiya hodisasi nimada namoyon bo'ladi?
- Elektromagnit induksiya hodisasi uchun Faradey qonunini tushunring.
- Tok va kuchlanishning effektiv qiymati nima?

## 19-LABORATORIYA ISHI "YARIMO-TKAZGICHLARDA TAQIQLANGAN ZONA KENGLIGINI ANIQLASH"

**Maqsad:** Yarim o'tkazgichning qarshiligi haroratga bog'liqligi asosida taqiqlangan zona kengligini aniqlash.

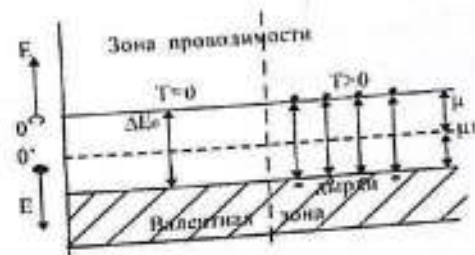
**Jihozlar:** Modullar: "Quvvat manbai moduli", "Multimetrlar bloki"; Miniblok: "Isitgich-1" (ichiga termojuft va tadqiqot qilinayotgan mis simli namuna o'rnatilgan); Osillograf.

#### Kirish:

Yarim o'tkazgichlar metallarga nisbatan xona haroratida solishtirma elektr o'tkazuvchanlikning pastroq qiymati bilan, shuningdek, harorat oshgan sayin elektr o'tkazuvchanlikning keskin oshishi bilan farqlanadi (metallarda esa harorat ortganda o'tkazuvchanlik kamayadi).

Yarim o'tkazgichlar aralashmalar miqdoriga, harorat va bosim o'zgarishlariga, hamda turli nurlanishlarga yuqori sezuvchanlikka ega. Yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi qattiq jismning zona nazariyasi asosida yaxshi tushuntiriladi. Kristall panjarasida alohida atomlarning elektron energiya darajalari energiyaning ruxsat etilgan qiymatlaridan iborat zonalar (polosalarni) hosil qiladi, bu zonalar orasida taqiqlangan zonalar mavjud bo'ladi.

Kimyoviy jihatdan sof yarim o'tkazgich ya'ni "o'z-o'zidan (ichki) o'tkazuvchan" bo'lgan moddaning energiya zonalar sxemasi 19.1-rasmda tasvirlangan.

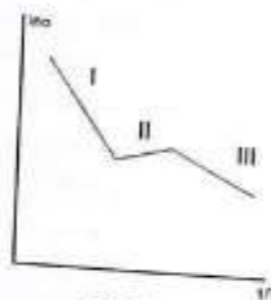


19.1-rasm

Temperatura  $T=0\text{K}$  bo'lganida valent zonadagi barcha energetik sathlar elektronlar bilan to'lgan bo'ladi, o'tkazuvchanlik zonasidagi sathlar esa bo'sh bo'ladi.  $0\text{K}$  da taqiqlangan zona kengligi **aktivatsiya energiyasi** deb ataladi. Taqiqlangan zona kengligi qattiq jismlarning elektr xossalari

belgilovchi asosiy parametr hisoblanadi. Harorat ortganda, bu zona kengligi kamayadi. Yarim o'tkazgichlarda taqiqlangan zona kengligi odatda kichik bo'lib, 1.5 – 2.8 eV dan oshmaydi.

Yarim o'tkazgichlardagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining haroratga bog'liqligi, avvalo, elektr o'tkazuvchanlik  $\sigma$  ni tadqiq qilish orqali aniqlanadi. Umumiy holda, yarim o'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi ikki turdagi zaryad tashuvchilar orqali aniqlanadi:  $\sigma = e(n\mu_e + p\mu_p)$  bu yerda:  $e$  – elektron zaryadi,  $n$  va  $p$  – elektronlar va kovaklar konsentratsiyasi,  $\mu_e$  va  $\mu_p$  – elektron va kovaklarning harakatchanligi. Demak, haroratga bog'liq bo'lgan asosiy omillar – zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi va harakatchanligidir. Aniqki, harakatchanlik zarrachalar o'zaro kamroq to'qnashgan hollarda yuqoriroq bo'ladi, ya'ni kam tarqalaydigan muhitda harakat intensivligi oshadi.



19.2-rasm.

Yarim o'tkazgichlarda quyidagi tarqalish mexanizmlari mavjud: ionlar va neytral atomlarda tarqalish; kristall panjaradagi nuqsonlarda tarqalish; va asosan panjara tebranishlarida (fononlar). kristall panjaraning nuqsonlarida tarqalish; va asosan panjara tebranishlari (fononlar)da tarqalish. Hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, harakatchanlikning haroratga bog'liqligini darajali funksiya shaklida ifodalash mumkin:  $\mu \sim T^\alpha$  bu yerda  $\alpha$  – tarqalish turiga bog'liq ko'rsatkich. Masalan, akustik panjara tebranishlarida tarqalish holatida  $\alpha = -3/2$ . Tabiiyki, haroratga bog'liq zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi quyidagicha eksponensial tarzda o'zgaradi:  $\exp(-\Delta E/2k_B T)$  Bu konsentratsiyaning haroratga bog'liqligi, avvalo, o'tkazuvchanlikni aniqlaydi. Grafikda elektr o'tkazuvchanlik logarifmining haroratga teskari bog'liqligining tipik ko'rinishi keltirilgan.

Grafikdagi to'g'ri chiziqli qismlar – ichki o'tkazuvchanlik va aralashmali o'tkazuvchanlikka mos keladi. II-soha – o'tish sohasi. Nisbatan yuqori haroratlarda, yarim o'tkazgichning o'z-o'zidan o'tkazuvchanligi quyidagi formulaga muvofiq aniqlanadi;

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{2k_B T}\right) \quad (19.1)$$

bu yerda:  $\Delta E$  – taqiqlangan zona kengligi,  $k_B$  – Boltzman doimiysi,  $T$  – harorat.

Odatda tajribada namunadan o'tadigan tok kuchi, kuchlanish tushuvi va harorat o'lchanadi. Shu sababli, tajribada namunaning qarshiligi  $R$  va harorat o'lchanadi. Shu sababli, tajribada namunaning qarshiligi  $R$  qiymatidan foydalanish qulayroq bo'ladi. Agar  $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$  ekanligini e'tiborga olsak, ( $\rho = 1/\sigma$ ) bu yerda  $\rho$  – solishtirma qarshilik,  $l$  – namunani uzunligi,  $S$  – kesim yuzasi, unda (1)-ifodadan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$R = R_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{2k_B T}\right) \quad (19.2)$$

Ifoda (19.2) ni logarifmlab va  $1/T$  bo'yicha hosila olsak, taqiqlangan zona kengligi uchun quyidagicha formula hosil qilamiz:

$$\Delta E = 2k_B \cdot \frac{d \ln R}{d \left[\frac{1}{T}\right]} \quad (19.3)$$

19.3-formula yordamida yarim o'tkazgichning taqiqlangan zona kengligi  $\Delta E$  ni grafik asosida hisoblash mumkin, buning uchun logarifmik qarshilikning teskari harorat bo'yicha hosilasi hisoblanadi:

$$\frac{d \ln R}{d \left[\frac{1}{T}\right]} = \frac{\Delta \ln R}{\Delta \left[\frac{1}{T}\right]}$$

19.1-jadvalda ba'zi yarim o'tkazgichlar uchun  $\Delta E$  ning qiymatlari keltirilgan.

19.1-jadval

Material	Ge	Si	CaAs	CdS	CdSe	PbS	InSb
$\Delta E, \text{ eV}$	0.72	1.12	1.42	2.42	1.70	0.41	0.17

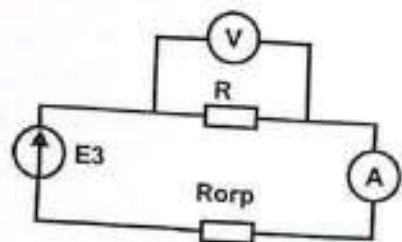
#### Ishni bajarish tartibi

Taqiqlangan zona kengligini aniqlash uchun yarim o'tkazgich namunasi o'rnatiladi. Termorezistor qarshiligini aniqlash uchun

ampermetr-voltmetr usulidan, ya'ni Om qonunidan foydalanish mumkin:

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

O'lchovlarni o'tkazish uchun elektr sxema 19.2-rasmda keltirilgan. O'lchanayotgan qarshilik  $R$  voltmetrning ichki qarshiligiga nisbatan ancha kichik bo'lganligi sababli, voltmetr o'lchanayotgan qarshilikka parallel ulangan.



2.9.2-rasm

Yarim o'tkazgich namunasi qizdirilganda uning qarshiligi bir necha baravarga kamayishi mumkin, shuning uchun sxemada cheklovchi qarshilik  $R_{chek}$  dan foydalanish zarur.

1. Haroratlar  $290K$  dan  $390K$  gacha oraliqda o'zgartirib, doimiy tok  $I = const$  sharoitida kuchlanish qiymatlarini o'lchang. Tavsiya etilgan tok qiymati:  $1\text{ mA}$ .
2. In  $R$  ning  $1/T$  ga bog'liqlik grafigini chizing.
3. Olingan grafikning to'g'ri chiziqli qismidagi hosilani aniqlang va (19.4)-formuladan foydalanib yarim o'tkazgichning taqiqlangan zona kengligini hisoblang.

Shundan so'ng jadval asosida namunani qanday materialdan tayyorlangani aniqlansin.

## 20-LABORATORIYA ISHI

### "KONTURLAR O'RTASIDAGI BOG'LANISH KOEFFITSIENTINI ANIQLASH"

**Maqsad:** Ikkita erkinlik darajasiga ega chiziqli bog'langan tebranma tizimlarda barqarorlashgan majburiy tebranishlarni o'rganish; rezonans chastotalar orqali tebranishlarning normal chastotasini tajriba yo'li bilan aniqlash; rezonans chastotalarning bog'lanish koeffitsientiga bog'liqligini o'rganish.

**Jihozlar:** Modullar: "Generatorlar bloki", "Multimetrlar bloki"; Minibloklar: "Yadroli o'ram", "1,0 mKF kondensator", "470 Om rezistor"; Osillograf.

#### Kirish

Murakkab elektr zanjirlarda yuzaga keladigan fizik hodisalarni tahlil qilish ko'pincha muayyan qiyinchiliklarga olib keladi. Ayniqsa, bir-biriga bog'langan tebranuvchi elektr konturlarida sodir bo'ladigan o'zaro ta'sirlarni to'liq tushunish murakkab bo'lishi mumkin. Bu holatda analogik tahlil usuli katta ahamiyat kasb etadi. Chunki mexanik tebranish tizimlari, ayniqsa chiziqli garmonik osillyatorlar, tebranish jarayonlarini tasavvur qilish va tahlil qilishda ko'rgazmali va intuitiv model hisoblanadi. Ma'lumki, chiziqli garmonik osillyatorlarda yuzaga keladigan majburiy tebranishlar klassik mexanikada quyidagi differensial tenglama bilan tavsiflanadi:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \eta \frac{dx}{dt} + kx = F_0 \cos \omega t \quad (20.1)$$

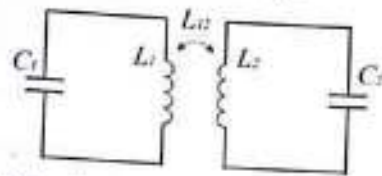
Kirxgof qoidalaridan foydalangan holda, tashqi EYuK manbaiga ulangan ketma-ket LCR-kontur uchun quyidagi tenglamani olish mumkin:

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = \varepsilon_0 \cos \omega t \quad (20.2)$$

20.1 va 20.2 tenglamalardan ko'rinib turibdiki, mexanik va elektrik majburiy tebranishlar tenglamalari o'zaro o'xshash. Majburiy mexanik tebranishlar tenglamasining yechimi yaxshi ma'lum bo'lgani sababli, uni to'liq holda elektr tebranishlariga nisbatan ham qo'llash mumkin. 20.1 va 20.2-tenglamalarni solishtirish orqali mexanik va elektr qiymatlar o'rtasidagi o'xshashlikni oson kuzatish mumkin. Tashqi EYuK mavjud

bo'lmagan holatda elektr konturda erkin garmonik tebranishlar hosil bo'ladi, ularning chastotasi  $\omega$  kontur parametrlariga bog'liq bo'ladi.

Agar elektr tebranma konturda o'zgaruvchan EYuK ta'sir qilsa, unda konturda ushbu tashqi ta'sir chastotasi  $\omega$  ga teng majburiy tebranishlar hosil bo'ladi, erkin tebranishlar esa so'nadi. Tashqi kuch chastotasi  $\omega$  ichki chastotaga  $\omega_0$  yaqinlashganida, tebranish amplitudasi ortadi va rezonans hodisasi kuzatiladi. Shunday qilib, rezonans egri chizig'ini olish orqali sistemaning xususiy chastotasini aniqlash mumkin, bu esa tebranma kontur parametrlarini ham aniqlash imkonini beradi.

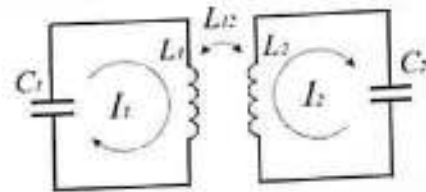


20.1-rasm. Tebranma konturlar orasidagi induktiv bog'lanish

Ikkita tebranma kontur magnit oqimi orqali bog'langan holni ko'rib chiqamiz (20.1-rasm). Bunday holatda bu ikki kontur o'zaro induktiv bog'langan deb aytiladi. Induktiv bog'lanish bilan bir qatorda konturlarni sig'im orqali umumiy kondensator yordamida bog'lash ham mumkin. Bog'langan konturlar tizimida yuzaga keladigan elektr tebranishlar, odatda, garmonik bo'lmaydi, chunki ular garmonik tebranishlar tenglamasiga bo'ysunmaydi bu xususiyat mexanik bog'langan tizimlarga ham xosdir. Ma'lumki, murakkab mexanik tizimning harakatini normal tebranishlar sifatida tasvirlash mumkin. Normal tebranishlar deb, bog'langan tizimdagi har bir element bir xil chastotada va garmonik qonun asosida tebranadigan tebranishlarga aytiladi. Bu chastotalar normal chastotalar deb yuritiladi. Normal tebranishlarni o'zaro mustaqil holatda ko'rish mumkin, ya'ni bir modaning energiyasi boshqa modaga o'tmaydi, biroq murakkab tizimning alohida qismlarida tebranish jarayonida energiyaning o'zaro almashinuvi sodir bo'ladi. Masalan, bog'langan mexanik osillyatorlarda bu energiya almashinuvi prujinali bog'lanish orqali yuz beradi. Elektr tebranma konturlarida esa, bu almashinuvi umumiy magnit oqim orqali, ya'ni induktiv bog'lanish orqali amalga oshadi. Barcha o'zgaruvchan qiymatlar - tok kuchi, kuchlanish - kontur elementlarida normal chastotalardan biri

bo'yicha garmonik qonun asosida o'zgaradi.

Ma'lumki, ikkita erkinlik darajasiga ega bo'lgan tizim ikkita normal chastotaga ega bo'ladi. Xuddi shunday, ikkita bog'langan garmonik osillyatoridan iborat tizimning ikki moduliga ikkita normal chastota mos keladi. Endi induktiv bog'langan ikkita elektr konturdan iborat tizimning normal tebranish chastotalarini aniqlaymiz (qarang: 20.2-rasm).



20.2-rasm. Bog'langan elektr konturlardagi tok yo'nalishlari

Tizimda garmonik va so'nmaydigan tebranishlar faqatgina konturlarning faol qarshiliklari  $R_1$  va  $R_2$  mavjud bo'lmaganda mumkin. Shuning uchun  $R_1 = R_2 = 0$  deb olamiz. Konturlar orqali  $I_1$  va  $I_2$  toklar oqadi deb hisoblaymiz, ularning yo'nalishlari 20.2-rasmda ko'rsatilgan. Bu toklar  $L_1$  va  $L_2$  induktivlikli g'altaklar orqali o'tib,  $B_1$  va  $B_2$  magnit maydonlarini, demak, magnit oqimlarini hosil qiladi. Agar g'altaklar  $L_1$  va  $L_2$  bir joyda joylashgan bo'lsa, unda toklar yo'nalishi (g'altakdagi o'ramlarda) 20.3a-rasmdagi kabi ko'rsatilgan holga mos keladi. Bu holda, g'altaklar orasidagi umumiy sohada hosil bo'lgan magnit maydon birinchi g'altakning magnit maydoni  $B_1$  bilan ikkinchi g'altakning magnit maydoni  $B_2$  yig'indisiga teng bo'ladi. Shunday qilib,  $L_1$  g'altakdan o'tuvchi magnit oqim quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:  $\varphi_1 = L_1 I_1 + L_{12} I_2$ .  $L_2$  g'altak uchun esa:  $\varphi_2 = L_2 I_2 + L_{12} I_1$ . Toklar  $I_1$  va  $I_2$  o'zgariganida magnit oqimlar  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$  ham o'zgaradi, natijada induksiya EYuK hosil bo'ladi. Induksiya EYuK umumiy holda:  $\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt}$  Shu sababli, induksiya EYuK birinchi konturda:

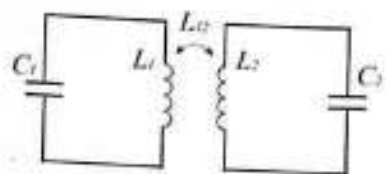
$$\varepsilon_1 = -(L_1 \frac{dI_1}{dt} + L_{12} \frac{dI_2}{dt}),$$

ikkinchi konturda esa:  $\varepsilon_2 = -(L_2 \frac{dI_2}{dt} + L_{12} \frac{dI_1}{dt})$ . Kirxgof qoidalaridan konturlar uchun (20.2-rasmg) foydalansak, quyidagi differensial tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$\frac{1}{C_1} \int I_1 dt = (L_1 \frac{dI_1}{dt} + L_{12} \frac{dI_2}{dt}) \quad \frac{1}{C_2} \int I_2 dt = (L_2 \frac{dI_2}{dt} + L_{12} \frac{dI_1}{dt}) \quad (20.3)$$

bo'lmagan holatda elektr konturda erkin garmonik tebranishlar hosil bo'ladi, ularning chastotasi  $\omega$  kontur parametrlariga bog'liq bo'ladi.

Agar elektr tebranma konturda o'zgaruvchan EYuK ta'sir qilsa, unda konturda ushbu tashqi ta'sir chastotasi  $\omega$  ga teng majburiy tebranishlar hosil bo'ladi, erkin tebranishlar esa so'nadi. Tashqi kuch chastotasi  $\omega$  ichki chastotaga  $\omega_0$  yaqinlashganida, tebranish amplitudasi ortadi va rezonans hodisasi kuzatiladi. Shunday qilib, rezonans egri chizig'ini olish orqali sistemaning xususiy chastotasini aniqlash mumkin, bu esa tebranma kontur parametrlarini ham aniqlash imkonini beradi.

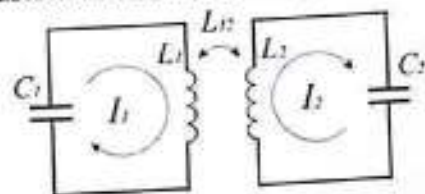


20.1-rasm. Tebranma konturlar orasidagi induktiv bog'lanish

Ikkita tebranma kontur magnit oqimi orqali bog'langan holni ko'rib chiqamiz (20.1-rasm). Bunday holatda bu ikki kontur o'zaro induktiv bog'langan deb aytiladi. Induktiv bog'lanish bilan bir qatorda konturlarni sig'im orqali umumiy kondensator yordamida bog'lash ham mumkin. Bog'langan konturlar tizimida yuzaga keladigan elektr tebranishlar, odatda, garmonik bo'lmaydi, chunki ular garmonik tebranishlar tenglamasiga bo'ysunmaydi bu xususiyat mexanik bog'langan tizimlarga ham xosdir. Ma'lumki, murakkab mexanik tizimning harakatini normal tebranishlar sifatida tasvirlash mumkin. Normal tebranishlar deb, bog'langan tizimdagi har bir element bir xil chastotada va garmonik qonun asosida tebranadigan tebranishlarga aytiladi. Bu chastotalar normal chastotalar deb yuritiladi. Normal tebranishlarni o'zaro mustaqil holatda ko'rish mumkin, ya'ni bir modaning energiyasi boshqa modaga o'tmaydi, biroq murakkab tizimning alohida qismlarida tebranish jarayonida energiyaning o'zaro almashinuvi sodir bo'ladi. Masalan, bog'langan mexanik osillyatorlarda bu energiya almashinuvi prujinali bog'lanish orqali yuz beradi. Elektr tebranma konturlarida esa, bu almashinuvi umumiy magnit oqim orqali, ya'ni induktiv bog'lanish orqali amalga oshadi. Barcha o'zgaruvchan qiymatlar - tok kuchi, kuchlanish - kontur elementlarida normal chastotalardan biri

bo'yicha garmonik qonun asosida o'zgaradi.

Ma'lumki, ikkita erkinlik darajasiga ega bo'lgan tizim ikkita normal chastotaga ega bo'ladi. Xuddi shunday, ikkita bog'langan garmonik osillyatordan iborat tizimning ikki moduliga ikkita normal chastota mos keladi. Endi induktiv bog'langan ikkita elektr konturdan iborat tizimning normal tebranish chastotalarini aniqlaymiz (qarang: 20.2-rasm).



20.2-rasm. Bog'langan elektr konturlardagi tok yo'nalishlari

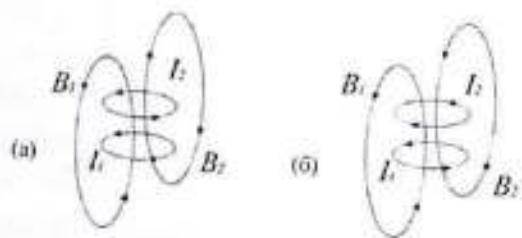
Tizimda garmonik va so'nmaydigan tebranishlar faqatgina konturlarning faol qarshiliklari  $R_1$  va  $R_2$  mavjud bo'lmaganda mumkin. Shuning uchun  $R_1 = R_2 = 0$  deb olamiz. Konturlar orqali  $I_1$  va  $I_2$  toklar oqadi deb hisoblaymiz, ularning yo'nalishlari 20.2-rasmida ko'rsatilgan. Bu toklar  $L_1$  va  $L_2$  induktivlikli g'altaklar orqali o'tib,  $B_1$  va  $B_2$  magnit maydonlarini, demak, magnit oqimlarni hosil qiladi. Agar g'altaklar  $L_1$  va  $L_2$  bir joyda joylashgan bo'lsa, unda toklar yo'nalishi (g'altakdagi o'ramlarda) 20.3a-rasmidagi kabi ko'rsatilgan holga mos keladi. Bu holda, g'altaklar orasidagi umumiy sohada hosil bo'lgan magnit maydon birinchi g'altakning magnit maydoni  $B_1$  bilan ikkinchi g'altakning magnit maydoni  $B_2$  yig'indisiga teng bo'ladi. Shunday qilib,  $L_1$  g'altakdan o'tuvchi magnit oqim quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:  $\varphi_1 = L_{11}I_1 + L_{12}I_2$ .  $L_2$  g'altak uchun esa:  $\varphi_2 = L_{22}I_2 + L_{12}I_1$ . Toklar  $I_1$  va  $I_2$  o'zgarganida magnit oqimlar  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$  ham o'zgaradi, natijada induksiya EYuK hosil bo'ladi. Induksiya EYuK umumiy holda:  $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$  Shu sababli, induksiya EYuK birinchi konturda:

$$\varepsilon_1 = -(L_{11} \frac{dI_1}{dt} + L_{12} \frac{dI_2}{dt}),$$

$$\varepsilon_2 = -(L_{22} \frac{dI_2}{dt} + L_{12} \frac{dI_1}{dt}).$$

ikkinchi konturda esa:  $\varepsilon_2 = -(L_{22} \frac{dI_2}{dt} + L_{12} \frac{dI_1}{dt})$  foydalansak, quyidagi Kirxgof qoidalaridan konturlar uchun (20.2-rasm) foydalansak, quyidagi differensial tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$\frac{1}{C_1} \int I_1 dt = (L_{11} \frac{dI_1}{dt} + L_{12} \frac{dI_2}{dt}) \quad \frac{1}{C_2} \int I_2 dt = (L_{22} \frac{dI_2}{dt} + L_{12} \frac{dI_1}{dt}) \quad (20.3)$$



20.3-rasm. G'altak o'ramlaridagi toklarning va magnit maydon kuch chiziqlarining oniy yo'nalishlari

(20.3)-tenglamalar sistemasini yozishda, biz ayni vaqtda konturlar bo'ylab yurish yo'nalishi va  $I_1, I_2$  toklar yo'nalishi bir-biriga mos keladi, deb faraz qilamiz (ularning yo'nalishlari 20.2-rasmda ko'rsatilgan). Shu sababli, har bir kontur bo'ylab aylana yurishda  $C_1$  va  $C_2$  kondensatorlaridagi kuchlanishning pasayishi «+» ishorasi bilan yoziladi. Albatta, vaqt o'tishi bilan toklarning kattaligi va yo'nalishi o'zgaradi, biroq bu o'zgarishlar tenglama (20.3) lar tarkibida avtomatik tarzda hisobga olinadi.

$L_1 = L_2 = L, C_1 = C_2 = C$  bo'lgan holni - ko'rib chiqamiz. (20.3)-tenglamalar sistemasidagi birinchi va ikkinchi tenglamalarni qo'shamiz, so'ngra ikkinchi tenglamani birinchisidan ayiramiz. Shuni inobatga olamizki, kondensatorlardagi zaryadlar:  $q_1$  va  $q_2$ ; mos ravishda  $C_1$  va  $C_2$  kondensatorlardagi zaryadlar. Shunda ayrim algebraik o'zgartirishlardan so'ng quyidagi tenglamalar sistemasiga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} (L + L_{12}) \frac{d^2}{dt^2} [q_1 + q_2] + \frac{1}{C} [q_1 + q_2] &= 0 \\ (L - L_{12}) \frac{d^2}{dt^2} [q_1 - q_2] + \frac{1}{C} [q_1 - q_2] &= 0 \end{aligned} \quad (20.4)$$

Yangi funksiyalarni kiritamiz:

$$q^{(+)} = q_1 + q_2 \quad q^{(-)} = q_1 - q_2 \quad (20.5)$$

Shunday qilib, (20.4)-tenglamalar sistemasini ikkita mustaqil garmonik tebranishlar tenglamalariga aylantiramiz:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 q^{(+)}}{dt^2} + \omega_{H1}^2 q^{(+)} &= 0 \\ \frac{d^2 q^{(-)}}{dt^2} + \omega_{H2}^2 q^{(-)} &= 0 \end{aligned} \quad (20.6)$$

Bu yerda quyidagi belgilanishlar kiritilgan:

$$\omega_{H1} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 + \frac{L_{12}}{L}}} \quad \omega_{H2} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - \frac{L_{12}}{L}}} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (20.7)$$

(20.6)-tenglamalar bog'langan konturlardagi normal tebranishlarni ifodalaydi. Shuning uchun biz tomonidan kiritilgan  $q^+$  va  $q^-$  funksiyalari normal koordinatalar deb ataladi. Zaryadlar va toklar, shuning uchun normal koordinatalarda hosil bo'ladigan  $q^+$  va  $q^-$  sifatida taqdim etilishi bog'langan konturlarda mumkin, bu esa (20.6)-tenglamadan kelib chiqadi va ularning kattaligi garmonik qonunga bo'ysunadi. Demak, biz har qanday bog'langan konturlardagi tebranishlarni ikkita normal tebranishlarning superpozitsiyasi sifatida ko'rishimiz mumkin, ularning har biri (20.7)-formulada ko'rsatilgan normal chastotaga ega.

Induktiv bog'lanishli konturlarda normal tebranishlarni qo'zg'atish uchun, mexanik bog'langan tizimlar bilan o'xshash tarzda, belgilangan boshlang'ich shartlarning bajarilishi zarur. Aks holda, biz normal tebranishlarni emas, balki tezlanishlarni olamiz.

Ikki bir xil bog'langan elektr konturlaridan iborat tizimdagi birinchi modani ko'rib chiqamiz (20.2-rasm). Ushbu ebranishni hosil qilish uchun, boshlang'ich paytda  $C_1$  kondensatorining plastinkalariga  $q_1 = q_2 = +Q_0$  joylashtiramiz. Agar  $L_1 = L_2 = L, C_1 = C_2 = C$  bo'lsa, zaryadlanish toklarining qiymatlari bir xil bo'ladi ( $I_1 = I_2 = I$ ). G'altaklar orasidagi magnit maydonlar bir-biriga qo'shiladi. Shuning uchun,  $L_1$  g'altak orqali o'tadigan magnit oqim quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:  $\Phi_1 = (L + L_{12})I$ .  $L_2$  g'altak orqali o'tadigan magnit oqim esa quyidagicha bo'ladi:  $\Phi_2 = (L - L_{12})I$ .  $I_1$  va  $I_2$  toklarining o'zgarishi  $\Phi_1$  va  $\Phi_2$  magnit oqimlarining o'zgarishiga olib keladi, natijada induksiya EYuK hosil bo'ladi. Keltirilgan munosabatlardan ko'rinib turibdiki, induktiv bog'lanishning ta'siri magnit oqimlarining  $\Phi_1$  va  $\Phi_2$  o'zgarishlarida namoyon bo'ladi, demak, induksiya EYuK ham o'zgaradi. Masalaning simmetriyasi hisobga olingan holda, ikkita induktiv bog'langan konturlar tizimini tenglama tarzida oddiy tebranma konturi sifatida almashtirishimiz mumkin, bu kontur  $C$  sig'imli kondensator va  $L_{EF1}$  induktivlikka ega g'altakdan tashkil topgan bo'ladi, bunda:  $L_{EF1} = (L + L_{12})$ . Effektiv o'zini induksiya koeffitsienti  $L_{EF1}$

faqatgina g'altakning induktiv xossalari ta'sirini ham hisobga oladi. Bunday tizimda birinchi tebranishning chastotasiga mos keladigan garmonik elektr tebranishlar hosil bo'ladi:

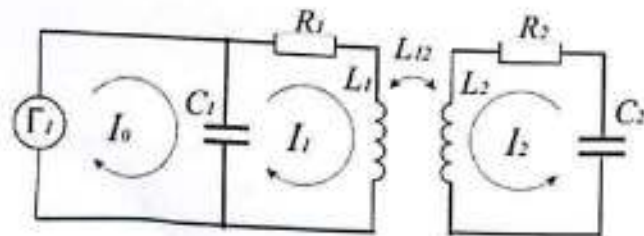
$$\omega_{H_1} = \frac{1}{\sqrt{L_{EF_1}C}}$$

Ikkinchi tebranishni ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik, boshlang'ich paytda  $C_1$  va  $C_2$  kondensatorlarga teng zaryadlar  $q_1 = q_2 = +Q_0$  berilgan.

Shunda konturlarda kondensatorlarning zaryadsizlanish toklari oqadi. Agar  $L_1$  va  $L_2$  g'altaklarning o'zaklari mos kelsa va toklar  $I_1$  va  $I_2$  g'altaklaridagi yo'nalishlari 20.4-rasmda ko'rsatilganidek bo'lsa, magnit maydon hisoblanadi. Magnit oqim  $L_1$  g'altak orqali quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:  $\Phi_1 = (L + L_{12})I$ . Magnit oqim  $L_2$  g'altak orqali quyidagicha yoziladi:  $\Phi_2 = (L + L_{12})I$ . Shunday qilib, elektr tebranishlari uchun, ekvivalent tebranma konturiga quyidagi ifoda mos keladi:

$$\omega_{H_2} = \frac{1}{\sqrt{L_{EF_2}C}}$$

Effektiv induktivlik  $L_{EF_2} = L - L_{12}$  shaklida yoziladi. Biz normal tebranishlarni ko'rib chiqamiz, ular belgilangan boshlang'ich shartlar bajarilganida yuzaga keladi. Ikkita bog'langan kontur tizimi ikkita normal chastotaga ega bo'lganligi sababli, tashqi EYuKning uyg'ongan konturga ta'siri rezonans tebranishlarni hosil qilishi kerak. Rezonans holati paytida tashqi EYuKning chastotasi tizimning normal chastotasi bilan juda yaqin bo'ladi.



20.4-rasm. Induktiv bog'lanishli ikki kontur, tok manbaiga ulangan

20.4-rasmda ko'rsatilgan sxemani ko'rib chiqamiz, bu yerda ikki bog'langan kontur tok generatoriga ulangan. Tok generatori yuqori ichki qarshilikka ega bo'lgan qurilmadir, bu esa katta qarshilikka ega yuklarni ulash imkoniyatini beradi va tokning doimiy amplitudasi bilan ta'minlaydi.

Tizimda, induktiv bog'lanishli konturlarda yuzaga kelgan majburiy tebranishlar mavjud. Konturlarning o'lchovlari quyidagicha:  $L_1 = L_2 = L, R_1 = R_2 = R, C_1 = C_2 = C$ . Agar tok generatori orqali tokning chastotasi  $\omega$  va amplitudasi  $I_0$  bo'lsa, Kirxgof qonuniga asoslanib, toklar amplitudalarining kompleks usulda qo'llanilishi kerak. Agar biz kompleks amplitudalarni ishlatib, Kirxgof qonunini qo'llasak, quyidagi tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$i\omega L I_{20} + R I_{20} + \frac{1}{i\omega C} I_{20} + i\omega L_{12} I_{20} = \varepsilon_0^*$$

$$i\omega L I_{20} + R I_{20} + \frac{1}{i\omega C} I_{20} + i\omega L_{21} I_{10} = 0 \quad (20.8)$$

20.8-tenglamalar sistemasidan ko'rinib turibdiki, tok generatorining ta'siri EYuKning amplitudasi  $\varepsilon_0^* = \frac{I_0}{i\omega C}$ . EYuKning amplitudasi birinchi tebranma konturiga ketma-ket ulangan. Endi, (20.8)-tenglamalar sistemasining birinchi va ikkinchi tenglamalarini qo'shamiz, keyin esa ikkinchi tenglamani birinchisidan ayiramiz.

$$\left\{ R + i(L + L_{12}) - \frac{1}{\omega C} \right\} [I_{10} + I_{20}] = \varepsilon^*$$

$$\left\{ R + i(L - L_{12}) - \frac{1}{\omega C} \right\} [I_{10} - I_{20}] = \varepsilon^* \quad (20.9)$$

Rezonans holatida  $I_1$  va  $I_2$  toklarning amplitudasi oshadi, shuning uchun  $I_1 = I_2$  a shuningdek, kontur elementlaridagi kuchlanishlar ham oshadi. 20.9-tenglamalardan ko'rinib turibdiki, doimiy kuchlanish manbaiga ega bo'lganda tokning amplitudasi maksimal bo'ladi. Bu holat, to'liq qarshilikning reaktiv qismi nol bo'lganda yuzaga keladi. Ushbu shartdan foydalangan holda, rezonans chastotalarni 20.9-tenglamalardan topamiz:

$$\omega_{P1} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 + \frac{L_{12}}{L}}} \quad \omega_{P2} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - \frac{L_{12}}{L}}} \quad (20.10)$$

Agar rezonans chastotalar uchun (20.10)-formulalarni (20.7)-formulalar bilan solishtirsak, muhim bir xulosa qilishimiz mumkin: rezonans chastotalari tizimning normal chastotalari bilan mos keladi. Konturlarning bir-biriga ta'siri K bog'lanish koeffitsienti yordamida miqdoriy jihatdan baholanadi, bu bog'lanish koeffitsienti K birinchi

konturning ikkinchi konturga nisbatan bog'lanish kuchining o'rtacha geometrik darajasidan iborat bo'ladi:

$$K = \sqrt{K_1 K_2}$$

Keling, konturlar orasidagi induktiv bog'lanish holatida  $K$  koefitsientini qanday hisoblashni ko'rib chiqaylik. Faraz qilaylik, birinchi konturda  $L_1 C_1$  orqali  $I_1$  tok o'tadi, ikkinchi konturda esa  $L_2 C_2$  orqali  $I_2$  tok o'tadi. (20.1-rasm). Shunda  $L_1$  g'altakda EyuK  $\varepsilon_{L_1} = -L_1 \frac{dI_1}{dt}$  hosil bo'ladi, va  $L_2$  g'altakda EyuK  $\varepsilon_{L_2} = -L_2 \frac{dI_2}{dt}$  hosil bo'ladi. Bu ikki EyuK ning nisbati konturlar orasidagi bog'lanish darajasini ifodalaydi:  $K_1 = \frac{L_{12}}{L_1}$ . Analogik tarzda,  $K_2$  uchun quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$K_2 = \frac{L_{21}}{L_2} \quad (20.11)$$

Agar  $L_{12} = L_{21}$  deb olsak, unda quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$K = \frac{L_{21}}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (20.12)$$

Ushbu formulani har qanday bog'lanish turi uchun umumlashtirish mumkin.  $\omega$  ga bo'linuvchi va ko'paytiriluvchi qismlarni  $\omega$  bilan ko'paytiramiz va quyidagi belgilanishlarni kiritamiz:  $X_m = \omega L_{12}$ ,  $X_1 = \omega L_1$ ,  $X_2 = \omega L_2$  - bu ifodalar birinchi va ikkinchi konturlardagi reaktiv qarshiliklar bo'lib, ular bog'lanishning o'ziga xos xususiyatlarini ifodalaydi. Shunda umumlashtirilgan formula quyidagicha bo'ladi:

$$K = \frac{X_{CB}}{\sqrt{X_1 X_2}}$$

Konturlar orasidagi bog'lanish (20.12)-koefitsienti bo'yicha quyidagicha baholanadi:

- juda zaif bog'lanish  $K < 0.001$
- zaif bog'lanish  $K = 0.01 - 0.05$  (1 - 5%)
- kuchli bog'lanish  $K = 0.05 - 0.9$  (5 - 90%)
- juda kuchli (qattiq) bog'lanish  $K > 0.9$

20.12-tenglamani hisobga olgan holda, yuqorida keltirilgan 20.10-tenglamani quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$\omega_{p1} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1+K}} \quad \omega_{p2} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1-K}} \quad (20.13)$$

20.13-formuladan ko'rinib turibdiki, bog'lanish koefitsientining oshishi rezonans chastotalari orasidagi farq  $\omega_{p1} - \omega_{p2}$  oshishiga olib keladi. Rezonans egri chizig'ining kengligi  $Q$  sifat ko'rsatkichi bilan quyidagi ma'lum munosabat bilan bog'liq:

$$\Delta\omega_{1,2} = \frac{\omega_{1,2}}{Q_{1,2}}$$

Rezonans egri chizig'ida ikkita pik farq qilishi uchun, rezonans chastotalari orasidagi farq rezonans piklarining kengligidan katta bo'lishi kerak:

$$\omega_{p2} - \omega_{p1} > \Delta\omega_1 \Delta\omega_2 \quad (20.14)$$

20.9-tenglamalarni yanada batafsil tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, 20.14-shart quyidagi shartga ekvivalentdir:

$$Q_2 K > 1 \quad (20.15)$$

bu yerda  $Q_2$  - ikkinchi konturning sifat koefitsienti.

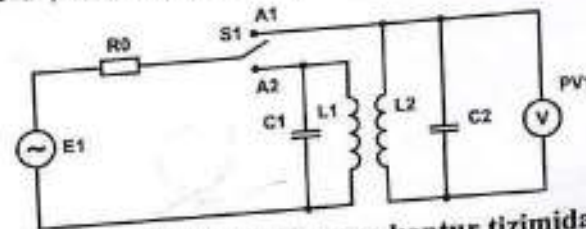
Agar  $Q_2 K < 1$  bo'lsa, ikkita bog'langan kontur o'zlarini bir kontur sifatida olib boradi, unda faqat bitta rezonans chastotasi mavjud bo'ladi. Ikkita kvadratli g'altak orasidagi induktiv bog'lanish koefitsienti  $L_{12}$  quyidagi ifodaga ega:

$$L_{12} = 8 \frac{\mu_0}{4\pi} N^2 \left( x - 2\sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{2a^2 + x^2} + a \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + x^2}}{x} - a \ln \frac{a + \sqrt{2a^2 + x^2}}{\sqrt{a^2 + x^2}} \right) \quad (20.16)$$

bu yerda  $a$  - ramkaning o'lchami,  $x$  - g'altak markazlari orasidagi masofa.

#### Ishni bajarish tartibi

Eksperimental uskuna o'z ichiga quyidagi modullarni oladi: "Generatsiya bloki", "Multimetr bloki", "Yuklanadigan yadroli katushka", "Kondensator C", "Kondensator 1,0  $\mu F$ ".



20.5-rasm. Ikkita induktiv bog'langan kontur tizimida rezonansni o'rganish sxemasi.

Stendda quyidagi minibloklar joylashgan: "Kondensator 1,0  $\mu F$ " va

"Yuklanadigan yadroli katushka", cheklov qarshiligi sifatida "Rezistor 470 Om". Sinusoidal signal generatori E1 to'g'ridan-to'g'ri ulanadigan rezistor R0 bilan tok generatori sifatida ishlaydi. R0 rezistori yuqori qarshilikka ega bo'lib, generatorning chastotasi o'zgariganida tokning amplitudasining barqaror bo'lishini ta'minlash uchun kiritilgan.

**Ishni bajarish tartibi:**

1. Elektr toki zanjirini 20.5-rasmdagi ulash sxemasiga ko'ra yig'ing. SI tugmasini A1 kontaktiga ulangan holda, A2 kontaktini yoping.
2. "Generator bloki", "Multimetrlar bloki" va osillografni ishga tushiring. Generator kuchlanishini 4 - 5 V ga sozlang.
3. Generator chastotasini  $f = \omega/2\pi$  formulasi bilan o'zgartiring va voltmetr ko'rsatkichlari orqali rezonansni aniqlang.  $U_{C1}(f)$  funksiyasini o'lchab, ma'lumotlarni 20.1-jadvalga yozing.

**20.1-jadval.**

№	$\omega, rad/s$	$f, Hz$	$U_{C1}, V$
1			
...			

4. kontur uchun alohida rezonans egri chizmasini tuzing. Rezonans egri chizig'ini olish asosida konturning sifat koeffitsienti (Q) ni hisoblang.
5. Normal chastotalar uchun 20.7 ifodadan foydalangan holda, induktorning o'zaro induktivlik koeffitsienti  $L_{12}$  ni aniqlang. Hisoblangan o'zaro induktivlik koeffitsienti  $L_{12}$  ni va shuningdek, o'z-o'zini induktivlik koeffitsientlarini  $L_1$  va  $L_2$  formula 20.2 bo'yicha bog'lanish koeffitsienti  $K$  ni hisoblash uchun foydalaning.
6. Bog'lanish koeffitsienti bo'yicha normal chastotalarning grafikasi chizilsin, bu koeffitsientni 20.13- formula bo'yicha hisoblash kerak.

**Rezonans egri chizig'i bog'langan konturlar uchun**

1. 20.5-rasmda keltirilgan ulanish sxemasi bo'yicha elektr zanjirini yig'ing. SI kalitini A2 kontaktiga, A1 kontaktini esa ajratilgan holda qoldiring.
2. "Generator bloklari", "Multimetr bloklari" va osiloskopni ulash. Generatorning kuchlanishini 4-5 V ga sozlang.

3. Generator chastotasini  $f = \omega/2\pi$  formulasi orqali o'zgartiring, rezonansni aniqlang va bog'langan konturlar uchun ikkita rezonans maksimalini ko'rsating.  $U_{C1}(f)$  o'zgarishini o'lchang, ma'lumotlarni 20.2-jadvaliga yozing.

**20.2-Jadval**

№	$\omega, rad/s$	$f, Hz$	$U_{C1}, V$
1			

4. Ikki bog'langan kontur uchun rezonans egri chizmasini tuzing.
5. Normal chastotalar uchun 20.7-ifodadan foydalangan holda, induktorning o'zaro induktivlik koeffitsienti  $L_{12}$  ni aniqlang. Hisoblangan o'zaro induktivlik koeffitsienti  $L_{12}$  shuningdek, o'z-o'zini induktivlik koeffitsientlarini  $L_1$  va  $L_2$  yordamida, 2-formula bo'yicha bog'lanish koeffitsienti  $K$  ni aniqlang.
6. Normal (rezonans) chastotalarining bog'lanish koeffitsienti bo'yicha grafik chizilsin, bu koeffitsientni formula 20.13- formula bo'yicha hisoblash kerak.
7. O'zaro induktivlik koeffitsientining nazariy qiymatini hisoblang  $L_{12}^{naz}$ , formula (20.16) bo'yicha. Hisoblangan qiymatlarni  $L_{12}^{taj}$  va  $L_{12}^{naz}$  solishtiring va ularning o'rtasidagi mumkin bo'lgan farqni tushuntirib bering.

**Nazorat savollari**

1. Chiziqli garmonik ossilyator modelini mexanik va elektr kollektiv tebranishlar holatlarida markazlashtirilgan parametrlar yordamida qanday tasvirlash mumkin?
2. Elektrik konturining o'ziga xos va majburiy tebranishlari nima?
3. Mexanik va elektr kollektiv tebranishlar holatida bog'langan tebranuvchi tizimni qanday qilish mumkin?
4. Normal kollektiv tebranishlar nima?
5. Ikki bog'langan konturdagi o'zaro induktiv bog'lanishni tushuntiring.
6. Ikki kontur orasidagi bog'lanish koeffitsientini qanday hisoblash mumkin?
7. Yagona kontur uchun va ikki konturli bog'langan konturlar uchun

rezonans egri chizmasini chizing.

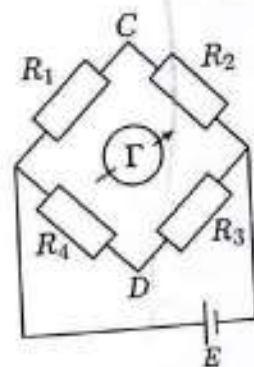
8. Yagona kontur va ikki konturli konturlar uchun rezonans maksimalari qanday chastotalarda mavjud?
9. O'zaro induktivlik koeffitsienti nima?

## 21- LABORATORIYA ISHI: "UISTON KO'PRIGI"

**Ishdan maqsad:** Uiston ko'prigi sxemasi yordamida elektr qarshiliklarni tajriba asosida aniqlash.

### Nazariy ma'lumotlar

Ko'prik sxemalari laboratoriya amaliyotida elektr kattaliklarni (masalan, qarshilik  $R$ , sig'im  $C$ , induktivlik  $L$ ) aniqlash uchun keng qo'llaniladi. Bu metod oldindan ma'lum bo'lgan analog kattaliklar bilan taqqoslash asosida bajariladi. Bunday yondashuv bir qator afzalliklarga ega, jumladan, murakkab va qimmat uskunalarsiz yuqori aniqlikdagi natijalarni olish imkonini beradi. Ko'prik sxemalarining eng sodda va keng tarqalgan shakllaridan biri bu Uiston ko'prigi hisoblanadi ushbu sxema 1844-yilda Charlz Uiston (1802–1875) tomonidan qarshiliklarni aniqlash uchun ishlab chiqilgan (2.1-rasmga qarang).



21.1-rasm.

Uiston ko'prigi sxemasining ishlash prinsipini ushbu sodda misol asosida ko'rib chiqamiz (21.1-rasm). Uiston ko'prigi o'z ichiga to'rtta rezistorni ( $R_1, R_2, R_3, R_4$ ) oladi — ular ko'prikning to'rtta yelkasini tashkil etadi va to'rtburchak shaklida tutashirilgan. Elektr manbai ( $E$ ) ko'prikning bir diagonalini bo'ylab ulanadi, galvanometr ( $G$ ) esa boshqa diagonalga ulanadi. Rezistorlardan biri noma'lum bo'lsa, qolgan uchta rezistor ma'lum bo'ladi va ulardan kamida bittasining qiymatini o'zgartirish mumkin. Moslashtiriladigan qarshilikning qiymatini o'zgartirish orqali shunday holatga erishish mumkin-ki, u holda  $C$  va  $D$  nuqtalar orasidagi potensiallar

farqi nolga teng bo'ladi. Bunday holatda galvanometr tokning CD tarmog'idan o'tmayotganini ko'rsatadi. Bu holatda ko'prik muvozanatlashgan deb ataladi. Shunday bo'lsa, bu holatda quyidagicha bo'ladi:

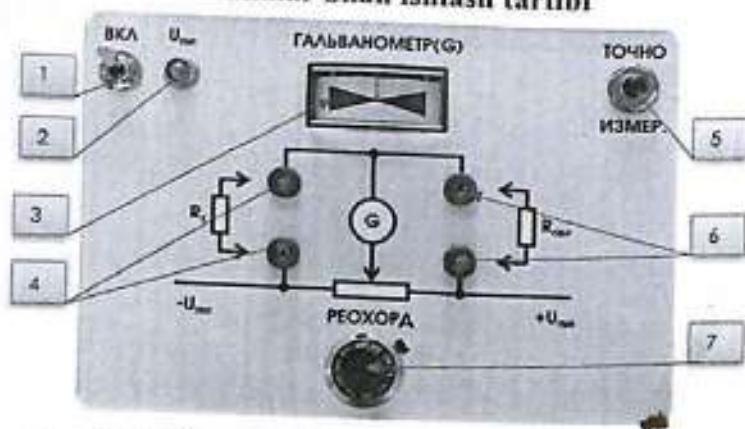
$$I_1 = I_2, \quad I_3 = I_4, \quad I_1 R_1 = I_4 R_4, \quad I_2 R_2 = I_3 R_3 \quad (21.1)$$

Ushbu tenglamalar tizimini yechib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$R_1 * R_3 = R_2 * R_4 \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \quad (21.2)$$

Demak, agar ko'prik muvozanat holatida bo'lsa, unda qarshiliklar o'rtasida ma'lum bir nisbat mavjud bo'ladi va shu asosda noma'lum qarshilikni qolgan uchta ma'lum qarshilik orqali ifodalash mumkin. Reoxordli o'lchov ko'prigi (21.2-rasm) Uiston ko'prik sxemasini yig'ish va tadqiq qilish uchun mo'ljallangan bo'lib, elektr manbai va yig'ma paneldan iborat. Yig'ma panel sxemani yig'ish va kommutatsiya qilish uchun mo'ljallangan. U minimal modullar va qarshiliklar do'konini joylashtirish uchun belgilanadi. Reoxordli o'lchov ko'prigi qarshiliklarni o'lchashda keng tarqalgan metodlardan biri bo'lib, ularning asosida aynan ko'prik sxemasi yotadi.

### Uskunalar bilan ishlash tartibi



**21.2-rasm** – Ko'prik sxemasining ko'rgazmali ko'rinishi: 1 – quvvat moduli yoqilishi uchun kalit; 2 – quvvat moduli yoqilganini bildiruvchi yorug'lik indikator; 3 – galvanometer; 4 – qarshiliklar do'konini ulash uchun ulash qistirmasi; 5 – aniq o'lchovlar uchun fiksatsiyalanmaydigan tugma; 6 – namunaviy qarshilikni ulash uchun ulash qistirmasi; 7 –

reoxordli rezistorning aylanishlar sonini ko'rsatuvchi hisoblagich.

### Ishni bajarish tartibi

1. Uskuna bilan ishlashni boshlash uchun ko'rgazmali ko'prik sxemasi (keyingi o'rinlarda – modul) doimiy tok manbai orqali 220 V tarmog'iga ulanadi.
2. Reoxordli rezistor (21.2-rasm) holatining hisoblagichi o'rtacha holatga – ya'ni 50% ga o'rnatiladi.
3. O'lchov rezistorining istalgan namunasi  $R_{nam}$  (10 Om, 100 Om, 1 kOm) 6-raqamli klemmalarga ulanadi. Namunaviy qarshilik qiymati aniqlanishi kerak bo'lgan qarshilik  $R_x$  ning 10 baravaridan oshmasligi lozim.
4. Qarshiliklar maazini 4-raqamli klemmalarga ulovchi kabellar orqali ulang – bu noma'lum qarshilikni aniqlash uchun zarur.
5. Quvvat moduli kalitini (1) yoqish holatiga (VKL) ga olib keling – natijada quvvat indikator chirog'i (2) yonadi.
6. Reoxordli rezistorning (7) burama tutqichini burab, galvanometr (3) ko'rsatkich strelkasi nol holatga kelguncha sozlang.
7. Reoxord qarshiligi  $R_{re}$  ning ko'rsatkichlarini o'qing va noma'lum qarshilik  $R_x$  ni quyidagi tenglama asosida hisoblang:

$$\frac{R_x}{R_{nam}} = \frac{R_{re}}{100 - R_{re}} \quad (21.3)$$

8. Aniqlanayotgan qarshilikni yanada aniqroq o'lchash uchun ANIQ O'LCHOV tugmasini (5) bosib. Tugmani (5) bosib turgan holda 6–7-bandlarni takrorlang.
9. Xulosalar chiqaring.
10. Kalit (1) yordamida moduldagi quvvatni o'chiring Uskunani tarmoqdan uzing.

21.1-jadval

$R_{nam} = 10 \text{ Om}$		
Kattalik	O'lchov 1	O'lchov 2
$R_{re}$		
$R_x$		
$R_{nam} = 100 \text{ Om}$		
Kattalik	O'lchov 1	O'lchov 2

$R_{re}$		
$R_x$		
$R_{nam} = 1000 \text{ Om}$		
Kattalik	O'lchov 1	O'lchov 2
$R_{re}$		
$R_x$		
$R_{nam} = 1 \text{ kOm}$		
Kattalik	O'lchov 1	O'lchov 2
$R_{re}$		
$R_x$		

#### Nazorat savollari

1. Rezistor nima? Rezistorning qarshiligi qanday omillarga bog'liq?
2. Qanday qarshilikni chiziqli deb atash mumkin?
3. Ko'priqli o'lchov sxemasi nima? O'lchov prinsipini tushuntiring.
4. Ko'priq sxemasi orqali o'lchashning boshqa usullarga nisbatan qanday ustunliklari mavjud?
5. Ko'priq sxemasida noma'lum qarshilikni aniqlash uchun formulani keltiring.

## 22-LABORATORIYA ISHI KIRXGOFNING BIRINCHI QONUNINI TAJRIBA ASOSIDA TEKSHIRISH

**Ishning maqsadi:** Kirxgofning birinchi qonunini tajriba asosida tekshirish.

#### Qisqacha nazariy ma'lumotlar

Kirxgof qoidalari (ba'zi adabiyotlarda Kirxgof qonunlari deb ataladi) - bu har qanday elektr zanjirining uchashtalarida toklar va kuchlanishlar o'rtasidagi bog'lanishni ifodalovchi munosabatlardir. Kirxgof qoidalari elektr toki doimiy, o'zgaruvchan yoki kvazistatsionar bo'lgan barcha elektr zanjirlarini hisoblash imkonini beradi. Ayniqsa, ularning universalligi sababli elektr texnikasida katta ahamiyatga ega, chunki ular murakkab elektr zanjirlarini nazariy va amaliy jihatdan hisoblashda keng qo'llaniladi. Kirxgof qoidalari chiziqli elektr zanjirga qo'llanganda, ular asosida toklar yoki kuchlanishlar bo'yicha chiziqli tenglamalar tizimi tuziladi. Bu esa har bir zanjir tarmog'idagi tok qiymatlarini hamda tugunlar orasidagi kuchlanishlarni aniqlash imkonini beradi. Bu qoidalar 1845-yilda nemis fizigi Gustav Kirxgof tomonidan shakllantirilgan. Ularni "qoidalar" deb atash to'g'riroqdir, chunki ular fundamental tabiiy qonunlar emas, balki zaryadning saqlanish qonuni va elektrostatik maydonning girdobsizligi (ya'ni, Maksvell tenglamalarining uchinchi tenglamasi) kabi asosiy fizik qonunlardan kelib chiqadi.

Kirxgof qoidalarini to'g'ri tushunish va ulardan elektr zanjirlarini tahlil qilishda foydalanish uchun elektr zanjirining quyidagi asosiy tarkibiy elementlari haqida aniq tasavvurga ega bo'lish zarur: tugun, tarmoq elementi va kontur

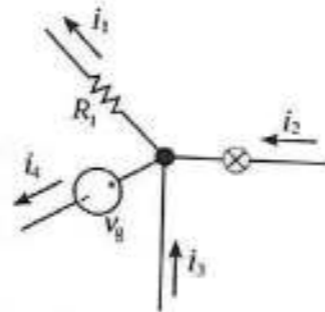
Tarmoq elementi - bu elektr zanjiriga kiruvchi har qanday ikki qutbli (ya'ni, ikki uchga ega bo'lgan) elementdir. Masalan, elektr sxemasidagi R1 qarshilik elementi va undan oqib o'tayotgan II toki bilan ifodalangan qism nuqtasidir. Elektr sxemalarida bunday tugunlar odatda qalin (yog'on) nuqtalar bilan belgilanadi.

Kontur - bu elektr zanjirida tarmoq elementlardan tashkil topgan yopiq yo'nalish bo'lib, unda harakatni zanjirning biror tugunidan boshlagan holda,

bir necha tarmoq elementlari va tugunlar orqali bir marta o'tib, aynan shu boshlang'ich nuqtaga qaytish mumkin bo'ladi.

"Yopiq aylana" degan atama aynan shu harakatni anglatadi: ya'ni, boshlang'ich tugundan boshlab, zanjirning bir qancha qismlaridan bir marta o'tiladi va yakunida yana o'sha tugunga qaytiladi. Bunday aylana bo'ylab o'tilgan barcha tugun va tarmoq elementlar shu kontur tarkibiga kiradi.

Shuni ham ta'kidlash lozimki, har qanday tarmoq elementi yoki tugun bir vaqtning o'zida bir nechta konturlarga tegishli bo'lishi mumkin. Shu sababli, elektr zanjirlarini tahlil qilishda konturlarni tanlashda bu holat hisobga olinadi.



Tugunga kiruvchi toklarning miqdori undan chiqayotgan toklar miqdoriga teng:  $i_2 + i_3 = i_1 + i_4$

Kirxgofning birinchi qoidasiga ko'ra, har qanday elektr zanjiri tugunidagi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng bo'ladi. Bunda tugunga yo'nalgan toklar musbat, tugundan chiqayotgan toklar esa manfiy ishora bilan olinadi: Tugunga yo'nalgan toklarning algebraik yig'indisi, tugundan chiqayotgan toklar yig'indisiga teng.

$$\sum_{j=1}^n I = 0$$

Boshqacha aytganda, tugunga qancha tok kirsa, undan aynan shuncha tok chiqadi. Mazkur qoida zaryadning saqlanish qonunidan - fizikadagi fundamental tamoyildan kelib chiqadi.

#### Laboratoriya ishini bajarish tartibi

1. Elektr zanjirini yig'ish: montaj-panelning bo'sh joylariga rezistorlarning mini-modullarini o'rnatish orqali sxemani shakllantiring.

Rezistorlarning nominal qarshilik qiymatlari o'qituvchining ko'rsatmasiga muvofiq tanlanadi. Sxemaga o'lchov asboblari hamda elektr energiyasi manbai ulovchi simlar yordamida ulanadi (22.1-rasm). "O'lchov moduli" blokidagi ampervoltmetrlar kalitining holatini tokni o'lchash rejimiga ("I, mA") mos ravishda sozlang. Quvvat manbalari  $E_1$  va  $E_2$  ning chiqish kuchlanishlarini boshqaruvchi regulyatorlarini eng past (minimal) holatga - chap chegara pozitsiyasiga o'rnatish.

2. Monoblokni elektr tarmog'iga ulash: quvvat kabeli yordamida qurilmani 220 V, 50 Gts chastotadagi o'zgaruvchan tok manbaiga ulang.
3. Monoblokni ishga tushiring: avtomatik uzgichni "YOQILGAN" ("ВКЛ") holatga o'tkazing.



22.1-rasm. Tajriba sxemasi

4.  $E_1$  quvvat manbaining chiqish kuchlanishini regulyator yordamida 15 V ga sozlang. Ampermetrlar ko'rsatkichlarini 22.1-jadvalga yozib oling.
5. Sxema tuguni uchun Kirxgofning birinchi qonuniga asosan tenglama tuzing va unga o'lchangan tok qiymatlarini qo'ygan holda hisoblash orqali Kirxgof qonunining tarmoqlangan elektr zanjiri uchun bajarilishini tekshirib ko'ring.
6. Rezistorlarning qarshilik qiymatlarini o'zgartiring va tajribani takrorlang.

22.1-jadval

Rezistorlarning nominal qarshiliklari, Om			
R1, Om	R2, Om	R3, Om	R4, Om
E1, V	I1, mA	I2, mA	I3, mA

### “KIRXGOFNING IKKINCHI QONUNINI TEKSHIRISH”

Ishning maqsadi: Kirxgofning ikkinchi qonunini eksperimental usulda tekshirish.

#### Qisqacha nazariy ma'lumotlar

Kirxgofning ikkinchi qoidasi (Kirxgofning kuchlanishlar qoidasi deb ham yuritiladi) quyidagicha ifodalanadi: har qanday elektr zanjirining yopiq konturida joylashgan barcha vetvlardagi kuchlanishlar tushuvining algebraik yig'indisi shu konturdagi kuchlanishlarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

Agar kontur tarkibida elektr kuchlanish manbalari mavjud bo'lmasa, undagi kuchlanish tushuvlarining umumiy yig'indisi nolga teng:

doimiy kuchlanishlar uchun:

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^m U_k = \sum_{k=1}^m R_k I_k$$

o'zgaruvchan kuchlanishlar uchun:

$$\sum_{k=1}^n e_k = \sum_{k=1}^m u_k = \sum_{k=1}^m R_k i_k + \sum_{k=1}^m u_{Lk} + \sum_{k=1}^m u_{Ck}$$

Bu qoida Maksvell tenglamalarining uchinchi tenglamasidan, xususan, statsionar magnit maydon holatidagi xususiy holatdan kelib chiqadi.

Boshqacha aytganda, kontur bo'ylab to'liq aylanishda elektr potentsiali o'zgarib borsa-da, yakunida boshlang'ich qiymatiga qaytadi. Ikkinchi qoidaning bitta konturdan iborat bo'lgan zanjir uchun xususiy holi bu ushbu zanjir uchun Om qonunidir. Kontur uchun kuchlanishlar tenglamasini

tuzishda avval kontur bo'ylab musbat aylanish yo'nalishini tanlash zarur. Bunda, agar aylanish yo'nalishi zanjir elementining tok yo'nalishi bilan mos kelsa, kuchlanish tushuvi musbat deb olinadi; agar aksincha bo'lsa manfiy deb qabul qilinadi.

Kirxgof qoidalari chiziqli va nochiziqli zanjirlar uchun, tok va kuchlanishlarning vaqt bo'yicha har qanday o'zgarishi holatida ham amal qiladi.

#### Laboratoriya ishini bajarish tartibi

1) Elektr sxemasini yig'ish: montaj panelining bo'sh joylariga rezistorlarning mini-modullarini o'rnatish. Rezistorlarning nominal qiymatlari o'qituvchining ko'rsatmasiga muvofiq tanlanadi. Ulovchi simlar yordamida sxemaga o'lchov asboblari va quvvat manbalarini ulang (2-yordamida sxemaga o'lchov asboblari va quvvat manbalarini ulang (2-rasm). “O'lchov moduli” blokidagi ampervoltmetrlarni kuchlanish o'lchash rejimiga o'tkazing (tumbler holatini «U, V» ga sozlang). Quvvat manbalari E<sub>1</sub> va E<sub>2</sub> ning chiqish kuchlanishini boshqaruvchi regulyatorlarni chap chekka holatga, minimal qiymatga o'rnatish.



22.2-rasm. Tajriba sxemasi

2) Quvvat kabeli yordamida monoblokni 220 V, 50 Gts chastotali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulang.

3) Monoblokni avtomatik uzgichni "YOQILGAN" holatga ("BKJ") o'tkazish orqali ishga tushiring.

4)  $E_1$  va  $E_2$  quvvat manbalarining chiqish kuchlanishlarini mos ravishda 15 V va 9 V ga sozlang. Voltmetr ko'rsatkichlarini 22.2-jadvalga yozib oling.

5) Sxemaga o'lchov asboblari ulang, vetvlardagi toklar  $I_1, I_2, I_3$  hamda zanjirning passiv uchastkalaridagi kuchlanishlar  $UR_1, UR_2, \dots, UR_5$  ni o'lchang. Olingan ma'lumotlarni 22.2-jadvalga kiriting.

6) O'lchangan tok qiymatlari va rezistorlar qarshiliklari asosida Ohm qonuni bo'yicha kuchlanish tushuvlarini hisoblang ( $U = I \cdot R$ ). Hisoblangan natijalarni 22.2-jadvalga yozing.

7) Elektr zanjirining ikki konturi uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan kuchlanish tenglamalarini tuzing, ularga o'lchangan kuchlanishlarni qo'yib, bu qonunning bajarilishini tekshirib ko'ring.

8) Rezistorlarning qarshilik qiymatlarini o'zgartiring va tajribani qayta bajaring.

22.2-jadval

Rezistorlarning nominal qarshiliklari, Om				
$R_1, \text{Om}$	$R_2, \text{Om}$	$R_3, \text{Om}$	$R_4, \text{Om}$	$R_5, \text{Om}$
O'lchov asboblari ko'rsatkichlari				
$E_1, \text{V}$	$E_2, \text{V}$	$I_1, \text{mA}$	$I_2, \text{mA}$	$I_3, \text{mA}$
$UR_1, \text{V}$	$UR_2, \text{V}$	$UR_3, \text{V}$	$UR_4, \text{V}$	$UR_5, \text{V}$
Hisoblash natijalari				
$U_1, \text{V}$	$U_2, \text{V}$	$U_3, \text{V}$	$U_4, \text{V}$	$U_5, \text{V}$

#### Nazorat savollari

I. Tarmoqlangan va tarmoqlanmagan elektr zanjiri deganda nima tushuniladi?

2. Elektr zanjirining tuguni nima?

3. Elektr zanjir deb nimaga aytiladi?

4. Kirxgofning birinchi qoidasini bayon qiling.

5. Kirxgofning ikkinchi qoidasini bayon qiling.

6. Tarmoqlangan elektr zanjirini hisoblashda Kirxgof qoidalarini qo'llash metodikasi qanday?

7. Kuchlanishning ijobiy yo'nalishi tanlovi tok yo'nalishining tanloviga bog'liqmi?

8. Elektr toki nima?

9. Tok kuchi tushunchasiga ta'rif bering.

10. Potensiallar farqi (kuchlanish) tushunchasiga ta'rif bering.

11. Potensiallar ayirmasi bilan kuchlanish orasidagi bog'liqlik formulasini yozing.

12. Rezistor nima?

13. Ketma-ket ulangan rezistorlar uchun umumiy qarshilik formulasini yozing.

14. Parallel ulangan rezistorlar uchun umumiy qarshilik formulasini yozing.

23-LABORATORIYA ISHI.  
 "FERROMAGNIT MATERIALLARDA GISTEREZIS  
 HODISASINI O'RGANISH"

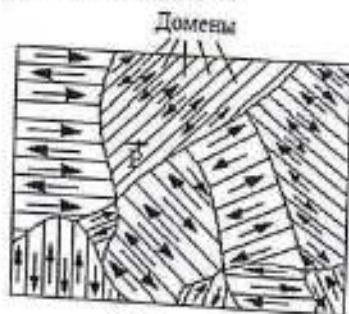
**Ishdan maqsad:** Ferromagnitlarning magnit xossalari va asosiy parametrlari bilan tanishish.

**Nazariy ma'lumotlar**

**Ferromagnitlarning tuzilishi va ferromagnetizm tabiati**

Bu masalalarni o'rganish ancha murakkabliklar bilan bog'liq, chunki ferromagnetizm tabiatini klassik fizika orqali tushuntirib bo'lmaydi u faqat kvant fizikasi asosida izohlanadi. Talabalar esa laboratoriya ishini bajarayotgan bosqichda bu soha bilan hali tanish emas bo'lishi mumkin. Shu sababli, adabiyotlarni o'rganishda talabalar quyidagi asosiy qoidalarga alohida e'tibor qaratishlari tavsiya etiladi:

Ferromagnitlar bu kristallik tuzilishga ega bo'lgan, makroskopik jihatdan bir hil ko'rinadigan, lekin hajman juda kichik ( $10^{-6} - 10^{-3} \text{ mm}^3$ ) spontan magnitlanish (ya'ni o'z-o'zidan magnitlangan) sohalar domenlardan tashkil topgan moddalardir.



23.1-rasm.

Domen har bir chegarasi ichida bir hil tarzda va to'liq to'yingan holatda magnitlangan bo'ladi. Polikristall ferromagnit namunadagi har qanday kristallikda (23.1-rasm) qo'shni domenlar magnit momentlari kristallikning magnitlanish oson bo'lgan o'qlaridan biri bo'yicha, o'zaro qarama-qarshi yo'nalishlarda yo'naltirilgan bo'ladi.

Umuman olganda, kristall namuna ichida domenlarning magnit momentlari barcha yo'nalishlar bo'yicha teng ehtimollikda yo'nalgan bo'ladi. Namuna magnitlanmagan holatda bo'ladi va bu uning barqaror holati hisoblanadi. Bu holat namunadagi energiyaning minimumiga mos

keladi, ya'ni barcha domenlarning magnit maydon energiyasi hamda kristall panjaradagi qo'shni atomlarning elektronlari o'rtasidagi kovalent bog'lanishdagi o'zaro ta'sirlashuv energiyasidan tashkil topgan bo'ladi. Domenlarning spontan magnitlanish tabiati, kvant tabiatiga ega, ya'ni bu hodisa kvant fizikasining nazariyasi asosida tushuntiriladi.

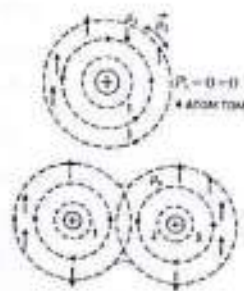
Barcha elektronlar o'ziga xos spin (ichki) magnit momentlariga  $\vec{\mu}_s$  ega, ya'ni ular fazoda muayyan yo'nalishda yo'nalish xususiyatiga ega bo'ladi. Bu yo'nalish tashqi magnit maydon ta'siri yoki o'zaro ta'sir natijasida yuzaga keladi. Shuni ta'kidlash kerakki,

$$\mu_s = 1.6 \frac{10^{-23} \text{ J}}{\text{Tl}} \left( \frac{1 \text{ J}}{\text{Tl}} = 1 \text{ Am}^2 \right)$$

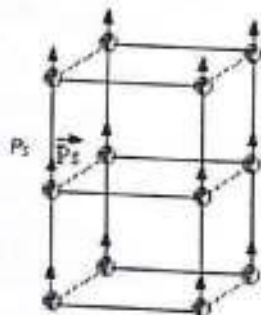
Ferromagnit materiallarning atomlari ichki elektron qobig'ining to'liq to'lmagan (yarim to'ldirilgan) tuzilmasiga ega. Masalan, temir atomlarining to'rtta elektron qobig'i mavjud: birinchi va ikkinchi qobiq to'liq to'ldirilgan, uchinchi ichki qobiq 18 ta imkoniyatli holatdan faqat 14 ta elektron bilan to'ldirilgan. Tashqi qobiqda esa ikki valent elektron mavjud bo'ladi (23.2-to'ldirilgan). Har bir qobiq ichidagi elektronlar juft-juft bo'lib, o'zlarining rasmiga). Har bir qobiq ichidagi elektronlar juft-juft bo'lib, o'zlarining magnit momentlarini o'zaro qarama-qarshi yo'nalishda yo'naltiradi. Natijada, atomdagi barcha elektronlarning spin magnit momentlarining yig'indisi nolga teng bo'ladi:  $\vec{P}_s = \sum \vec{\mu}_s = 0$ .

Ferromagnitning kristallanish jarayonida to'liq to'lmagan ichki qobiqdagi elektronlarning spin magnit momentlari  $\vec{\mu}_s$  o'zaro ta'sir natijasida kristall panjarasida (23.2-rasm) qat'iy parallel holatda yo'naladi. Bu yo'nalish hosil bo'layotgan kristallikning "oson magnitlanish o'qlari" bo'ylab amalga oshadi. Natijada atomlarning spin magnit momentlarining yig'indisi:  $\vec{P}_s = 4\vec{\mu}_s$  Natijada atomlarning spin magnit momentlarining yig'indisi kabi bo'ladi (23.3-rasm). Bu momentlar kristall panjarani hosil qiluvchi atomlar orasida to'planib, domenning umumiy magnit momentini tashkil etadi:  $\vec{P}_d = \sum \vec{P}_s$  va domenning magnitlanishi quyidagiga teng bo'ladi:  $\vec{I} = \vec{P}_d / V_d$  (bu yerda  $V_d$  - domen hajmi) va u miqdor jihatidan taxminan  $10^7 - 10^9 \text{ A/m}$  atrofida bo'ladi. Bu jarayon o'z-o'zidan (spontan tarzda) sodir bo'ladi va shu bilan bir vaqtda kristall atomlarining to'rtinchi qobig'idagi valent elektronlarining umumlashgan holatga o'tishi bilan

kechadi.



23.2-rasm.

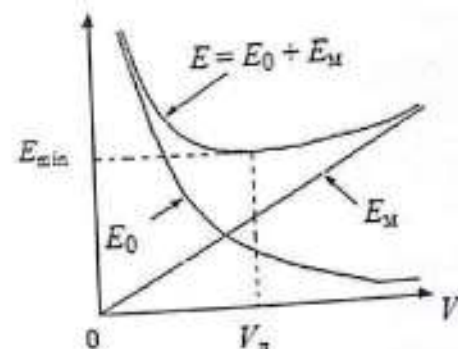


23.3-rasm.

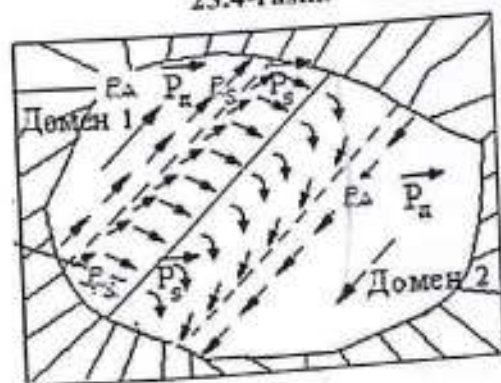
Magnit momentlar  $\vec{\mu}_s$  ning o'zaro parallel yo'nalganligi qo'shni atomlar elektronlari o'rtasidagi o'zaro ta'sir energiyasining ya'ni almashinish energiyasi  $E_0$  ning kamayishi bilan kechadi. Bu energiya domen hajmi  $V_d$  qancha katta bo'lsa, shuncha kichik bo'ladi. Biroq domen hajmi ortgani sayin, uning magnit momenti ham ortadi va shunga muvofiq ravishda domenning magnit maydon energiyasi  $E_m$  ham oshadi. Minimal yig'indi energiya  $E_{min}$  esa muayyan bir aniqlangan va barqaror domen hajmida  $V_d$  yuzaga keladi bu holat 23.4-rasmda ko'rsatilgan.

Aynan shu shart ferromagnit kristalliklarning domenlarga bo'linishini rag'batlantiradi, bunda domenlar o'zaro antiparallel yo'nalgan magnit momentlarga  $\vec{P}_d$  ega bo'ladi. Kristallning magnit energiyasi bunday bo'linish natijasida keskin kamayadi, almashinish energiyasi esa ancha kichik miqdorda ortadi. Bu ortish domenlar orasidagi hajmiy chegaralarda (ya'ni Blox devorlarida) sodir bo'ladi va atomlarning spin magnit momentlari asta-sekin qayta yo'nalishi natijasida yuzaga keladi (5-rasm).

Polikristall ferromagnitlarda esa turli monokristallik hududlarga tegishli bo'lgan domenlarning ixtiyoriy orientatsiyasi erkin energiyaning yanada kamayishiga olib keladi (1-rasm).



23.4-rasm.



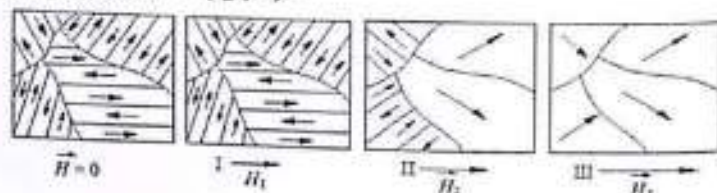
23.5-rasm.

Adabiyot [2] ni o'rganishda talabaga ferromagnitning texnik magnitlanish jarayoni mohiyatini tushunib olish tavsiya etiladi. Bu jarayonning asosiy xususiyatlari quyidagilardan iborat:

1. Magnitlanmagan ferromagnit namunasi tashqi magnit maydoniga joylashtirilganda, masalan, tokli solenoid maydonida, majburiy yoki "texnik" magnitlanish sodir bo'ladi. Bu holda namunadagi barcha domenlar tashqi magnit maydon kuchlanish vektori  $\vec{H}$  yo'nalishida to'liq yoki qisman yo'naltiriladi (23.6-rasm; bu yerda  $H_1 < H_2 < H_3$ ).

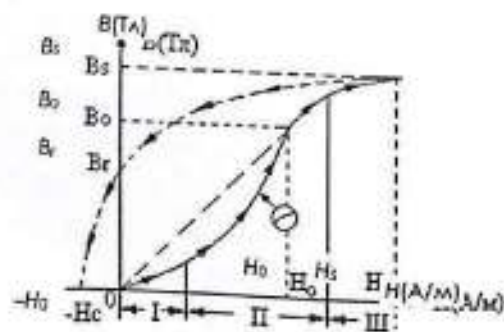
Ferromagnit namunadagi magnit maydon  $\vec{B}$  induksiya bilan ifodalanadi va bu induksiya  $B = f_1(H)$  funksiyasi bo'yicha  $H$  kuchlanishga bog'liq. Bu bog'liqlik nolinear (chiziqli bo'lmagan) va umuman olganda noaniq bo'ladi.

Faqatgina boshlang'ich texnik magnitlanish jarayoni uchun quyidagi chiziqli tenglama ishlatilishi mumkin:  $B = \mu_0 \mu H$  bu yerda:  $\mu_0$  – magnit doimiylik,  $\mu$  – moddaning magnit singdira oluvchanligi,  $\mu$  qiymati maydon kuchlanishiga bog'liq:  $\mu = f_2(H)$ .



23.7-rasm. Boshlang'ich magnitlanish egri chizig'i (to'liq chiziq) ko'rsatilgan. Egri chiziqning uchta xarakterli qismi mavjud bo'lib, ular 23.6-rasmga mos keladi. 1-qismda magnit maydon kuchlanishi ortishi bilan domen chegaralarining qaytar siljishi va domen hajmining ortishi yuz beradi, bunda domenlar yo'nalishi  $H$  maydon yo'nalishiga yaqinlashadi. Antiparallel yo'nalgan qo'shni domenlar qisqaradi. 2-qismda esa bu jarayon kuchayadi, uzluksiz sakrashi bilan kechadiva qaytmas xususiyatga ega bo'ladi.

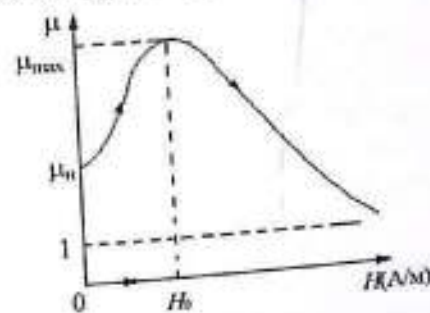
Maydon induksiyasining sakrashi tarzidagi o'zgarishi natijasida kristall ichida girdobiy toklar hosil bo'ladi, bu esa moddaning qizishiga olib keladi va magnitlovchi maydonning bir qismi energiyasi yo'qoladi. Bu energiyaning bir qismi esa tovush to'lqinlari energiyasiga aylanishi mumkin. II-qism oxirida namunadagi domenlarning ko'pchiligi qo'shni domenlarni yutib, kristallning oson magnitlanish o'qlari bo'ylab, ya'ni magnit maydon  $\vec{H}$  ga yaqin yo'nalishda tartiblanadi.



23.8-rasm.

III-qismda esa kuchliroq magnitlovchi maydon domenlarning sekin va izchil aylanishiga sabab bo'ladi, bu aylanish yo'nalishi magnit maydon  $\vec{H}$  bilan mos tushadi. Natijada ferromagnitning magnitlanishi to'yingan holatga (ya'ni  $H_s, B_s$ ) yetadi. Shundan so'ng, induksiya  $\vec{B}$  ning ortishi moddaning o'ziga emas, balki faqat  $\vec{H}$  kuchlanishining ortishiga bog'liq bo'ladi.

Magnit singdira olish qobiliyati quyidagicha ifodalanadi:  $\mu = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{B}{H}$ . Boshlang'ich magnitlanish egri chizig'idan ko'rinib turibdiki, magnit singuvchanlik zaif magnit maydonlarda boshlang'ich qiymat  $\mu_n$  dan maksimal qiymatgacha:  $\mu_{max} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{B_0}{H_0}$  oshadi (bu  $H = H_0$  bo'lganda sodir bo'ladi), 23.9-rasmda ko'rsatilganidek. Magnitlovchi maydon kuchlanishi yanada oshirilganda, magnit singuvchanlik kamayadi va asimptotik tarzda  $\mu = 1$  qiymatiga yaqinlashadi. Bu holatda ferromagnit modda egallagan hajmga nisbatan magnit maydonga deyarli ta'sir ko'rsatmaydi. Shu sababli, "magnit singuvchanlik" tushunchasi ferromagnitlar uchun faqat boshlang'ich magnitlanish egri chizig'i doirasida qo'llaniladi.



23.9-rasm.

### Laboratoriya qurilmasida gisterezis halqasi yordamida ferromagnetik xususiyatlarini o'rganish

I. Magnitlovchi maydon kuchlanishini nolga kamaytirishda magnitlangan ferromagnit modda faqatgina qisman demagnitlanadibu qaytmas jarayonlar natijasida yuzaga keladi (23.8-rasm).  $H = 0$  o'lganda ferromagnit modda qoldiq magnit induksiya  $B_r$  bilan tavsiflanadi. Induksiya  $B$  ning maydon kuchlanishi  $H$  kamayganda saqlanishi hodisasi magnit gisterezis deb

ataladi.

2. Magnitlanishni yo'nalishi o'zgartirilgan maydonda, ya'ni teskari yo'nalishdagi magnetlovchi maydon ostida  $H = 0$  dan  $H = -H_c$  gacha kuchlanishni o'zgartirish orqali induksiya qiymatini nolga teng qilish mumkin. Bu yerda  $H_c$  qiymati ferromagnitning koersitiv kuchi deb ataladi. U ferromagnitda qoldiq induksiya qanchalik kuchli ushlab turilishini ko'rsatadi.

3.  $H_c < 80 \text{ A/m}$  bo'lgan ferromagnitlar yumshoq ferromagnitlar deb ataladi. Bunday materiallarga temir, elektrotexnik po'lat, nikel bilan temir qotishmasi (masalan, permalloy) kiradi. Ular juda yuqori magnet singuvchanlikka ega bo'ladi ( $\mu_{max} = 5000$  dan  $50000$  gacha va undan yuqori) va transformator yadro materiallari, elektr mashinalari uchun ishlatiladi. Aksincha,  $H_c > 4000 \text{ A/m}$  bo'lgan ferromagnitlar qattiq ferromagnitlar deb ataladi va ular doimiy magnetlar ishlab chiqarishda qo'llaniladi [2].

4. Ferromagnit materialdagi magnet induksiya ning o'zgarish jarayoni  $H = f(t)$  bo'yicha o'zgaruvchi maydon ta'sirida gisterzis ilgagi bilan ifodalanadi (23.10-rasm). Bu simmetrik, yopiq egri chiziq bo'lib, magnet induksiyaning maydon kuchlanishiga kechikib javob berishini aks ettiradi. Agar maydon kuchlanishi amplitudasi namunaning magnet to'yinganlik sohasiga kirsam, bunday gisterzis ilgagi chegaraviy gisterzis deb ataladi; boshqa hollarda esa asosiy sikl gisterzisi deb yuritiladi (bu ferromagnitning asosiy xarakteristikasidir). Nolinearlik shuni ko'rsatadiki, induksiya  $B$  kuchlanish  $H$  qonuniga bo'ysunmaydi. Ferromagnitlarning gisterzis holatlarini sinovdan o'tkazishda ko'pincha sinusoida shaklidagi maydon:  $B = B_m \sin(\omega t)$  qo'llaniladi. Bu holda, kuchlanish  $H$  qonun bo'yicha  $H = f(t)$  bo'yicha emas, balki sezilarli darajada buzilgan sinusoida shaklida o'zgaradi (23.10-rasm).

Gisterzis xalqasining ikkala shoxi ham shuni anglatadiki, har qanday  $H$  qiymatiga bu ilgakda magnet induksiya  $B$  ning ikkita qiymati to'g'ri keladi bu qiymatlar namunadagi magnet holatning avvalgi tarixiga bog'liq bo'ladi. Gisterzis ilgaklarining cho'qqilari orqali o'tkazilgan egri chiziq ( $B_m, H_m$ ) gisterzisning asosiy sikllari uchun boshlang'ich magnetlanish egri chizig'i bilan deyarli mos keladi. Shu sababli, ferromagnit materialning

magnet singuvchanligi quyidagi formula orqali asosiy gisterzis ilgagining maksimal qiymatlari orqali aniqlanishi mumkin (9-rasmga qarang):

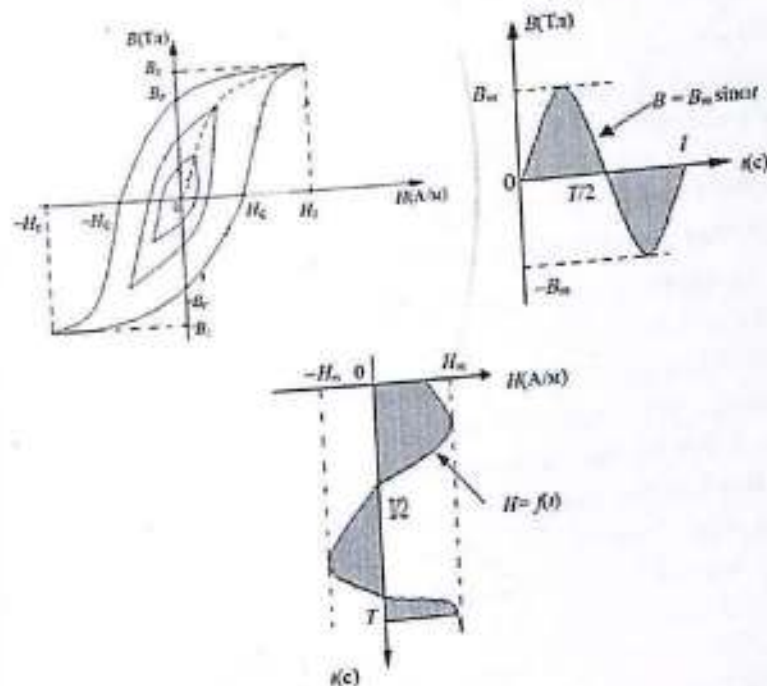
$$\mu = \frac{1}{\mu_0} * \frac{B_m}{H_m} \quad (23.1)$$

bu yerda  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m}$ .

5. Har qanday namunani qayta magnetlash jarayonidagi gisterzis yo'qotishlari energiyasi bir to'liq sikl davomida sarflanadigan energiya bo'lib, u namunaviy hajm  $V_0$  bilan gisterzis ilgagining ( $B, H$ ) koordinatalaridagi yuzasiga ko'paytmasiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$W = V_0 \oint H dB \quad (23.2)$$

Ushbu energiya namunaga issiqlik energiyasi sifatida o'tadi. Ferromagnit modda qayta magnetlanganda qiziydi.



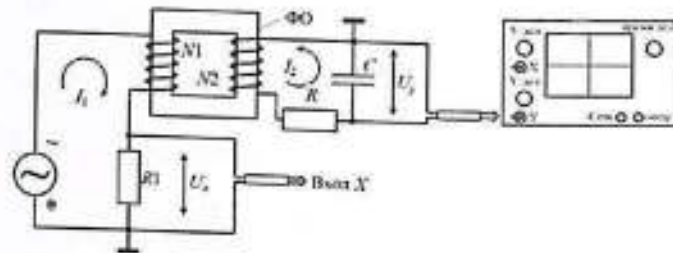
23.10-rasm.

6. Ferromagnitni to'liq demagnetlash mumkin, agar uni o'zgaruvchan magnet maydonda qayta-qayta magnetlab, maydon kuchlanishining amplitudasini to'yinganlik qiymati  $H_s$  dan nolga qadar bir necha sikllar

davomida silliq tarzda kamaytirilsa.

### O'lchov qurilma sxemasi

1. Ferromagnitning parametrlarini aniqlash uchun gisterezis xalqasi qo'llaniladi. Bu ilgak berilgan ferromagnit namunani tashqi o'zgaruvchan magnit maydon ostida qayta magnitlash jarayonida osillograf ekrani orqali kuzatiladi. Sxema quyidagi elementlardan iborat: o'zgaruvchan kuchlanish generatori; FO – ferromagnit namunasi;  $N_1$  – magnitlovchi o'ram;  $N_2$  – o'lchovchi o'ram; R va C – rezistor va kondensator (RC-zanjir);  $R_1 - U_x$  kuchlanishini olish uchun rezistor; elektron yoki raqamli osillograf (ilovaga qarang).



23.11-rasm.

2. 23.11-rasmda ko'rsatilgan sxemaga muvofiq, osillografning Y kirishiga namunadagi magnit induksiya  $B$  ga proporsional bo'lgan kuchlanish  $U_y$  uzatiladi, X kirishiga esa magnitlovchi maydon kuchlanishi  $H$  ga proporsional bo'lgan kuchlanish  $U_x$  uzatiladi (bu jarayonda osillografning gorizonta skanerlash generatori o'chiriladi).

Bir to'liq qayta magnitlash sikli davomida kuchlanishlar  $U_x$  va  $U_y$  o'zgarish davri  $T$  bilan belgilanadi. Shu sikl davomida osillograf (noutbuk) ekranidagi elektron nur gisterezis xalqasini chizadi va bu harakat har bir davrda aniq takrorlanadi. Shu sababli, osillograf ekranidagi gisterezis xalqasi qimirlamasdan, barqaror holatda tasvirlanadi.

Gisterezis xalqasi ekranda  $(x, y)$  koordinatalarda tasvirlanadi, bunda:

$$U_x = K_x X \quad U_y = K_y Y \quad (23.3)$$

bu yerda:  $X$  va  $Y$  - osillograf ekranining shkala bo'linmalarida o'lchanadigan qiymatlar;  $K_x$  va  $K_y$  (V/del) - masshtab koeffitsiyentlari, ularning qiymatlari elektron osillograf tugmachalari yonida yoki raqamli osillograf ekranida ko'rsatiladi.

3. Magnit maydon kuchlanishiga proporsional kuchlanish  $U_x$  quyidagi tarzda olinadi. Agar namuna bir jinsli yopiq yurakcha shaklida bo'lsa va uning ustida birlamchi (magnitlovchi) o'ram  $N_1$  aylanish bilan bir tekis o'ralgan bo'lsa, u holda magnitlovchi tok  $I_1$  va magnit maydon kuchlanishi  $H$  orasidagi bog'lanish quyidagicha ifodalanadi:

$$H = \frac{N_1}{l} \cdot I_1$$

bu yerda:  $l$  – ferromagnit namunadagi yadroning o'rtacha uzunligi.  $N_1$  o'rami bilan ketma-ket  $R_1$  rezistori ulanadi, unda kuchlanish tushuvi hosil bo'ladi:

$$U_x = I_1 R_1 = \frac{l R_1}{N_1} H \quad (23.4)$$

Rezistor  $R_1$  ning qarshiligi kichik bo'lgani sababli qayta magnitlash jarayonida  $I_1(t)$  toki va  $H(t)$  kuchlanishi sinusoidal shaklda emas, biroq magnit induksiya quyidagicha sinusoidal bo'ladi:  $B = B_m \sin(\omega t)$  (bu holat sxemani oziqlantiruvchi generatorning sinusoidal kuchlanishida yuzaga keladi). (23.3) va (23.4) formulalardan foydalanib, namunadagi magnit maydon kuchlanishini o'lchash uchun soddalashtirilgan ifoda hosil qilinadi:

$$H = \alpha X \quad (23.5)$$

bu yerda:  $\alpha = K_x N_1 / l R_1$ .

4. Namunadagi magnit induksiya  $B$  ga proporsional bo'lgan  $U_y$  kuchlanish quyidagicha olinadi: Namunaga joylashtirilgan va  $N_2$  aylanishga ega bo'lgan ikkilamchi (o'lchovchi) o'ram ferromagnit namunadagi zich magnit oqimi bilan teshiladi. Bu magnit oqim quyidagicha aniqlanadi:  $\Phi = B \cdot S$  bu yerda  $S$  namuna kesim yuzasi.  $N_2$  o'ramida EYuK induktsiyalanadi:

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 S \frac{dB}{dt}$$

Bu kuchlanish toki  $I_2$  ni hosil qiladi va o'ramdan chiqishda paydo bo'ladigan kuchlanish  $U_2 \approx -\varepsilon_2$  (chunki o'ramdagi ichki kuchlanish yo'qotilishi juda kichik va e'tiborga olinmaydi). Shunday qilib:  $U_2 \approx \varepsilon_2 dt = N_2 S dB$

va integrallab:

$$\int U_2 dt = N_2 S B \quad (23.6)$$

23.6-tenglamadan ko'rinib turibdiki, o'zgaruvchan kuchlanishni

integrallash orqali (bizning holatda – chastotasi  $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$  bo'lgan sinusoidal kuchlanish, bu generator tomonidan beriladi), namunadagi magnit induksiya  $B(t)$  ning bir lahzadagi qiymatiga proporsional bo'lgan signal olish mumkin. Bu amaliyot 23.6-rasmda ko'rsatilgan "integrallovchi RC-zanjiri" orqali amalga oshiriladi, u R rezistor va C kondensatordan iborat. Kuchlanish  $U_2$  RC-zanjirda tok  $I_2$  ni hosil qiladi va kondensatorda o'zgaruvchan zaryad paydo bo'ladi:  $q = \int I_2 dt$  natijada kondensatorda quyidagi kuchlanish hosil bo'ladi:

$$U_y = \frac{1}{C} \int I_2 dt \quad (23.7)$$

Bu kuchlanish osillografning Y kirishiga uzatiladi (osillografning kirish qarshiligi katta bo'lganligi sababli uning ta'siri e'tiborga olinmaydi).

RC-zanjirning sinusoidal tok uchun qarshiligi (chastotasi  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  bo'lib, bu yerda  $T$  – tok tebranish davri) quyidagiga teng:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = R \sqrt{1 + \frac{1}{4\pi^2} \left(\frac{T}{\tau}\right)^2}$$

bu yerda:  $\tau = RC$  — RC-zanjirning vaqt doimiysi. Odatda tanlanadigan nisbati  $30 < \frac{\tau}{T} < 100$  bo'lganda, qarshilik  $Z \approx R$  deb hisoblanadi, ya'ni zanjir deyarli toza faol (aktiv) hisoblanadi va  $I_2$  toki bilan  $U_2$  kuchlanishi orasida sezilarli faza siljishi hosil bo'lmaydi. Bu holatda tok va kuchlanishning lahzaviy qiymatlari uchun Ohm qonuni o'rinli bo'ladi:

$$I_2 \approx \frac{U_2}{Z} \approx \frac{U_2}{R}$$

Yuqoridagi holatni va 23.7 hamda 23.6-formulalarni hisobga olgan holda, kuchlanishlarning lahzaviy qiymatlari  $U_2$  va  $U_y$  bilan magnit induksiya  $B$  o'rtasidagi bog'liqlik quyidagicha yoziladi:

$$U_y = \frac{1}{RC} \int U_2 dt = \frac{N_2 S}{RC} B \quad (23.8)$$

Shuni ta'kidlash kerakki,  $\tau = RC$  ning oshishi (23.8) formulani yanada aniqroq qiladi, ya'ni integrallash aniqligini oshiradi, biroq bu bilan birga  $U_y$  kuchlanishining kamayishiga olib keladi. 23.3 va 23.8 formulalardan quyidagi soddalashtirilgan formula hosil qilinadi, bu namunadagi magnit induksiya  $B$  ni o'lchashga xizmat qiladi:

$$B = \beta Y \quad (23.9)$$

$$\text{bu yerda: } \beta = \frac{K_y RC}{N_2 S}$$

5. Ferromagnit namunani qayta magnitlashda har bir sikl uchun sarflanadigan quvvat (energiya) quyidagicha aniqlanadi:  $P = \frac{W}{T} = W \cdot \nu$  bu yerda  $T = 1/\nu$  – bir sikl vaqti,  $\nu$  – chastota. (23.2), (23.5) va (23.9) formulalardan foydalangan holda quvvat quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$P = \chi S_r \quad (23.10)$$

bu yerda:  $\chi = K_x K_y \cdot \frac{\nu N_1 RC}{N_2 R_1}$ ,  $S_r = \oint X dY$  – bu gisterezis xalqasining yuzasi, ya'ni osillograf ekranida (x, y koordinatalarda) kvadrat bo'linmalar orqali o'lchanadigan maydon.

#### Ishni bajarish tartibi

1. Ish joyida berilgan 23.11-rasmdagi sxema bo'yicha qurilmani yig'ing; sxema o'qituvchi tomonidan tekshirilgach, osillograf va sxema quvvat manbaini yoqing.
2. AMPLITUDA tugmasi yordamida chiqish kuchlanishini o'rta holatga o'rnatib, Chastota diapazoni kalitini "0,1...1 kHz" holatiga qo'ying. Signal shakli kalitini "TO'G'RI BURCHAKLI qarama-qarshi qutbli" holatga o'rnatib.
3. AMPLITUDA va CHASTOTA (katta qadamli va aniq) parametrlarini o'zgartirib, osillograf (noutbuk) ekranida gisterezis xalqasining tasvirini hosil qiling. Uni ekran shkalasida X va Y o'qlariga nisbatan simmetrik holatda joylashtiring (buning uchun ekrandagi X va Y o'qlarida tegishli markerlardan foydalaning). Osillografning  $K_y$  masshtab koeffitsiyenti (Y o'qi bo'yicha) shunday tanlansin-ki, gisterezis xalqasi butun ekran maydonini egallasin.
4. (23.5), (23.9) va (23.10) formulalarga muvofiq,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$  koeffitsiyentlarini hisoblang.
5. Gisterezis xalqasining X va Y o'qlari bilan kesishgan koordinatalari  $X_c$  va  $Y_r$  ni aniqlang va (23.5) hamda (23.9) formulalar asosida ferromagnit namunadagi koersitiv kuch  $H_c$  va qoldiq induksiya  $B_r$  ni hisoblang.
6. Gisterezis xalqasining yuzasini osillograf ekranida shkala bo'linmalarining kvadratlari orqali o'lchang va (23.10) formula asosida

integrallash orqali (bizning holatda – chastotasi  $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$  bo'lgan sinusoidal kuchlanish, bu generator tomonidan beriladi), namunadagi magnit induksiya  $B(t)$  ning bir lahzadagi qiymatiga proporsional bo'lgan signal olish mumkin. Bu amaliyot 23.6-rasmda ko'rsatilgan "integrallovchi RC-zanjiri" orqali amalga oshiriladi, u R rezistor va C kondensatordan iborat. Kuchlanish  $U_2$  RC-zanjirda tok  $I_2$  ni hosil qiladi va kondensatorda o'zgaruvchan zaryad paydo bo'ladi:  $q = \int I_2 dt$  natijada kondensatorda quyidagi kuchlanish hosil bo'ladi:

$$U_y = \frac{1}{C} \int I_2 dt \quad (23.7)$$

Bu kuchlanish osillografning Y kirishiga uzatiladi (osillografning kirish qarshiligi katta bo'lganligi sababli uning ta'siri e'tiborga olinmaydi).

RC-zanjirning sinusoidal tok uchun qarshiligi (chastotasi  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  bo'lib, bu yerda  $T$  – tok tebranish davri) quyidagiga teng:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = R \sqrt{1 + \frac{1}{4\pi^2} \left(\frac{T}{\tau}\right)^2}$$

bu yerda:  $\tau = RC$  — RC-zanjirning vaqt doimiysi. Odatda tanlanadigan nisbati  $30 < \frac{\tau}{T} < 100$  bo'lganda, qarshilik  $Z \approx R$  deb hisoblanadi, ya'ni zanjir deyarli toza faol (aktiv) hisoblanadi va  $I_2$  toki bilan  $U_2$  kuchlanishi orasida sezilarli faza siljishi hosil bo'lmaydi. Bu holatda tok va kuchlanishning lahzaviy qiymatlari uchun Ohm qonuni o'rinli bo'ladi:

$$I_2 \approx \frac{U_2}{Z} \approx \frac{U_2}{R}$$

Yuqoridagi holatni va 23.7 hamda 23.6-formulalarni hisobga olgan holda, kuchlanishlarning lahzaviy qiymatlari  $U_2$  va  $U_y$  bilan magnit induksiya  $B$  o'rtasidagi bog'liqlik quyidagicha yoziladi:

$$U_y = \frac{1}{RC} \int U_2 dt = \frac{N_2 S}{RC} B \quad (23.8)$$

Shuni ta'kidlash kerakki,  $\tau = RC$  ning oshishi (23.8) formulani yanada aniqroq qiladi, ya'ni integrallash aniqligini oshiradi, biroq bu bilan birga  $U_y$  kuchlanishining kamayishiga olib keladi. 23.3 va 23.8 formulalardan quyidagi soddalashtirilgan formula hosil qilinadi, bu namunadagi magnit induksiya  $B$  ni o'lchashga xizmat qiladi:

$$B = \beta Y \quad (23.9)$$

$$\text{bu yerda: } \beta = \frac{K_y RC}{N_2 S}$$

5. Ferromagnit namunani qayta magnitlashda har bir sikl uchun sarflanadigan quvvat (energiya) quyidagicha aniqlanadi:  $P = \frac{W}{T} = W \cdot \nu$  bu yerda  $T = 1/\nu$  – bir sikl vaqti,  $\nu$  – chastota. (23.2), (23.5) va (23.9) formulalardan foydalangan holda quvvat quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$P = \chi S_r \quad (23.10)$$

bu yerda:  $\chi = K_x K_y \cdot \frac{\nu N_1 RC}{N_2 R_1}$ ,  $S_r = \oint X dY$  – bu gisterezis xalqasining yuzasi, ya'ni osillograf ekranida (x, y koordinatalarda) kvadrat bo'linmalar orqali o'lchanadigan maydon.

#### Ishni bajarish tartibi

1. Ish joyida berilgan 23.11-rasmdagi sxema bo'yicha qurilmani yig'ing; sxema o'qituvchi tomonidan tekshirilgach, osillograf va sxema quvvat manbaini yoqing.
2. AMPLITUDA tugmasi yordamida chiqish kuchlanishini o'rta holatga o'rnatib, Chastota diapazoni kalitini "0,1...1 kHz" holatiga qo'ying. Signal shakli kalitini "TO'G'RI BURCHAKLI qarama-qarshi qutbli" holatga o'rnatib.
3. AMPLITUDA va CHASTOTA (katta qadamli va aniq) parametrlarini o'zgartirib, osillograf (noutbuk) ekranida gisterezis xalqasining tasvirini hosil qiling. Uni ekran shkalasida X va Y o'qlariga nisbatan simmetrik holatda joylashtiring (buning uchun ekrandagi X va Y o'qlarida tegishli markerlardan foydalaning). Osillografning  $K_y$  masshtab koeffitsiyenti (Y o'qi bo'yicha) shunday tanlansin-ki, gisterezis xalqasi butun ekran maydonini egallasin.
4. (23.5), (23.9) va (23.10) formulalarga muvofiq,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$  koeffitsiyentlarini hisoblang.
5. Gisterezis xalqasining X va Y o'qlari bilan kesishgan koordinatalari  $X_c$  va  $Y_r$  ni aniqlang va (23.5) hamda (23.9) formulalar asosida ferromagnit namunadagi koersitiv kuch  $H_c$  va qoldiq induksiya  $B_r$  ni hisoblang.
6. Gisterezis xalqasining yuzasini osillograf ekranida shkala bo'linmalarining kvadratlari orqali o'lchang va (23.10) formula asosida

ferromagnit namunani qayta magnitlash uchun sarflanadigan quvvatni hisoblang.

- Gisterezis xalqasining  $X_m$  va  $Y_m$  koordinatalarini o'lchang va (23.1), (23.5) va (23.9) formulalarga asoslanib, mos holda  $H_m$ ,  $B_m$  va  $\mu$  qiymatlarini hisoblang (23.10-rasm). Natijalarni jadvalga kiriting.
- Funksional generatorning boshqa chiqish kuchlanishlarini navbatma-navbat o'rnatib, ular uchun mos gisterezis xalqalarini hosil qiling va 7-bandga muvofiq o'lchov va hisoblashlarni bajaring. Natijalarni jadvalga kiriting.
- Tuzilgan jadval ma'lumotlaridan foydalangan holda, quyidagi grafiklarni chizing:  $B = f(H)$  – boshlang'ich magnitlanish egri chizig'i;  $\mu = f(H)$  – magnit singuvchanlikning kuchlanishga bog'liqligi grafiği.
- Ish natijalari asosida xulosa yozing.
- Hisoblashlar uchun zarur bo'lgan ma'lumotlar:  
Birlamchi o'ramdagi rezistor  $R = 10 \text{ } \Omega$ ;  
Integrallovchi zanjirdagi rezistor  $R_1 = 5.1 \text{ k}\Omega$ ;  
Integrallovchi zanjirdagi kondensator  $C = 0.47 \text{ } \mu\text{F}$ ;  
Birlamchi o'ram aylanishlar soni  $N_1 = 100$  aylanma;  
Ikkilamchi o'ram aylanishlar soni  $N_2 = 100$  aylanma;  
To'rt xil namunalar uchun aylanishlar soni bir xil: ya'ni birlamchi – 100 ta, ikkilamchi – 100 ta aylanish.

**Tadqiqot uchun olingan namunalar – quyidagi o'lchamdagi ferrit halqalar:**

- M1000HM, o'lchami:  $40 \times 25 \times 11 \text{ mm}$
- M2000HM, o'lchami:  $32 \times 16 \times 8 \text{ mm}$
- M3000HM, o'lchami:  $32 \times 20 \times 9 \text{ mm}$
- M10000HM, o'lchami:  $29 \times 19 \times 15 \text{ mm}$

**Eslatma:** Laboratoriya ishida USB-osillograf qo'llanilgan hollarda gisterezis xalqasining tasviri biroz noaniqlik (xiralik) bilan ifodalanadi. Oddiy raqamli osillograflarda esa gisterezis xalqasi aniqroq chiziq bilan aks etadi. Eng yaxshi tasvir katod-nurlari quvurchasiga ega osillograflarda kuzatiladi. Eng yaxshi natijalar funksional generator chiqishida qarama-qarshi qutbli to'g'ri to'rtburchak impulslar chastotasi 100...1000 Hz

bo'lganda kuzatilgan. AMPLITUDA tugmasi holati o'rtacha qiymatdan kamroq bo'lishi kerak. Aks holda, yadroda qayta magnitlanish hodisasi noto'g'ri yuz beradi va bu gisterezis xalqasining noto'g'ri shaklida yaqqol seziladi.

**Eslatma:** Gisterezis xalqasining to'g'ri shaklini olish uchun, transformator Tr1 ning birlamchi o'ramidagi 1–2 (yoki ikkilamchi o'ramidagi 3–4) chiqishlarga ulangan simlarning joyini almashtirish talab qilinishi mumkin.

#### Nazorat savollari

- Magnit materiallar nima? Ularning turlarini sanab bering.
- Diamagnitlar va paramagnitlarning xususiyatlarini bayon qiling.
- Ferromagnit modda nima? Ularning tuzilmasini tavsiflab bering.
- Domenlarning spontan magnitlanishi nima? Uning tabiati nimada?
- Ferromagnitlarning boshlang'ich texnik magnitlanish jarayonini tushuntiring.
- Ferromagnitlarda qayta magnitlanish nima va gisterezis xalqasi nima?
- Gisterezis xalqasi bilan qayta magnitlanishda sarflanadigan energiya o'rtasidagi bog'liqlikni tushuntiring.
- Ferromagnitda qoldiq magnit induksiyaning hosil bo'lish sababi nimada? Koersitiv kuch nima va u nimani ifodalaydi?
- Magnit materiallarning magnit singuvchanligini tavsiflang. Ferromagnitlar uchun qanday o'ziga xosliklarga ega?
- Yumshoq va qattiq ferromagnitlarni tavsiflab bering, ularning texnikadagi qo'llanilishi haqida ma'lumot bering.
- Namunaning magnit maydon kuchlanishi va magnit induksiyasiga proporsional kuchlanishlarni laboratoriya qurilmasida hosil qilish tamoyilini tushuntiring.
- Ferromagnit moddasini demagnitlash tartibini bayon qiling.

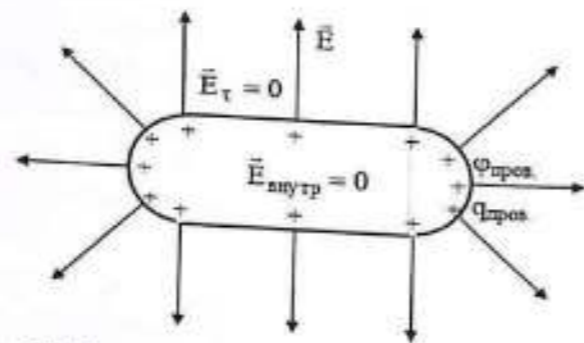
24-LABORATORIYA ISHI  
KONDENSATOR SIG'IMINI ANIQLASHI

**Ishning maqsadi:** Kondensatorning elektr sig'imini o'lchash usullaridan biri bilan tanishish; kondensatorlar batareyasining sig'imini ularning ketma-ket va parallel ulanish holatlari uchun hisoblash formulalarining eksperimental tekshiruvini amalga oshirish.

NAZARIY QISM

I. Yakka (izolyatsiyalangan) o'tkazgichning elektr sig'imi

Keling, boshqa jismlardan uzoqda joylashgan (ya'ni, yakka holatdagi) o'tkazgichning zaryadlanish jarayonini ko'rib chiqamiz (24.1-rasm).



24.1-rasm. Yakka zaryadlangan o'tkazgichning elektrostatik maydoni

Unga zaryad  $q$  ni beraylik. Natijada o'tkazgichning zaryadi quyidagiga teng bo'ladi:  $q_{o'z} = q$ . Elektrostatikaning o'tkazgichlar elektrostatik maydonda joylashgan holatini o'rganuvchi bo'limida isbotlanadiki, bunday zaryad har doim o'tkazgich sirtida shunday tarzda taqsimlanadiki, natijada: o'tkazgich ichidagi elektr maydon kuchlanganligi nolga teng bo'ladi:

$E_{ichki} = 0$ , va o'tkazgich sirtining hamma nuqtalari bir xil potensialga ega bo'ladi, ya'ni sirt ekvipotensial bo'ladi. Faraz qilaylik, bu sirtning potentsiali quyidagiga teng:  $\varphi_{o'z} = \varphi$ .

Endi o'tkazgichga yana shu miqdordagi  $q$  zaryad berilsa, u holda o'tkazgichda avvalgi mavjud bo'lgan zaryad yangi zaryadning

taqsimlanishiga ta'sir ko'rsatmaydi. Chunki o'tkazgich ichida elektr maydon kuchlanganligi nolga teng:  $E_{ichki} = 0$ , va o'tkazgich sirtida tangensial (yo'nalish bo'yicha) kuchlanganlik ham yo'q:  $E_t = 0$ . Shu sababli, yangi zaryad  $q$  ham avvalgidek tarzda sirt bo'ylab taqsimlanadi. Bu holda, tabiiyki, o'tkazgichdagi umumiy zaryad va uning potentsiali ikki baravar ortadi:

$$q_{o'z} = 2q, \quad \varphi_{o'z} = 2\varphi.$$

Agar o'tkazgichga  $q$  zaryad ketma-ket  $n$ -marta uzatilsa, bu jarayon takrorlanadi va natijada:  $q_{o'z} = nq, \quad \varphi_{o'z} = n\varphi$ .

Demak, yakka o'tkazgichning potentsiali  $\varphi_{o'z}$  har doim unga berilgan zaryad  $q_{o'z}$  ga proporsional bo'ladi. Bu quyidagi munosabat bilan ifodalanadi:

$$q_{o'z} = C \varphi_{o'z} \quad (24.1)$$

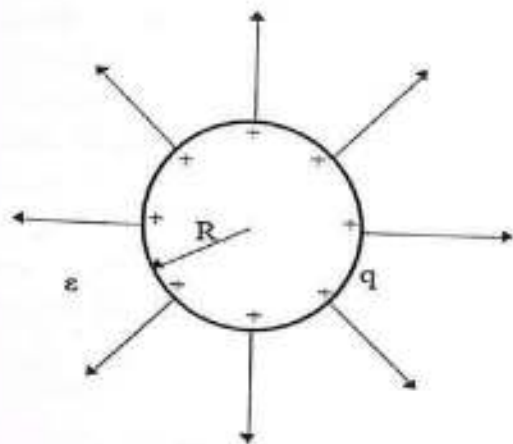
Bu yerda  $C$  - proporsionallik koeffitsienti bo'lib, u yakka o'tkazgichning elekt sig'imi deb ataladi.

Sig'im  $C$  kattaligini fizik jihatdan tushunish uchun 24.1-formulani quyidagicha yozamiz

$$C = q / \varphi \quad (24.2)$$

24.2-ifodaga muvofiq, yakka o'rnatilgan o'tkazgichning elektr sig'imi — bu shu zaryadsiz o'tkazgichga berilishi natijasida uning potentsiali:  $\varphi_{o'z} = 1 \text{ V}$ . ga teng bo'ladigan zaryad miqdoriga son jihatdan teng kattalikka aytiladi. Sig'im birligi - Farad (F),  $1F = \frac{1\text{Kl}}{1\text{V}}$  ga teng

Endi, radiusi  $R$  bo'lgan, cheksiz, bir jinsli va izotrop dielektrik muhitda joylashgan yakka sferik o'tkazgichning sig'im ifodasini topamiz (24.2-rasm). Buning uchun, sferaga  $q$  zaryad berib va uning potentsiali  $\varphi$  ni, kuchlanganlik  $E$  bilan bog'lovchi formuladan foydalanib aniqlaymiz.



24.2-rasm

Dielektrik muhitning dielektrik o'tkazuvchanligi  $\epsilon$  ga ega bo'lsin (24.2-rasm). Buning uchun sferaga  $q$  miqdorida zaryad beramiz va uning potentsiali  $\varphi$  ni, potentsial bilan elektr maydon kuchlanganligi  $E$  o'rtasidagi bog'liqlik formulasi asosida hisoblaymiz:

$$\varphi = \int_0^{\infty} E dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{\infty} \frac{q}{\epsilon r^2} dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon R} \quad (24.3)$$

Bu yerda  $E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon R^2}$

(3)-ifodani (2)-ifoda bilan taqqoslab, yakka sferik o'tkazgichning sig'imi uchun kerakli formulani quyidagicha hosil qilamiz:

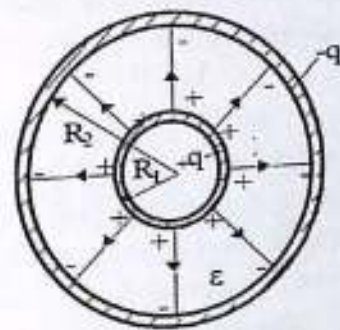
$$N = 4\pi\epsilon_0\epsilon R \quad (24.4)$$

(24.4)-ifodadan ko'rinadiki, yakka sferik o'tkazgichning elektr sig'imi uning radiusi  $R$  va joylashgan muhiting dielektrik o'tkazuvchanligi  $\epsilon$  ga bog'liq. Shuni ta'kidlash lozimki, umumiy holatda yakka o'tkazgichning elektr sig'imi uning shakliga ham bog'liq bo'ladi.

## 2. Kondensatorlar

Amaliy jihatdan muhim bo'lgan ikki bir-biriga yaqin joylashgan metall o'tkazgichlar holatini ko'rib chiqamiz.

Faraz qilaylik, bu o'tkazgichlar yupqa sferik konsentrik qobiq shaklida bo'lib, radiuslari mos ravishda  $R_1$  va  $R_2$  ga teng, ularning orasidagi fazo esa bir jinsli va izotrop dielektrik bilan to'ldirilgan va dielektrik singuvchanligi  $\epsilon$  (24.3-rasm). Bu o'tkazgichlarga modul jihatdan teng, lekin ishorasi jihatidan qarama-qarshi bo'lgan zaryadlar  $+q$  va  $-q$  beriladi. O'zaro tortishish natijasida bu zaryadlar sferik qobiqning bir-biriga qaragan yuzalarida bir tekis taqsimlanadi (24.3-rasm).



24.3-rasm

Agar ichki qobiq metall shar bilan almashtirilsa ham zaryadlar aynan shunday taqsimlanadi. Natijada metall qobiqlar orasida sferik simmetriyali elektrostatik maydon hosil bo'ladi, u tashqi elektrostatik maydonlardan mutlaqo mustaqil bo'ladi.

Qobiqlar orasidagi potentsiallar farqi  $\varphi_1 - \varphi_2$  esa quyidagi formulaga asosan aniqlanadi:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{R_1}^{R_2} E dr \quad (24.5)$$

Bu yerda  $E$  - markazdan  $r$  masofada joylashgan nuqtadagi qobiqlar orasidagi elektr maydon kuchlanganligining qiymati;  $dr$  - radial yo'nalish bo'yicha elementar siljish vektorining moduli.

Quyidagi formulani:  $E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{q}{r^2}$

(24.5)-formula ichiga qo'yganimizda, potentsiallar farqi  $\varphi_1 - \varphi_2$  bilan har bir qobiqdagi zaryad qiymati  $q$  o'rtasida proporsional bog'liqlik hosil bo'ladi.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \int_{R_2}^{R_1} \frac{q}{\epsilon r^2} dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{R_1 - R_2}{\epsilon R_1 R_2} q \quad (24.6)$$

Haqiqatan ham, qobiqlar orasidagi maydonlarning ustma-ust tushishi natijasida, zaryad  $q$  miqdori  $n$  marta ortganda, qobiqlar orasidagi har bir nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi  $\vec{E}$  ham  $n$  marta ortadi, demak, ular orasidagi potentsiallar farqi  $\varphi_1 - \varphi_2$  ham  $n$  marta ortadi.

$\varphi_1 - \varphi_2$  bilan qqq orasidagi proporsionallik quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$q = C(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (24.7)$$

Bu yerda  $C$  - proporsionallik koeffitsienti bo'lib, u kondensatorning elektr sig'imi deb ataladi. Ko'rib chiqilayotgan ikki konsentrik metall qobiqdan iborat tizim kondensator deb yuritiladi, ushbu qobiqlar esa kondensator plastinkalari (yoki elektrodlari) deb ataladi. Kondensatorning elektr sig'imi - bu uning plastinkalari orasidagi o'zaro elektr sig'im qiymatini ifodalaydi. Umuman olganda, kondensator - bu kichik masofada joylashgan ikki o'tkazgich (elektrod yoki plastinka)dan iborat bo'lib, ular nisbatan katta elektr sig'imga ega. Bunday kondensator plastinkalarida hosil bo'ladigan elektr zaryadlari ishorasi jihatidan qarama-qarshi, moduli bo'yicha esa teng bo'ladi.

Kondensatorning elektrosig'imi (sig'imi) deganda, 24.2-ifoda bilan o'xshash tarzda, quyidagi nisbat tushuniladi:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (24.8)$$

bu yerda  $q$  - har bir plastinkadagi zaryadning mutlaq qiymati,  $\varphi_1 - \varphi_2$  plastinkalar orasidagi potentsiallar farqi. 24.8-ifodaga muvofiq, kondensatorning elektr sig'imi son jihatdan har bir plastinkadagi zaryadning mutlaq qiymatiga teng bo'ladi, agar plastinkalar orasidagi potentsiallar farqi bir voltga teng bo'lsa, ya'ni  $\varphi_1 - \varphi_2 = 1$  V. Amaliyotda, ushbu formuladagi  $\varphi_1 - \varphi_2$  farqi ko'pincha kondensator plastinkalari orasidagi kuchlanish  $U$  sifatida belgilanadi. Shu holatda 26.8-ifoda quyidagicha yoziladi:

$$C = \frac{q}{U} \quad (24.9)$$

Kondensatorlarning elektr sig'imi, xuddi yakka o'tkazgichlarning sig'imi kabi, xalqaro birliklar tizimida Farad (F)larda o'lchanadi. 24.3-rasmda tasvirlangan kondensator, uning plastinkalarining geometrik shakliga ko'ra, sferik kondensator deb ataladi. 24.6 va 24.8-ifodalarni o'zaro taqqoslash natijasida sferik kondensatorning elektrosig'imi uchun quyidagi ifodani olish mumkin:

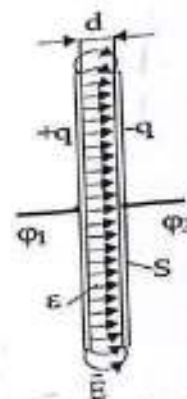
$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} \quad (24.10)$$

24.10 va 24.4-ifodalarni taqqoslaganda o'lchamlari deyarli bir xil bo'lgan holatda, sferik kondensatorning elektr sig'imi yakka shar yoki sferaning

sig'imiga nisbatan ancha katta bo'lishi mumkin. Ya'ni kondensatorning ichki plastinkasi radiusi  $R_1$ ga teng bo'lgan yakka o'tkazgich sfera uchun

$$4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} > 4\pi\epsilon_0\epsilon R_1$$

Masalan, dielektrik muhit bir xil bo'lgan holatda, ichki plastinka radiusi  $R_1 = 1$  mm va plastinkalar orasidagi masofa  $d = R_2 - R_1 = 1$   $\mu$ m ga teng bo'lsa, sferik kondensatorning elektr sig'imi radiusi  $R_1$  ga teng bo'lgan yakka o'tkazgich sfera sig'imidan taxminan 100 baravar katta bo'ladi. Hisob-kitoblar va tajribalar shuni ko'rsatadiki, agar tashqi jism kondensator maydoniga tushsa, uning sirtida induktsiyalangan zaryadlar (agar jism o'tkazgich bo'lsa) yoki bog'langan zaryadlar (agar jism dielektrik bo'lsa) hosil bo'ladi. Bu zaryadlar kondensator plastinkalari orasidagi potentsiallar farqi  $\varphi_1 - \varphi_2$  ni o'zgartiradi va natijada kondensatorning elektrosig'imi ham o'zgaradi. Shu sababli, kondensatorning sig'imi tashqi jismlar ta'sirida o'zgarmasligi uchun, plastinkalarga shunday geometrik shakl beriladi va ular bir-biriga nisbatan shunday joylashtiriladiki, zaryadlangan kondensator hosil qilgan elektr maydon faqat plastinkalar orasidagi makonda to'plangan bo'ladi. Bunday sharoitda plastinkalardagi zaryadlar modul bo'yicha teng, lekin qarama-qarshi ishorali bo'lishi kerak



24.4-rasm. Tekis kondensatorning elektr maydoni (+q va -q). Gauss teoremasi yordamida bu shart quyidagi holatlarga mos keladi:

- ikki konsentrik sfera;
- ikki koaksial silindr;

v) ikki parallel tekislik.

Mos ravishda, bunday kondensatorlar sferik, silindrik va tekis (yassi) kondensatorlar deb ataladi.

Texnikada eng keng tarqalgan tekis kondensatorning sig'imi uchun formulani topamiz. Uning elektr maydoni, bir jinsli bo'lib, 24.4-rasmda tasvirlangan. Rasmda shuningdek, kondensator plastinkalarining chetlarida yuzaga keladigan maydonning buzilishi, ya'ni chekka effekti ham ko'rsatilgan.

Gauss teoremasi asosida tekis kondensator maydonining kuchlanganligi  $E$  uchun quyidagi formulani yozishimiz mumkin

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$$

Bu yerda  $\sigma = \frac{q}{S}$  - kondensator plastinkasidagi zaryad sirt zichligi, ya'ni sirt birligiga to'g'ri keladigan zaryad miqdoridir, bu yerda  $q$  - plastinkadagi zaryadning mutlaq qiymati,  $S$  esa plastinkaning yuza maydoni.

Endi tekis kondensator maydonining kuchlanganligi  $E$  ni plastinka yuzasi  $S$  va undagi zaryad  $q$  orqali ifodalaymiz:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S}$$

Bir jinsli elektr maydonli kondensator plastinkalari orasidagi potentsiallar farqi quyidagicha ifodalanadi:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon S} d$$

Bu yerda  $d$  - tekis plastinkalar orasidagi masofa. Shundan kelib chiqib, 24.8-ifodaga asosan, tekis kondensatorning elektr sig'imi quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \quad (24.11)$$

Bu yerda:  $\epsilon$  - plastinkalar orasidagi bo'shliqni to'ldiruvchi moddanning dielektrik singdiruvchanligi,  $d$  - plastinkalar orasidagi bo'shliq masofasi,  $S$  - kondensator plastinkasining yuza maydoni. Plastinkalar orasidagi bo'shliq  $d$  ning qiymati ularning chiziqli o'lchamlariga nisbatan qancha

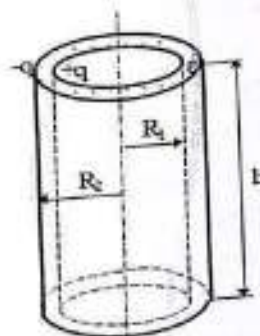
kichik bo'lsa, chekka (qirra) effekti shuncha kam bo'ladi va (24.11)-formula real tekis kondensatorning elektrosig'imini shuncha aniq ifodalaydi.

Silindrik kondensator - bu radiuslari  $R_1$  va  $R_2$  bo'lgan, uzunligi  $h$  ga teng, ikkita yupqa metall plastinkadan tashkil topgan, koaksial silindrlar shaklidagi tuzilma bo'lib, ular orasidagi bo'shliq dielektrik muhit bilan to'ldirilgan ( $\epsilon$  - dielektrikning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi) (24.5-rasmga qarang). Agar bu plastinkalarga moduli bo'yicha teng, lekin ishorasi bo'yicha qarama-qarshi bo'lgan zaryadlar ( $+q$  va  $-q$ ) berilsa, bu zaryadlar plastinka sirtida bir xilda taqsimlanadi va ular orasida silindrik

simmetriyaga ega elektr maydon hosil qiladi (bu yerda chekka effekti hisobga olinmaydi). Bu holat shuni anglatadiki, elektr maydon

kuchlanganligining chiziqlari radial yo'nalgan bo'ladi, va elektr maydon vektori  $E$  ning moduli Gauss teoremasi asosida hisoblanganda faqatgina kondensator o'qidan bo'lgan masofa  $r$  ning funksiyasi bo'ladi:

5-rasm. Silindrik kondensator



$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r} \quad (24.12)$$

Bu yerda  $\tau = q/h$  - kondensator plastinkasidagi chiziqli zaryad zichligi, ya'ni birlik uzunlikka to'g'ri keladigan zaryad miqdoridir. Bu yerda  $q$  - har bir plastinkadagi zaryadning mutlaq qiymati,  $h$  - kondensatorning uzunligi. Endi 24.12-ifodani kondensator plastinkasidagi zaryad miqdori  $q$  va uning uzunligi  $h$  orqali ifodalaymiz

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon r h} \quad (24.13)$$

Plastinkalar orasidagi potentsiallar farqi  $\varphi_1 - \varphi_2$  quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{R_1}^{R_2} E dr \quad (24.14)$$

Bu yerda: E - silindrik plastinkalar orasidagi elektr maydon kuchlanganligi, kondensator o'qidan r masofada olingan ixtiyoriy nuqtadagi qiymat, dr - elementar siljish vektori modulining qiymati, ya'ni radial yo'nalishdagi elementar siljish uzunligi. 24.13-ifodani 24.14-ga qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon h} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0\epsilon h} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

Shundan kelib chiqib, (8)-ifodaga muvofiq, silindrik kondensatorning elektr sig'imi uchun quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon h}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \quad (24.15)$$

Ushbu formula real silindrik kondensatorning sig'imini aniq aniqlaydi, agar plastinkalar orasidagi bo'shliq  $d = R_2 - R_1$  kondensator uzunligi h va ichki radiusi  $R_1$  ga nisbatan juda kichik bo'lsa. 24.10, 24.11 va 24.15-formulalardan ko'rinib turibdiki, kondensatorning elektr sig'imi quyidagilarga bog'liq:

- plastinkalarning shakli va o'lchamlariga;
- ular orasidagi bo'shliq (masofa) kattaligiga;
- plastinkalar orasidagi muhitning dielektrik xossalari.

Bundan tashqari, kondensator sig'imi bilan birga yana bir muhim parametr bu uning teskari kuchlanishga chidamliligi bilan tavsiflanadi. Teskari kuchlanishi - bu kondensator ichidagi dielektrik qavat orqali elektr razryadi yuzaga keladigan eng katta kuchlanishdir. Teskari kuchlanishining miqdori dielektrikning fizik-kimyoviy xossalari, uning qalinligi hamda kondensator plastinkalarining shakliga bog'liq bo'ladi.

### 3. Kondensatorlarni ulash

Zarur bo'lgan sig'im va ishchi kuchlanish qiymatlarini tanlash uchun kondensatorlar batareyaga ulanadi. Bunda kondensatorlarning parallel hamda ketma-ket ulanishlari qo'llaniladi. Ba'zan bu ulanishlarning kombinatsiyasi ham ishlatiladi. Soddalashtirish maqsadida biz uchta kondensatorli holatni ko'rib chiqamiz.

### 3.1. Kondensatorlarning parallel ulanishi

Parallel ulanish holatida kondensatorlarning plastinkalari orasidagi kuchlanish bir xil bo'ladi va bu kuchlanish batareyadagi kuchlanish  $U_b$  ga teng:

$$U_b = U_1 = U_2 = U_3 \quad (24.16)$$

Batareyaning umumiy zaryadi  $q_b$  har bir kondensatoridagi zaryadlar yig'indisiga teng:

$$q_b = q_1 + q_2 + q_3 \quad (24.17) \quad 24.6-$$

24.9-ifodaga muvofiq, 24.17-ifodani quyidagicha o'zgartiramiz:

$$C_b U_b = C_1 U_1 + C_2 U_2 + C_3 U_3$$

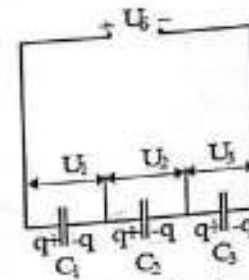
Shu asosda kondensatorlar batareyasining umumiy sig'imi  $C_b$  uchun quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$C_b = C_1 + C_2 + C_3 \quad (24.18)$$

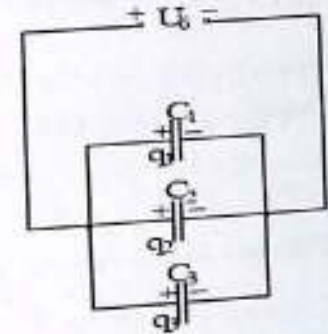
Parallel ulanish holatida kondensatorlar batareyasining sig'imi, unga kiruvchi alohida kondensatorlar sig'imlari yig'indisiga teng bo'ladi.

### 3.2. Kondensatorlarning ketma-ket ulanishi

Agar ketma-ket ulangan kondensatorlar batareyasiga kuchlanish  $U_b$  qo'llansa, u holda kondensator plastinkalarida moduli bo'yicha teng, lekin ishorasi bo'yicha qarama-qarshi zaryadlar  $+q$  va  $-q$  hosil bo'ladi.



24.7-rasm Kondensatorlarni ketma-ket ulash  
Elektrostatik induksiya natijasida, barcha ichki plastinkalarda ham shu miqdordagi zaryadlar hosil bo'ladi va ular ham  $+q = -q$  bo'ladi (24.7-



rasm Kondensatorlarni parallel ulash

rasmga qarang). Shu tariqa, batareyaning zaryadi  $q_b$  va har bir alohida kondensatordagi zaryadlar bir-biriga teng bo'ladi:

$$q_b = q_1 = q_2 = q_3 \quad (24.19)$$

Batareyadagi umumiy kuchlanish  $U_b$  har bir kondensatordagi kuchlanishlar yig'indisiga teng:

$$U_b = U_1 + U_2 + U_3 \quad (24.20)$$

Bu yerda:  $U_1 = \frac{q}{c_1}, \quad U_2 = \frac{q}{c_2}, \quad U_3 = \frac{q}{c_3}$

24.20-ifodani 24.9-ga muvofiq quyidagicha o'zgartiramiz:

$$U_b = \frac{q}{c_1} + \frac{q}{c_2} + \frac{q}{c_3} = \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3}\right)q$$

Bu ifodadan kondensatorlar batareyasining umumiy sig'imi  $C_b$  uchun quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$\frac{1}{C_b} = \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3}\right) \quad (24.21)$$

**Ketma-ket ulanish holatida kondensatorlar batareyasining sig'imiga teskari qiymat, batareyaga ulangan har bir kondensator sig'imining teskari qiymatlari yig'indisiga teng bo'ladi.**

### TAJRIBA QISMI.

#### O'lchash usuli

Kondensator sig'imini o'lchash turli usullar orqali amalga oshirilishi mumkin. Ushbu ishda sig'imni o'lchashning asosi sifatida kondensator zaryadi  $q$ , sig'imi  $C$  va plastinkalar orasidagi potentsiallar farqi  $U$  o'rtasidagi bog'liqlik 24.9-ifoda asosida olinadi:

$$C = \frac{q}{U} \quad (24.22)$$

Kondensator sig'imini o'lchash jarayoni tok integratorini kalibrlash va noma'lum sig'imni ikki xil usulda aniqlashni o'z ichiga oladi. Ushbu ishda zaryadni o'lchash uchun tok integratori ishlatiladi. Bunday qurilmaning nomi, to'liq razryad vaqtida kondensator orqali integratordan o'tgan zaryad  $q$  bilan razryad toki  $I(t)$  o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalovchi quyidagi formulaga asoslanadi:

$$q = \int I(t) dt \quad (24.23)$$

Bu holda integrator orqali o'tgan zaryad miqdori uning chiqishidagi voltmeter ko'rsatkichiga  $U_{int}$  proporsional bo'ladi:

$$q = \gamma U_{int} \quad (24.24)$$

Bu yerda  $\gamma$  - integratorning kalibrlovchi doimiysi. O'lchanayotgan sig'im uchun hisoblash formulasini 24.22 va 24.24 tengliklardan foydalanib hosil qilamiz:

$$C = \frac{\gamma U_{int}}{U} \quad (24.25)$$

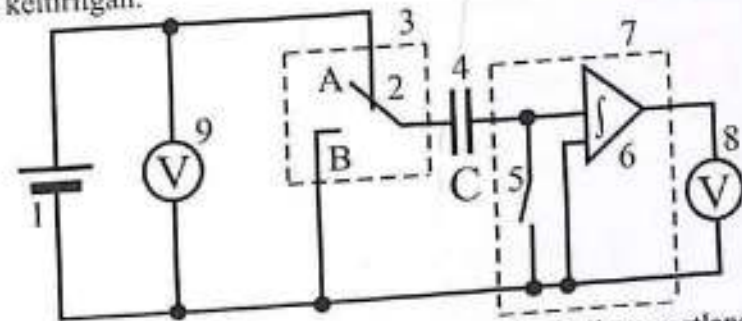
Kalibrlash doimiysini aniqlash 24.25-formula yordamida bajariladi. Bunda ma'lum sig'imga ega etalon kondensator  $C_e$  uchun o'lchovlar amalga oshiriladi.

$$\gamma = \frac{C_e U_e}{U_{int}^e} \quad (24.26)$$

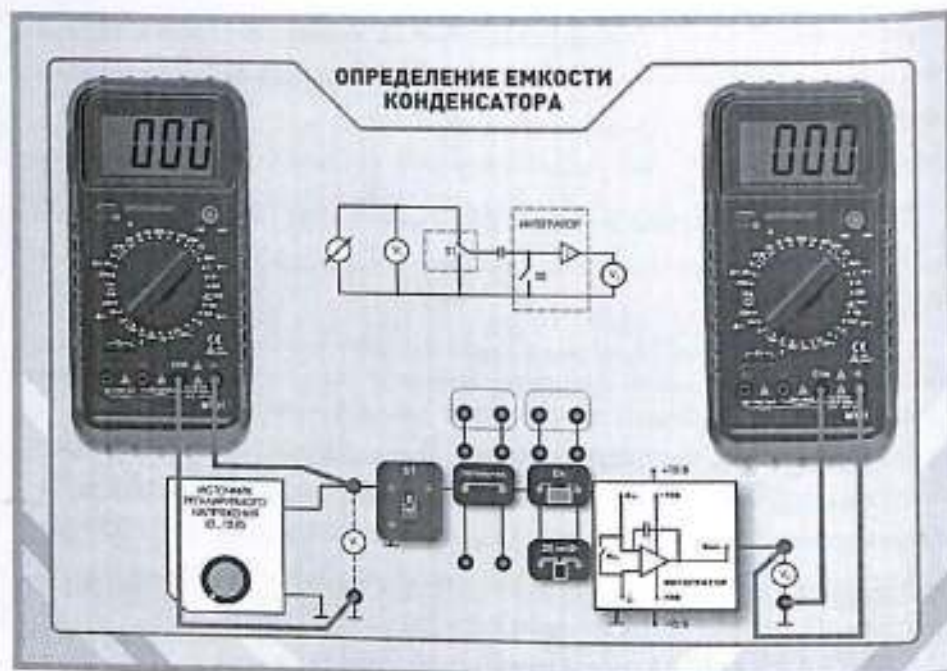
Bu formula yordamida  $\gamma$  qiymatini hisoblash mumkin (indeks "e" bilan belgilanadigan qiymatlar etalon kondensator bilan o'tkazilgan o'lchovlarga tegishlidir). Integrator kalibrlanishining to'g'riligini tekshirish uchun u yordamida noma'lum sig'im  $C_x$  ni o'lchash kerak bo'ladi. So'ngra tajriba orqali aniqlangan  $C_{taf}^x$  sig'im qiymatini, boshqa masalan, multimetr yordamida o'lchangan  $C_{olch}^x$  qiymati bilan taqqoslash lozim.

### 2. Eksperimental qurilmaning tavsifi

Elektr zanjirining sxemasi 24.8-rasmda, ulanish sxemasi esa 24.9-rasmda keltirilgan.



8-rasm. Elektr sxemasi: 1 - 0 dan +15 V gacha bo'lgan rostlanadigan doimiy kuchlanish manbai; 2 - O'zgartirgich; 3 - "Kalit" miniblogi; 4 - Tadqiq qilinayotgan kondensator C; 5 - susaytruvchi kalit; 6 - Tok integratori; 7 - "Tok integratori" miniblogi; 8, 9 - Multimetrlar (V - 20 V rejimida, kirishlar: COM, VΩ).



24.9-rasm. Ulanish sxemasi

Kondensatorni zaryadlash uchun 2-sonli o'zgartirgich "A" holatiga o'rnatiladi, 5-sonli susaytiruvchi kalit esa yopiq holatga qo'yiladi. Kondensator 2 V dan oshmaydigan kuchlanishgacha zaryadlanadi, bu kuchlanish 9-sonli voltmeter orqali nazorat qilinadi. O'lchashdan oldin 5-susaytiruvchi kalit ochiladi, 2- o'zgartirgich esa "B" holatiga o'tkaziladi. Bunda kondensator plastinkalaridagi zaryad tok integratori orqali oqib o'tadi va u 8- voltmeterda qayd etiladi (voltmetr ko'rsatkichi  $-U_{int}$ ) Keyinchalik, zaryad oqib o'tganidan so'ng yo'qotishlar tufayli voltmeterda ko'rsatilgan kuchlanish o'zgarishi mumkin.

### 3. O'lchovlarni bajarish

1. Zaryadlash kuchlanishini to'g'ri tanlash uchun (9-raqamli multimeter orqali aniqlanadi), o'lchash boshida eng katta sig'im qiymatini oling. Bu qiymat kondensatorlar  $C_x$  va  $C_e$  parallel ulangan holatda hosil bo'ladi.
2. Elektr sxemasini yig'ing: kondensatorlar  $C_x$  va  $C_e$  ni parallel ulang, va ularni integrator kirishiga ulash uchun o'tkazgichni ulang. Etalon sig'im  $C_e$  qiymatini 24.1-jadvalga yozib qo'ying.

3. "Tarmoq" tugmalari yordamida kuchlanish generatori bloklari va multimetrlar blokiga elektr quvvatini ulang.
4. Kondensatorlarni zaryadlang. Buning uchun:
  - a) 5-raqamli kalitni "yopiq" holatga qo'ying;
  - b) 2-raqamli o'zgartirgichni "A" holatiga o'rmatig;
  - v) "0...+15 V" kuchlanish regulyatori yordamida zaryad kuchlanishini o'zgartiring va 2 V dan oshmaydigan qiymatni o'rmatig (9-raqamli multimeter orqali nazorat qiling).
5. Zaryadlangan kondensatorlarni integrator orqali razryadlang. Buning uchun:
  - a) 5-raqamli kalitni oching;
  - b) 2-raqamli o'zgartirgichni "B" holatiga o'tkazing.

Zaryad kuchlanishini kamaytirish orqali, multimetrdagi maksimal ko'rsatkichini 14 V dan past bo'lgan holga keltiring. 8-raqamli multimeterda razryaddan so'ng darhol chiqadigan maksimal ko'rsatkichni eslab qoling.

6. 4- va 5- bandlarni bir necha marta takrorlang, shunda zaryad kuchlanishining (ya'ni 9-raqamli multimeterdagi o'qish)  $U_{par}$  qiymati shunday bo'lsin-ki, razryad kuchlanishi (ya'ni 8-raqamli multimeterdagi  $U_{int}$ ) 8-10 V oralig'ida bo'lsin (bu kondensator zaryadiga proporsional bo'lgan kattalik).

24.1-jadval. Kondensatorlar va kondensatorlar batareyasidagi kuchlanishlar

№	Etalon kondensator $C_x = \text{mk}\Phi$	Noma'lum kondensator	Sig'imni aniqlash Parallel ulanish	Sig'imni aniqlash Ketma-ket ulanish
	$U_x, V$ $U_{int}, V$	$U_x, V$ $U_{int}, V$	$U_{par}, V$ $U_{int}, V$	$U_{ket}, V$ $U_{int}, V$
1				
2				
3				
4				
5				
O'rtacha				

7. Zaryad kuchlanishini o'zgartirmagan holda  $U_{par}$ , 5 ta o'lchovni bajaring

va har birida  $U_{int}^{par}$  qiymatini o'lchang. Natijalarni 24.1-jadvalga yozing.

8. Kondensatorlar  $C_x$  va  $C_e$  ni ketma-ket ulang. Kuchlanishni o'zgartirmang:  $U_{ket} = U_{par}$ . 5 ta o'lchov bajaring, har safar  $U_{int}^{ket}$  ni o'lchab, 24.1-jadvalga kiriting

9. Quyidagilarni alohida-alohida o'lchang:

- etalon kondensator  $C_e$  uchun  $U_{int}^e$ ;

- noma'lum sig'imli kondensator  $C_x$  uchun  $U_{int}^x$ .

Bu yerda kuchlanish qiymatlari  $U_y = U_{par}$  va  $U_x = U_{ket}$  ga teng. Natijalarni 24.1-jadvalga yozib qo'ying.

10. Integrator kalibrlanishining to'g'riligini tekshiring. Buning uchun:

a) multimetr yordamida noma'lum kondensator  $C_x$  sig'imini o'lchang;

b) o'lchov natijasini  $C_{o'lich}^x$  ni 24.2-jadvalga yozing. (Multimetr yordamida o'lchashdagi xatolik  $\delta_c = 5\%$ .)

11. Ish yakunida "Tarmoq" tugmalari orqali kuchlanish generatorlari va multimetr bloklarining elektr ta'minotini o'chiring.

#### 4. O'lchov natijalarini qayta ishlash

1. 24.1-jadvaldagi ma'lumotlardan foydalangan holda, kalibrlash doimiysi  $\gamma$  ni 24.26-formula asosida hisoblang

$$\gamma = \frac{C_e U_e}{U_{int,ort}^e}$$

2. 24.25-formula asosida noma'lum kondensatorning sig'imi  $C_x$  ni hisoblang:

$$C_{taj}^x = \gamma \frac{U_{int,ort}^x}{U_x}$$

Parallel ulangan kondensatorlarning sig'imi

$$C_{taj}^{par} = \gamma \frac{U_{int,ort}^{par}}{U_{par}}$$

Ketma-ket ulangan kondensatorlarning sig'imi

$$C_{taj}^{ket} = \gamma \frac{U_{int,ort}^{ket}}{U_{ket}}$$

Hisoblash natijalarini 24.2-jadvalga yozing.

#### Noma'lum kondensator va kondensatorlarning elektr sig'imi

24.2-jadval.

Noma'lum sig'im $C_x$ , mxF	O'lchangan	Ulanish sig'imi $C$ , mxF (Parallel)		Ulanish sig'imi $C$ , mxF (Ketma-ket)			
		Tajriba $C_{taj}^x$	Multimetr $C_{o'lich}^x$	Tajriba $C_{taj}^{par}$	Hisoblangan $C_{his}^{par}$	Tajriba $C_{taj}^{ket}$	Hisoblangan $C_{his}^{ket}$
$\delta_c =$			$\delta_{C_{par}} =$			$\delta_{C_{ket}} =$	

3. Etalon sig'im  $C_e$  va tajriba yo'li bilan aniqlangan noma'lum sig'im  $C_{taj}^x$  qiymatlaridan foydalanib, kondensatorlarning parallel va ketma-ket ulanishlari uchun mos formulalar asosida quyidagilarni hisoblang:

$$C_{his}^{par} = C_e + C_{taj}^x \quad \text{va} \quad C_{his}^{ket} = \frac{C_e C_{taj}^x}{C_e + C_{taj}^x}$$

Hisoblash natijalarini 24.2-jadvalga yozing.

Tajriba natijalarining hisoblangan qiymatlardan foizdagi nisbiy og'ishini toping:

$$\delta_{C_{par}} = \frac{|C_{taj}^{par} - C_{his}^{par}|}{C_{his}^{par}} \cdot 100\%$$

$$\delta_{C_{ket}} = \frac{|C_{taj}^{ket} - C_{his}^{ket}|}{C_{his}^{ket}} \cdot 100\%$$

Hisoblash natijalarini 24.2-jadvalga yozing.

5. Noma'lum sig'im  $C_x$  ni ikkita usul bilan o'lchash natijalari asosida ya'ni tajriba yo'li bilan olingan  $C_{taj}^x$  va multimetr yordamida o'lchangan  $C_{o'lich}^x$  qiymatlari uchun nisbiy og'ishni toping:

$$\delta_{C^x} = \frac{C_{taj}^x - C_{o'lich}^x}{C_{o'lich}^x} \cdot 100\%$$

Hisoblash natijalarini 24.2-jadvalga yozing.

6. Ushbu og'ishlar miqdoriga asoslanib, o'lchovlarning aniqligi haqida xulosa chiqaring.

### NAZORAT SAVOLLARI

1. Yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi .
2. Dielektrik muhitda joylashgan yakkalangan o'tkazuvchi sharning sig'imi uchun formulani yozing.
3. Yakkalangan o'tkazgichning elektr sig'imi qaysi omillarga bog'liq?
4. Kondensator va uning elektr sig'imi tushunchalariga tarif bering.
5. Texnikada qo'llaniladigan uchta asosiy turdagi kondensatorlarni nomlarini ayting(Kondensator turi uning plastinkalari shakli bilan belgilanadi.)
6. Yassi kondensatorning sig'imi uchun formulani yozing.
7. Kondensatorning elektr sig'imi qanday parametrlarga bog'liq?
8. Shakli va o'lchamlari bir xil bo'lgan o'tkazgich bilan taqqoslaganda kondensatorning elektr sig'imi orasidagi ustunligi nimada?
9. Dielektrikning nisbiy singdiruvchanligi  $\epsilon$  va plastinkalar orasidagi masofa  $d$  o'zgaranda kondensatorning sig'imi qanday o'zgaradi:
  - a) agar kondensator tok manbaidan uzilgan bo'lsa;
  - b) agar kondensator tok manbaiga ulangan bo'lsa.
10. Kondensatorlarning parallel ulanishi holatida quyidagi uchta bog'liqlikni yozing:
  - a) kondensatorlar batareyasidagi umumiy kuchlanish  $U_b$  bilan har bir kondensator kuchlanishi orasidagi bog'liqlik;
  - b) batareyadagi umumiy zaryad  $q_b$  bilan har bir kondensator zaryadi orasidagi bog'liqlik;
11. Eng katta natijaviy sig'imga ega bo'lish uchun kondensatorlar qanday ulanadi?
12. Kondensatorlarning ketma-ket ulanishi holatida quyidagi uchta bog'liqlikni yozing:
  - a) batareyadagi umumiy kuchlanish  $U_b$  bilan har bir kondensator kuchlanishi orasidagi bog'liqlik;
  - b) umumiy zaryad  $q_b$  bilan har bir kondensator zaryadi orasidagi bog'liqlik;
  - c) umumiy sig'im  $C_b$  bilan har bir kondensator sig'imi orasidagi bog'liqlik.
13. Eng kichik natijaviy sig'imga (hatto eng kichik kondensator

sig'imidan ham kichik) ega bo'lish uchun kondensatorlar qanday ulanadi?

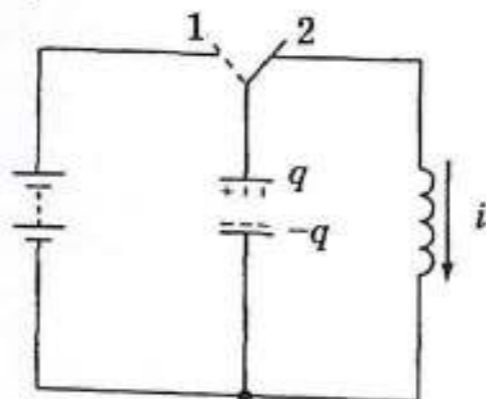
14. Ushbu laboratoriya ishida tok integratori yordamida qaysi fizik kattalik va qanday usulda o'lchanadi?
15. Kalibrlovchi doimiyning qiymati qanday aniqlanadi?
16. Noma'lum kondensatorning sig'imi qanday aniqlanadi?

25-LABORATORIYA ISHI  
 "TEBRANUVCHI KONTURDA ERKIN TEBRANISHLARNI  
 O'RGANISH"

**Ishning maqsadi:** Konturda tokning so'navchi tebranishlarini o'rganish, tebranishlar davri va logarifmik dekrementni aniqlash.

**Qisqacha nazariy ma'lumotlar.**

Tebranuvchi kontur - bu induktivlik g'altagi (L) va kondensator (C) dan tashkil topgan yopiq elektr zanjiridir. Yopiq konturning sodda sxemasi 25.1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Yopiq tebranuvchi kontur sxemasi

Faol qarshilik (R) konturga ulanmaydi, biroq u har qanday holda konturdagi simlarning qarshiliklarida mavjud bo'ladi va tizimdagi energiya yo'qotishlariga ekvivalent hisoblanadi.

Agar biror usul bilan (masalan, kondensatorni zaryadlash orqali) konturga energiya zaxiralansa va undan so'ng kontur tashqi manbadan uzib qo'yilsa, kondensator razryadlanish boshlaydi. Razryad toki o'zgarib borar ekan, induktivlik g'altagida o'zinduksiya EYuK (elektr yurituvchi kuch) paydo bo'ladi, u esa (Lens qonuniga muvofiq) razryad tokini davom ettirishga intiladi. Natijada, kondensator faqatgina zaryadsizlanibgina qolmay, balki qarama-qarshi qutblanish bilan qayta zaryadlanadi. Shundan so'ng bu jarayon teskari yo'nalishda yana takrorlanadi.

Elektromagnit tebranishlar - bu kondensatoridagi zaryadning va konturdagi tokning vaqt bo'yicha tebranib o'zgarishidir. Bu jarayon kondensator elektr maydonining energiyasi bilan g'altaqning magnit

maydoni energiyasi o'rtasidagi o'zaro almashinuv hisobiga sodir bo'ladi. Konturdagi qarshilikda energiyaning bir qismi Joule issiqligi ko'rinishida ajraladi, bu esa zaxiralangan energiya, kondensator zaryadi va konturdagi tokning asta-sekin kamayishiga olib keladi. Bunday tebranishlar so'navchi tebranishlar deb ataladi.

Ko'rib chiqilayotgan kontur uchun Kirchhoffning II qonuni asosida quyidagicha ifoda yozish mumkin:

$$U_L + U_R + U_C = 0 \quad \text{yoki} \quad L \frac{di}{dt} + IR + \frac{1}{C}q = 0 \quad (25.1)$$

Bu yerda:  $U_L$ ,  $U_R$ ,  $U_C$  - mos ravishda konturning L, R va C elementlaridagi kuchlanishlar;

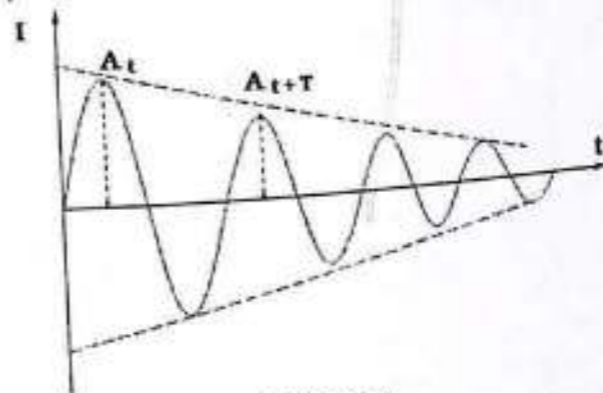
I - konturdagi tok;

q - kondensator zaryadi.

Ushbu tenglama yechimi quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{2L}t} \cos \omega t. \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad (25.2)$$

Ushbu bog'liqlik grafik tarzda 25.2-rasmda tasvirlangan.



25.2-rasm.

Agar  $R=0$  bo'lsa, tebranishlar so'nmaydi (ya'ni, ular so'navchi emas), va...

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC} \quad (\text{Tomson formulasi}) \quad (25.3)$$

Bu yerda:  $\omega_0$  va  $T_0$  - mos ravishda erkin tebranishlarning burchak chastotasi va davri. Haqiqiy konturda quyidagi:  $\beta = \frac{R}{2L}$  qiymat so'nish koeffitsienti deb ataladi. Tok amplitudasi vaqt o'tishi bilan  $I_0 e^{-\beta t}$  qonuniyat bo'yicha eksponensial ravishda kamayadi.

Tebranishlar davri bilan ajratilgan ikki ketma-ket amplituda nisbatining logarifmi so'nishning logarifmik dekrementi (D) deb ataladi (25.2-rasmga qarang)

### Qurilma tavsifi

Uskuna tajriba modul (25.3-rasm) va sekundomer (25.4-rasm)dan iborat. Uskunaning o'lchov sxemasi modulning old panelida ramziy belgilar yordamida tasvirlangan. Tebranuvchi kontur 16 Gn induktivlikka ega g'altak va uchta kondensator (C, C<sub>1</sub> va C<sub>2</sub>) dan tashkil topgan. Bu kondensatorlar S<sub>1</sub> o'zgartirgich yordamida navbatma-navbat konturga ulanadi, bu esa konturning burchak chastotasi va tebranish davrini (mos ravishda  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$  va T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>) o'zgartirish imkonini beradi. Erkin tebranishlar kondensatorni to'g'rilagich orqali zaryadlash yo'li bilan hosil qilinadi.

Eslatma: So'nuvchi tebranishlarning to'liqroq ko'rinishini kuzatish va jarayon parametrlarini aniqlash uchun ossillografdan foydalanish tavsiya etiladi.



25.3-rasm

“Erkin elektromagnit tebranishlar” ko'rgazmali qurilmasi (25.3-rasm). Ushbu qurilma -15 V dan +15 V gacha bo'lgan doimiy kuchlanish manbai (2), turli sig'imdagi parallel ulangan kondensatorlar sxemasi (1) va yuqori induktivlikka ega g'altakni (4) o'z ichiga oladi.

“Quvvat manbai” elektr sxemani doimiy tok bilan ta'minlash uchun mo'ljallangan. “U” aylanuvchi regulyatori yordamida chiqish kuchlanishi -15 V dan +15 V gacha belgilab olinadi. “-15...0...+15” klemmasiga analog avometr ulanadi, u yordamida chiqish kuchlanishi aniqlanadi.

“Kondensator” uchta turli sig'imdagi kondensatordan tashkil topgan.

S<sub>1</sub> o'zgartirgich (6) yordamida asosiy kondensator C (1100 mκF) bilan parallel ravishda C<sub>1</sub> (2500 mκF) yoki C<sub>2</sub> (5000 mκF) ulanadi. O'zgartirgich uchta holatga ega.

“Induktivlik” erkin elektromagnit tebranishlarni hosil qilish uchun xizmat qiladi. U tarkibida: yuqori induktivlikka ega g'altak mavjud (L = 16 Gn, RL = 0.5 Om), qo'shimcha o'ram mavjud bo'lib, bu o'lchov uskunalarini (avometr, oskillograf yoki sekundomer) ulanadigan “Nazorat” klemmasiga chiqariladi.

S o'zgartirgich (7) yordamida “Kondensator” kichik bloki zaryad holatiga (chappa buriladi) yoki razryad holatiga (o'ngga buriladi) o'tkaziladi.

“VKL” tugmachali kalit (1) orqali ishga tushiriladi. Shu vaqtda yorug'lik indikator yonadi.



25.4-rasm

### “Elektron sekundomer” uskunasi tavsifi

“Elektron sekundomer” - bu vaqt oraliqlarini o'lchash uchun mo'ljallangan qurilma bo'lib, mingdan bir (0,001) soniyagacha bo'lgan aniqlikda vaqtni o'lchash imkonini beradi. Sekundomerining vaqtni belgilovchi elementi bu kvars generatoridir. Ushbu generatorning barqaror chastotali signali mikroboshqaruvchi tizim kirishiga uzatiladi.

Mikroboshqaruvchi tizim esa quyidagi funksiyalarni bajaradi:

- tugmachali o'zgartirgichlar va tashqi datchiklardan boshqaruv signallarini qabul qiladi;
  - ularni belgilangan ish rejimiga muvofiq dastur asosida qayta ishlaydi;
  - qayta ishlangan natijalarni raqamli ko'rsatkich qurilmasiga (2) uzatadi. Zarur ish rejimi rejim tanlash tugmasi (5) orqali belgilanadi.
- Sekundomer ikki xil rejimda ishlaydi:

Rejim “1” – Impulslargacha bo'lgan umumiy vaqtni o'lchash. Bu rejim hisoblash boshlanganidan boshlab har bir kelgan impuls gacha bo'lgan

vaqtni aniqlash imkonini beradi. Maksimal hisobga olinadigan impulslar soni: 6 ta. "ZAMER" tugmasi (6) bosilganda, har bir impuls gacha bo'lgan aniq vaqt ko'rsatiladi.

Rejim "2" – Ketma-ket impuls orasidagi oraliqni o'lchash. Bu rejim joriy impuls bilan undan oldingisi orasidagi vaqt farqini aniqlaydi. "ZAMER" tugmasi bosilganda, kerakli ikkita impuls orasidagi vaqt oralig'i ko'rsatiladi. Maksimal hisoblanadigan impuls soni: 6 ta. Boshqaruv tugmalari:

- "START" tugmasi (3) bosilganda vaqtni hisoblash boshlanadi.
- "STOP" tugmasi (4) birinchi bosilganda vaqt hisoblash to'xtaydi, ikkinchi marta bosilganda esa barcha ko'rsatkichlar nolga qaytariladi.

**Ishni bajarish tartibi.**

1. Uskuna sxemasidagi elementlar bilan tanishing va ularning parametrlarini hisobotga yozib chiqing.
2. Ko'rgazmali qurilma va elektron sekundomer uchun mo'ljallangan "Tarmoq" adapterini 220 V, 50 Gtsli tarmoq manbaiga ulang.
3. Ko'rgazmali qurilmaning "Nazorat" klemmasidan chiqadigan ulanish kabelini olib, uni sekundomerning orqa panelidagi "Datchik" qismiga ulang (25.5-rasmga qarang).



25.5-rasm. Elektron sekundomerning orqa paneli.

4. Ko'rgazmali qurilmaning "Quvvat manbai" kichik blokidagi "-15...0...+15" klemmasiga analog avometr ulang.
5. S o'zgartgichni zaryadlash holatiga o'rning, S1 o'zgartgichni to'g'ri holatga qo'ying (sxemada faqat C = 1100 mкF kondensator ishlaydi).
6. "TARMOQ" tugmasi kalitlari yordamida sekundomer va ko'rgazmali qurilmani ishga tushiring.
7. Avometr ko'rsatkichlari asosida chiqish kuchlanishini  $U = -15 \text{ V}$  ga sozlang.
8. Sekundomer panelidagi "START" tugmasini bosing va S o'zgartgichni

razryadlash holatiga (o'zgartgich o'ngga buriladi) o'tkazing.  
9. Avometrni "Kontrol" klemmasiga ulang (25.6-rasmga qarang) va testerni kerakli o'lchov holatiga (masalan, voltmetr) o'rning.



25.6-rasm

10. Ko'rsatkich strelkasining nol holatdan og'ishini kuzating, so'nuvchi tebranishlar amplitudalari qiymatini hamda tebranishlar sonini aniqlang.
11. Tebranish davri bilan ajratilgan ketma-ket ikki amplituda nisbatining logarifimini hisoblang. Zarurat tug'ilganda, S o'zgartgichni zaryad/razryad rejimlari o'rtasida almashtirib, tajribani takrorlang. O'lchov yakunida, sekundomerning raqamli displeyida olti tebranish davrining umumiy vaqti (sekundlarda) ko'rsatiladi. "ZAMER" tugmasi bosilganda, birinchi to'lqin davri ko'rsatiladi.

Tugmani takror bosishda:

- birinchi va ikkinchi tebranish davrlarining yig'indisi,
- uchta davr yig'indisi, va hokazo, ko'rsatiladi.

Maksimal ko'rsatiladigan vaqt olti tebranish davrining yig'indisidir. "REJIM" tugmasi bosilganda tebranish davrlarini o'lchash rejimi faollashadi. "ZAMER" tugmasi orqali:

- birinchi bosishda – birinchi davr,
- ikkinchi bosishda – ikkinchi davr, va hokazolar ko'rsatiladi.

12. Olingan ma'lumotlarni 25.1-jadvalga kiriting.

25.1-jadval

	U = -15 V			U = 5 V			U = 15 V		
	C	C+C1	C+C2	C	C+C1	C+C2	C	C+C1	C+C2
$T_{um}$ , s									
$t_1$ , s									
$t_2$ , s									
$t_3$ , s									
$t_4$ , s									
$t_5$ , s									
$t_6$ , s									
N									
$I_{max}$									
$I_{min}$									

12. SI o'zgartrgichini chap holatga o'rnatish (sxemada C va C<sub>1</sub> kondensatorlari faol holatda bo'ladi, bu holda ular parallellikda ulangan bo'lib, umumiy sig'im:  $C_{umumiy} = C + C_1 = 1100 + 2500 = 3600 \mu F$ ).

8-11-qadamlarni takrorlang.

13. SI o'zgartrgichini o'ng holatga o'rnatish (sxemada C va C<sub>2</sub> kondensatorlari ishlaydi, bu holda:  $C_{umumiy} = C + C_2 = 1100 + 5000 = 6100 \mu F$ ). 8-11-qadamlarni takrorlang.

14. Chiqish kuchlanishini U = 5 V ga sozlang. 8-13-qadamlarni takrorlang.

15. Chiqish kuchlanishini U = 15 V ga sozlang. 8-13-qadamlarni takrorlang.

16. Tajriba natijalariga asoslanib xulosa chiqaring.

#### Nazorat savollari

1. Ishning maqsadi nima?
2. Tebranish konturi deganda nimani tushunasiz?
3. Qanday tebranishlar erkin va so'nuvchi deb ataladi? Erkin tebranishlarning differensial tenglamasini yozing va so'nuvchi tebranishlarni tasvirlovchi tenglamani keltiring.
4. Kontur parametrlarining tebranish jarayoni parametrlarga qanday bog'liqligi mavjud?
5. O'lchov sxemasi qanday ishlaydi?

## 26-LABORATORIYA ISHI FARADAYNING ELEKTROLIZ QONUNLARI

### Ishning maqsadi:

Elektroliz qonunlarini o'rganish. Tajriba yo'li bilan aniqlangan vodorod va kislorod gazlari hajmlari hamda bu jarayon uchun sarflangan elektr zaryadi asosida quyidagi fizik konstantalarni hisoblash:

- Faradey doimiysi
- Elementar elektr zaryadi
- Avogadro soni

Elektroliz natijalari natriy karbonatning suvli eritmasi asosida amalga oshiriladi.

### Nazariy qism

Elektroliz - bu elektrodlar orqali elektr toki o'tkazilganda elektrolitda sodir bo'ladigan kimyoviy jarayondir. Elektrolit orqali o'tkazilgan elektr miqdori bilan elektrodlar yuzasida hosil bo'lgan moddaning miqdori o'zaro bog'liq.

Faradey qonunlari - bu elektrolizni hodisasini tushunuvchi asosiy qonunlar bo'lib, ular elektroximiyaviy reaksiyalar davomida moddaning saqlanish qonunini ifodalaydi.

Faradeyning birinchi qonuniga ko'ra: Elektrolitdan tok o'tganda elektrodda ajralib chiqqan modda massasi m elektrolitda oqib o'tgan elektr zaryadiga to'g'ridan-to'g'ri proporsional:

Agar tok doimiy bo'lsa, ya'ni  $I = \text{const}$ , unda:

$$Q = It$$

bu yerda: Q - elektr miqdori (Kulon), I - tok kuchi (Amper), t - vaqt (sekund). Agar I vaqtga bog'liq bo'lsa, u holda modda massasi tok va vaqtning integrali orqali aniqlanadi.

$$\int_{t_1}^{t_2} I dt$$

bu yerda t<sub>1</sub> va t<sub>2</sub> - tokning yoqilish va o'chirilish vaqt momentlari.

Faradeyning ikkinchi qonuniga ko'ra, elektrodlar yuzasida kimyoviy o'zgarishlarga uchraydigan turli moddalarning massalari nisbati, elektrolit orqali o'tgan elektr zaryadi, ushbu moddalarning kimyoviy ekvivalentlari nisbatiga teng bo'ladi.

Kimyoviy ekvivalent - bu bir kmol vodorod atomlari (ya'ni 1,0078 kg) bilan reaksiyaga kirishadigan yoki uni birikmalarda almashtira oladigan element yoki birikmaning kilogrammda ifodalangan miqdoridir

Bu ikkala Faradey qonunini bitta umumiy tenglama orqali ifodalash mumkin:

$$m = \frac{QM}{Fz} \quad (26.1)$$

Bu yerda:  $m$  - elektrodagi ajralib chiqqan modda massasi,  $Q$  - elektr zaryadi,  $M$  - moddaning molyar massasi,  $F$  - Faradey doimiysi,  $z$  - moddaning valentligi (ajralishda ishtirok etuvchi elektronlar soni).

Elektrolitda ionli zaryad miqdori to'liq o'tsa Faradeyning har ikkala qonuni ham to'g'ri hisoblanadi.

Ba'zi hollarda ushbu qonunlardan kuzatilgan og'ishlar quyidagilar bilan bog'liq bo'lishi mumkin:

- Hisobga olinmagan qo'shimcha elektrokimyoviy reaksiyalar (masalan, ayrim metallarda elektroliz vaqtida gaz holatidagi vodorod ajralib chiqishi),  
- yoki qisman elektron o'tkazuvchanlik (masalan, ba'zi eritilgan tuzlarning elektrolizida).

Faradey qonunidan yuzaga keladigan bunday og'ishlar sabablarini butunlay istisno qiladigan qurilma "kulonometrlar" deb nomlanadi. Bunday qurilmalardan foydalanish orqali elektroliz natijasida ajralib chiqqan massa miqdoriga asoslanib, aniq o'tgan elektr miqdorini aniqlash mumkin.

Elektrolit orqali 1 faradey ( $F$ ) miqdoridagi zaryad o'tganda (ya'ni  $1 F = 9,6485 \cdot 10^7 \text{ Kl}$  - Faradey soni), har qanday moddada 1 ekvivalent massa ajralib chiqadi.

Demak, 1 kulon ( $\text{Kl}$ ) elektr o'tganda ajralib chiqadigan massa:

1 ekvivalent massa  $\div 9,6485 \cdot 10^7$

Shunday qilib, har qanday modda uchun 1 ekvivalent miqdorni hosil qilish uchun zarur bo'lgan elektr miqdori bir xil bo'lib, bu miqdor:

$9,6485 \cdot 10^7 \text{ Kl}$  ga teng. Bu miqdor Faradey soni yoki Faradey doimiysi deb ataladi va u asosiy fizik konstantalardan biri hisoblanadi.

Bu qonuniyat amaliyotda keng qo'llaniladi. Sarflangan zaryad miqdoridan kelib chiqib, ajralib chiqqan moddaning massasini hisoblash mumkin yoki aksincha - ma'lum miqdordagi modda hosil bo'lishi uchun

zarur bo'lgan elektr zaryadini aniqlash mumkin.

Faradey qonunlari kimyoviy bog'lanish tabiatini tushunishda hamda atom-molekulyar nazariyaning rivojlanishida muhim rol o'ynadi.

Elektrod reaksiyalari tezligi elektrolitning tarkibi va konsentratsiyasiga, elektrod materiali, elektrod potentsiali, harorat va boshqa bir qator omillarga bog'liq. Har bir elektrod reaksiyasining tezligi elektr zaryadlarining elektrod sirtining birlik yuzasi orqali birlik vaqt ichida o'tish tezligi bilan belgilanadi. Shuning uchun tezlik o'lchovi sifatida tok zichligi olinadi.

Odatda elektroliz elektroximik elementlarda, tashqi tok manbaiga ulangan elektrodlar orqali amalga oshiriladi. Elektroximik elementlar ikki xil bo'ladi: galvanik elementlar va elektrolitik elementlar (elektrolizyorlar).

Galvanik elementlar - kimyoviy energiyani elektr energiyasiga aylantiruvchi tizimlar bo'lib, tok manbalari batareyalar, akkumulyatorlar va yoqilg'i elementlarining asosi hisoblanadi.

Elektrolitik elementlarda esa elektrod va elektrolit chegarasidagi reaksiyalar tashqi elektr energiyasi hisobiga sodir bo'ladi; bu energiya elektrodlar yuzasida sodir bo'ladigan reaksiyalar natijasida hosil bo'lgan mahsulotlarning kimyoviy energiyasiga aylanadi.

Shuni ta'kidlash joizki, bitta element ish rejimiga qarab ham galvanik element, ham elektrolitik kabi harakat qilishi mumkin. Masalan, avtomobilning qo'rg'oshinli akkumulyatori motorni ishga tushirishda galvanik element sifatida ishlaydi (ya'ni, zaryadini yo'qotadi), generator yoki zaryadlovchi qurilmadan zaryad olayotganda esa elektrolitik vazifasini bajaradi.

Elektrolitlar - ionli o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan moddalar bo'lib, ular ikkinchi turdagi o'tkazgichlar deb ataladi, chunki ular orqali tok o'tishi moddalar harakati bilan kechadi. Masalan, kislotalarning suvli eritmaları elektrolitlarga misol bo'ladi.

Elektrolit eritmasi orqali elektr toki o'tkazish uchun unga ikki dona metall yoki grafit plastinkalar (elektrodlar) tushiriladi va ular doimiy tok manbaining qutblariga ulanadi.

Musbat elektrod anod, manfiy elektrod esa katod deb ataladi. Inert materialdan, masalan, platina yoki grafitdan yasalgan anodda suvli eritmada

Kimyoviy ekvivalent - bu bir kmol vodorod atomlari (ya'ni 1,0078 kg) bilan reaksiyaga kirishadigan yoki uni birikmalarda almashtira oladigan element yoki birikmaning kilogrammda ifodalangan miqdoridir

Bu ikkala Faradey qonunini bitta umumiy tenglama orqali ifodalash mumkin:

$$m = \frac{Q\mu}{Fz} \quad (26.1)$$

Bu yerda:  $m$  - elektrodagi ajralib chiqqan modda massasi,  $Q$  - elektr zaryadi,  $M$  - moddaning molyar massasi,  $F$  - Faradey doimiysi,  $z$  - moddaning valentligi (ajralishda ishtirok etuvchi elektronlar soni).

Elektrolitda ionli zaryad miqdori to'liq o'tsa Faradeyning har ikkala qonuni ham to'g'ri hisoblanadi.

Ba'zi hollarda ushbu qonunlardan kuzatilgan og'ishlar quyidagilar bilan bog'liq bo'lishi mumkin:

- Hisobga olinmagan qo'shimcha elektrokimyoviy reaksiyalar (masalan, ayrim metallarda elektroliz vaqtida gaz holatidagi vodorod ajralib chiqishi),
- yoki qisman elektron o'tkazuvchanlik (masalan, ba'zi eritilgan tuzlarning elektrolizida).

Faradey qonunidan yuzaga keladigan bunday og'ishlar sabablarini butunlay istisno qiladigan qurilma "kulonometrlar" deb nomlanadi. Bunday qurilmalardan foydalanish orqali elektroliz natijasida ajralib chiqqan massa miqdoriga asoslanib, aniq o'tgan elektr miqdorini aniqlash mumkin.

Elektrolit orqali 1 faradey ( $F$ ) miqdoridagi zaryad o'tganda (ya'ni  $1 F = 9,6485 \cdot 10^7 \text{ Kl}$  - Faradey soni), har qanday moddada 1 ekvivalent massa ajralib chiqadi.

Demak, 1 kulon ( $\text{Kl}$ ) elektr o'tganda ajralib chiqadigan massa:

1 ekvivalent massa  $+ 9,6485 \cdot 10^7$

Shunday qilib, har qanday modda uchun 1 ekvivalent miqdorni hosil qilish uchun zarur bo'lgan elektr miqdori bir xil bo'lib, bu miqdor:  $9,6485 \cdot 10^7 \text{ Kl}$  ga teng. Bu miqdor Faradey soni yoki Faradey doimiysi deb ataladi va u asosiy fizik konstantalardan biri hisoblanadi.

Bu qonuniyat amaliyotda keng qo'llaniladi. Sarflangan zaryad miqdoridan kelib chiqib, ajralib chiqqan moddaning massasini hisoblash mumkin yoki aksincha - ma'lum miqdordagi modda hosil bo'lishi uchun

zarur bo'lgan elektr zaryadini aniqlash mumkin.

Faradey qonunlari kimyoviy bog'lanish tabiatini tushunishda hamda atom-molekulyar nazariyaning rivojlanishida muhim rol o'ynadi.

Elektrod reaksiyalari tezligi elektrolitning tarkibi va konsentratsiyasiga, elektrod materiali, elektrod potentsiali, harorat va boshqa bir qator omillarga bog'liq. Har bir elektrod reaksiyasining tezligi elektr zaryadlarining elektrod sirtining birlik yuzasi orqali birlik vaqt ichida o'tish tezligi bilan belgilanadi. Shuning uchun tezlik o'lchovi sifatida tok zichligi olinadi.

Odatda elektroliz elektroximik elementlarda, tashqi tok manbaiga ulangan elektrodlar orqali amalga oshiriladi. Elektroximik elementlar ikki xil bo'ladi: galvanik elementlar va elektrolitik elementlar (elektrolizyolar).

Galvanik elementlar - kimyoviy energiyani elektr energiyasiga aylantiruvchi tizimlar bo'lib, tok manbalari batareyalar, akkumulyatorlar va yoqilg'i elementlarining asosi hisoblanadi.

Elektrolitik elementlarda esa elektrod va elektrolit chegarasidagi reaksiyalar tashqi elektr energiyasi hisobiga sodir bo'ladi; bu energiya elektrodlar yuzasida sodir bo'ladigan reaksiyalar natijasida hosil bo'lgan mahsulotlarning kimyoviy energiyasiga aylanadi.

Shuni ta'kidlash joizki, bitta element ish rejimiga qarab ham galvanik element, ham elektrolitik kabi harakat qilishi mumkin. Masalan, avtomobilning qo'rg'oshinli akkumulyatori motorni ishga tushirishda galvanik element sifatida ishlaydi (ya'ni, zaryadini yo'qotadi), generator yoki zaryadlovchi qurilmadan zaryad olayotganda esa elektrolitik vazifasini bajaradi.

Elektrolitlar - ionli o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan moddalar bo'lib, ular ikkinchi turdagi o'tkazgichlar deb ataladi, chunki ular orqali tok o'tishi moddalar harakati bilan kechadi. Masalan, kislotalarning suvli eritmaları elektrolitlarga misol bo'ladi.

Elektrolit eritmasi orqali elektr toki o'tkazish uchun unga ikki dona metall yoki grafit plastinkalar (elektrodlar) tushiriladi va ular doimiy tok manbaining qutblariga ulanadi.

Musbat elektrod anod, manfiy elektrod esa katod deb ataladi. Inert materialdan, masalan, platina yoki grafitdan yasalgan anodda suvli eritmada

gazsimon kislorod ajralib chiqadi.

Rux, mis yoki kadmiydan yasalgan anodlar esa elektr toki ta'sirida asta-sekin eriydi va bu holatda gaz ajralmaydi.

1833-yilda M. Faradey elektr toki elektrolit orqali elektr toki zaryadlangan zarrachalar ionlar yordamida o'tadi degan taxmini ilgari surdi. Bu ionlar tashqi elektr maydon ta'sirida yuzaga keladi. U elektrodalarda ionlar zaryaddan xalos bo'ladi, deb hisoblagan. Natijada katodda kationlardan metall yoki vodorod atomlari, anodda esa anionlardan galoidlar yoki kislorod ajralib chiqadi.

1884-yilda shved fizik-kimyogari S. Arrenius quyidagi fikrni ilgari surdi: tuzlar, kislotalar va asoslar mos erituvchilarda (masalan, suvda) eriganda ionlarga ajraladi (dissotsiyalanadi).

Masalan, natriy xlorid NaCl suvda eriganda natriy  $\text{Na}^+$  va xlor  $\text{Cl}^-$  ionlariga dissotsiyalanadi. Elektr toki bu jarayonning o'zida ishtirok etmaydi, u faqat ionlarni mos elektrodlar tomon harakatlantiradi.

Arreniusga ko'ra, dissotsiya darajasi – ya'ni ionlarga ajralgan molekullar ulushi – eritma suyultirilgan sari ortib boradi.

Har qanday moddaning 1 ekvivalentini ajratib olish yoki neytrallashtirish uchun bir xil miqdordagi elektr zaryadi talab qilinadi. Demak, 1 ekvivalentdagi ionlar tomonidan tashiladigan zaryad barcha moddalar uchun bir xil bo'ladi.

1 mol iondagi ekvivalentlar soni ionning valentligiga teng bo'ladi. Shuning uchun ion tomonidan tashiladigan zaryad miqdorini uning valentligi bilan tenglashtirish mumkin.

Masalan, bir valentli kation ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ) neytral atomga nisbatan bitta elektronini yo'qotib, musbat zaryad tashiydi. Ikki valentli kationlar ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ) ikki elektron yo'qotgan bo'ladi va ikki musbat zaryad tashiydi. Bir valentli anionlar ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ) esa neytral atomga nisbatan ortiqcha bitta elektron tufayli bitta manfiy zaryadga ega bo'ladi.

Elektroximik usullar sanoatning turli sohalarida keng qo'llaniladi. Elektroliz – xlor va ishqorlar, ko'plab oksidlovchilar, ftor va ftororganik birikmalar ishlab chiqarishda asosiy usul hisoblanadi.

Elektroximik usullar yordamida alyuminiy, magniy, natriy, litiy, berilliy, tantaliy, titan, rux olinadi va misni tozalash amalga oshiriladi. Suv

elektrolizi orqali vodorod olinadi. Texnikaning ko'plab sohalarida himoya va bezak galvanik qoplamalar, shuningdek, ma'lum optik, mexanik va magnit xossalarga ega galvanik qoplamalar qo'llaniladi.

Anodli eritish jarayoni qattiq va juda qattiq metallar hamda ularning qotishmalarini mexanik ishlov berish jarayonida qo'llaniladi.

Muhim biologik jarayonlarni masalan, ovqat energiyasini o'zlashtirish va ishlatish, nerv impulslarini uzatish, ko'rish tasvirini qabul qilish, tushunish elektroximik bog'lanishlarni, ayniqsa, biologik membranalarning funksiyasi bilan bog'liq bo'lganlarini hisobga olmasdan imkonsiz.

Elementar elektr zaryad e tabiatda ma'lum bo'lgan eng kichik elektr zaryad hisoblanadi. Uning mavjudligi haqida ilk aniq ishorani 1874-yilda ingliz olimi J. Stouni bergan.

Uning gipotezasi Faradey tomonidan aniqlangan elektroliz qonunlariga asoslangan. 1881-yilda u bir valentli ionning elektr zaryadini birinchi marta hisoblab chiqdi. Bu qiymat  $e = F / N_A$  bo'lib, bu yerda F – Faradey soni,  $N_A$  – Avogadro soni.

1911-yilda R. Milliken tomonidan elementar elektr zaryadning miqdori to'g'ridan-to'g'ri tajriba asosida o'lchangan. Uning zamonaviy aniq qiymati quyidagicha:  $|e| = (1,6021892 \pm 0,0000046) \cdot 10^{-19}$  Kl.

Elementar elektr zaryad miqdori elektromagnit o'zaro ta'sirlarning doimiysi hisoblanadi va mikroskopik elektrodinamikaning barcha tenglamalariga kiradi.

Bu miqdor elektron, proton va deyarli barcha boshqa zaryadlangan elementar zarrachalarning zaryadi bilan aynan tengdir. Shu sababli, ushbu zarrachalar tabiatdagi eng kichik (elementar) zaryadning moddiy tashuvchilari hisoblanadi.

Elementar elektr zaryad yo'q bo'lib ketmaydi; bu holat elektr zaryadning mikroskopik darajadagi saqlanish qonunining mazmunini tashkil etadi.

Tabiatda musbat va manfiy elementar elektr zaryadlar mavjud bo'lib, har bir zaryadlangan elementar zarracha o'zining anti-zarrachasiga ega va ular qarama-qarshi zaryad belgilariga ega bo'ladi.

Har qanday mikro yoki makroskopik tizimdagi elektr zaryad miqdori

doimo elementar zaryad miqdorining butun sonli ko'paytmasiga teng bo'ladi yoki nolga teng bo'ladi.

#### Eksperimental qurilmaning tavsifi

Eksperimental qurilmaning umumiy ko'rinishi 26.1-rasmda keltirilgan.



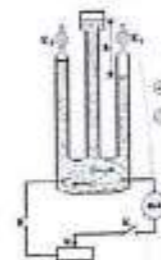
#### 26.1 – rasm. Qurilmaning tuzilishi

- 1 – doimiy elektr toki manbai elektroliz uchun zarur bo'lgan barqaror kuchlanish ta'minotini beradi;
- 2 – Gofman apparati gazlarni elektroliz natijasida ajratib olishga xizmat qiladi;
- 3 – manometr gaz bosimini aniqlash uchun mo'ljallangan o'lchov asbobi;
- 4 – sekundomer – vaqtni aniq hisoblash imkonini beruvchi asbob;
- 5 – milliampermetr – zanjirdagi tok kuchini o'lchaydi;
- 6 – shtativ – butun qurilmani barqaror holatda ushlab turuvchi tayanch element;
- 7, 8 – kranlar – suyuqliklar oqimini boshqaradi;
- 9, 10 – platinali elektrodlar – elektroliz jarayonida anod va katod sifatida ishlatiladi.

#### Gofman apparati yordamida elektroliz gazlarini ajratish

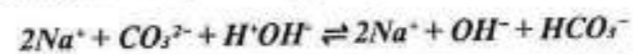
Elektroliz natijasida ajralib chiqadigan gazlarni alohida yig'ib olish maqsadida maxsus laboratoriya asbobi Gofman apparatidan foydalaniladi. Bu apparat o'zaro tutashgan uchta vertikal idishdan iborat bo'lib, ulardan ikki chetki idish ichiga elektrodlar o'rnatilgan. Mazkur idishlar pastki

qismida joylashgan mos ravishda  $K_{r1}$  va  $K_{r2}$  kranlar orqali boshqariladi. Markaziy idishda esa elektrolit natriy karbonatning ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) suvli eritmasi bilan to'ldirish uchun maxsus voronka mavjud. Chetki idishlar tashqi yuzasida hajmi millilitr (ml) birligida aniqlash imkonini beruvchi graduslash belgilari mavjud bo'lib, ular elektroliz davomida suyuqlik sathining balandligi  $h$  ni aniqlashga xizmat qiladi. Tajriba o'tkazishdan oldin Gofman apparati distillangan suv bilan to'ldiriladi, so'ngra eritmaga 2–4% konsentratsiyadagi natriy karbonati qo'shiladi bu elektrolitning elektr o'tkazuvchanligini oshiradi. Elektrodlar elektr zanjirga ulanadi. Mazkur zanjir tarkibiga reostat (R) - tok kuchini rostlovchi qarshilik, ampermetr - o'tayotgan tokni o'lchovchi asbob, kalit (K) 2- zanjirni yopuvchi/bog'lovchi element hamda doimiy tok manbai (B) kiradi. Qurilmaning to'liq elektr ulanish sxemasi 26.2-rasmda tasvirlangan.

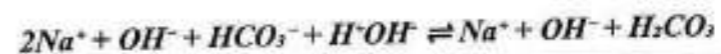


#### 26.2-rasm. Laboratoriya uskunasining sxematik tuzilishi

Natriy karbonatning gidrolizi ikki bosqichda amalga oshadi. Birinchi bosqichning ion tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:



Ikkinchi bosqichda esa reaksiya quyidagi ko'rinishni oladi:



$\text{Na}^+$  ionlari  $\text{OH}^-$  ionlari bilan birikishi mumkin edi. Bunda NaOH hosil bo'lgan bo'lardi. Biroq natriy gidroksidi kuchli elektrolit hisoblanadi, ya'ni u suvli eritmada NaOH molekullari ko'rinishida mavjud bo'la olmaydi va tezda  $\text{Na}^+$  va  $\text{OH}^-$  ionlariga dissotsiyalanadi. Shu bilan birga,  $\text{CO}_3^{2-}$  ionlari  $\text{H}^+$  ionlari bilan birikishi mumkin. Oxir-oqibat, karbonat kislotasi hosil bo'ladi, u juda zaif elektrolit bo'lib, suvli eritmada molekulyar holatda mavjud bo'lishi mumkin. Katodda esa elektr toki ta'sirida  $\text{H}^+$  ionlari

quyidagi reaksiya orqali qaytariladi:  $2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2$ . Normal sharoitlarda vodorod gaz holatida bo'lgani sababli, u elektrolitdan pufakchalar shaklida ajralib chiqadi.

Manfiy zaryadlangan  $OH^-$  ionlari anod tomonga harakatlanib, u yerda o'zining ortiqcha manfiy zaryadini beradi va natijada vodorod peroksid ( $H_2O_2$ ) hosil qiladi. Bu esa o'z navbatida suv va kislorodga parchalanadi. Natriy gidroksidi ( $NaOH$ ) karbonat kislotasi ( $H_2CO_3$ ) bilan reaksiyaga kirishib, natriy karbonati ( $Na_2CO_3$ ) va suv molekulasini hosil qiladi. Shunday qilib, elektrolit orqali tok o'tkazilganida, har bir  $Na_2CO_3$  molekulasini bir molekula vodorod ( $H_2$ ) va bir atom kislorod ( $O$ ) hosil qiladi.

Demak, anodda bitta  $O_2$  molekulasini ajralib chiqishi uchun ikki molekula  $Na_2CO_3$  dissotsiyalanishi kerak. Bunda katodda ikki molekula vodorod ( $2H_2$ ) ajraladi. Shunday qilib, bir xil termodinamik sharoitlarda katodda ajraladigan vodorodning hajmi anodda ajraladigan kislorod hajmiga nisbatan ikki baravar ko'p bo'ladi. Agar ajralgan gazlar alohida to'plansa, ularning bosim va harorat ma'lum bo'lganda egallagan hajmiga qarab elektrodalarda hosil bo'lgan gaz molekulari sonini aniqlash mumkin bo'ladi. Gaz molekulari soni orqali ionlar sonini topish, va ular orqali ko'chirilgan umumiy zaryad ( $Q$ ) ni o'lchab, bitta ionga to'g'ri keluvchi zaryadni hisoblash mumkin.

Tok o'tishi davomida manfiy elektrod (katod) joylashgan idishda vodorod, musbat elektrod (anod) joylashgan idishda esa kislorod to'planadi. Bu gazlar chekka idishlardagi elektrolitni siqib chiqaradi va natijada elektrolit sathidan yuqorida bosim hosil bo'ladi. Bu bosim o'z navbatida atmosfera bosimi va markaziy idishdagi suyuqlik ustunining bosimi bilan muvozanatlashadi, bu sath farqi yordamida o'lchanadi.

#### Faradey doimiysi $F$ ni aniqlash

Agar Gofman qurilmasi ishlashining ikki vaqt oralig'i uchun ideal gaz holat tenglamasini yozsak:

$$P_1 V_1 = \frac{m_1 RT}{\mu} \quad \text{va} \quad P_2 V_2 = \frac{m_2 RT}{\mu} \quad (26.2)$$

Bu ikki tenglama ayirmasi quyidagicha ifodalanadi:

$$P_2 V_2 - P_1 V_1 = \frac{(m_2 - m_1) RT}{\mu} \quad (26.2)$$

Ajralib chiqqan gaz massasining o'zgarishini Faradey qonuniga asosan quyidagi tenglama bilan solishtirish mumkin:

$$m_2 - m_1 = \Delta m = \frac{\Delta Q \mu}{F z_1} = \frac{(P_2 V_2 - P_1 V_1) \mu}{RT} \quad (26.3)$$

Tenglama (26.3) dan Faradey doimiysi quyidagicha ifodalanadi:

$$F = \frac{It RT}{(P_2 V_2 - P_1 V_1) z_1} \quad (26.4)$$

Vodorod uchun  $z_1 = 1$ , kislorod uchun esa  $z_1 = 2$  ga teng. Tok  $I$  ning  $t$  soniya davomida elektrolit orqali katod yo'nalishida o'tishi natijasida vodorod ionlari tomonidan tashilgan zaryad quyidagicha ifodalanadi:

$$Q^+ = It \quad (26.5)$$

Shu qiymatdagi, ammo qarama-qarshi ishorali zaryad kationlar tomonidan anodga olib boriladi. Shuni inobatga olsakki, har bir vodorod molekulasini ( $H_2$ ) ikki vodorod atomidan tashkil topgan, unda hosil bo'lgan vodorod gazining miqdori bo'yicha vodorod ionlari sonini aniqlash mumkin.

$$n^+ = 2 \frac{M}{m} \quad (26.6)$$

Bu yerda  $M$  – ajralib chiqqan vodorodning umumiy massasi,  $m$  – bitta  $H_2$  molekulasining massasi. Ajralgan vodorod massasini ideal gaz holati tenglamasi yordamida quyidagicha aniqlash mumkin:

$$M = \mu \frac{P_{H_2} V_{H_2}}{RT} \quad (26.7)$$

Bu yerda  $\mu$  –  $H_2$  ning bir kilomoli uchun massasi,  $R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ J/K} \cdot \text{kmol}$  universal gaz doimiysi,  $P_{H_2}$  – ajralib chiqqan vodorodning bosimi,  $V$  – ajralib chiqqan vodorodning hajmi,  $T$  – harorat.

Ifoda (7) ni ifoda (6) ga qo'yib, vodorod ionlari sonini topamiz:

$$n^+ = 2 \frac{M_{H_2} P_{H_2} V_{H_2}}{m_{O_2} RT} \quad (26.8)$$

Kislorod ionlari uchun shunga o'xshash mulohazalarni amalga oshirib, ikki vodorod ioni hosil bo'lganda faqat bitta kislorod ioni hosil bo'lishini hisobga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$n^- = \frac{M_{O_2} P_{O_2} V_{O_2}}{m_{O_2} RT} \quad (26.9)$$

$\frac{m}{\mu} = \frac{1}{N_A}$  bu yerda  $N_A = 6.02 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$  Shunday qilib, Gofman qurilmasi yordamida elementar zaryadni aniqlash uchun vodorod yoki

kislorodning hajmini, bosimini va haroratini, shuningdek, elektrolit orqali o'tuvchi tokning qiymatini hamda uning davomiyligini o'lchash kerak.

Faradey doimiysi  $F = eN_A$ , bu yerda  $N_A$  – Avagadro soni  $N_A = \frac{F}{e}$

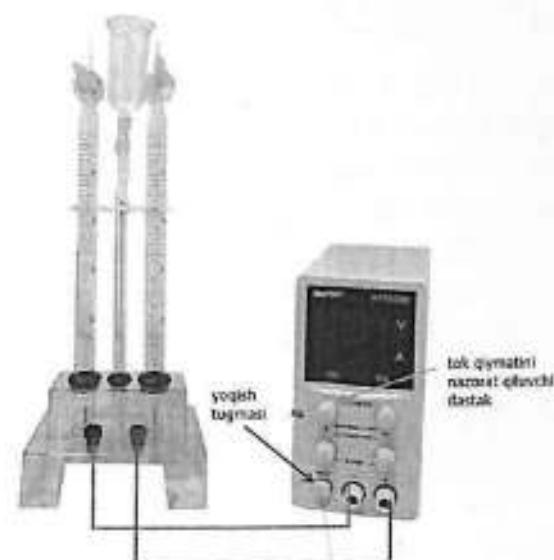
N		Qurilma nomi	O'lchov chegaralari	bo'linishlar soni	bo'linish qiymati	Aniqlik darajasi	Asbobning absolyut xatoligi
1	Raqamli multimetr						
2	sekundomer						
3	Barometr/manometr						
4	Tok manbai						
5	Raqamli termometr						

### Ishni bajarish tartibi

Ishni bajarishda laboratoriyada talabaga ajratilgan ish joyida belgilangan mehnat muhofazasi va texnika xavfsizligi qoidalariga qat'iy rioya qilish zarur. Gofman qurilmasi bilan ishlashga faqat uning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishgan shaxslar qo'yiladi. Diqqat. Vodorod havoga aralashganda "portlovchi gaz" deb ataluvchi portlash xavfini tug'diruvchi aralashma hosil qiladi. Shu sababli, vodorodni asta-sekin va kichik porsiyalarda chiqarish kerak. Yaqin atrofda ochiq olov bo'lmasligi lozim.

1.  $K_{11}$  va  $K_{12}$  kranlari ochiq holatda bo'lganda, o'rta idishdagi voronka orqali Gofman qurilmasi naylarini to'liq havo siqib chiqib ketguniga qadar distillangan suvdagi 2% natriy karbonat eritmasi bilan to'ldiriladi.

2. Zanjir quyidagi sxema bo'yicha yig'iladi:



3. Quvvat manbai yoqiladi, tokni sozlagich yordamida ga o'rnatiladi. Bir muncha vaqt o'tgach, elektroliz natijasida gazlar to'planib, pufakchalar havoga chiqishni boshlaganda,  $K_{11}$  va  $K_{12}$  kranlari yopiladi va o'lchovning boshlanish vaqti qayd etiladi.

4. Sozlagich yordamida tokni 300 soniya davomida barqaror ushlab turiladi, so'ng vaqt qayd etilib, quvvat manbai o'chiriladi.

5. Eritmaga xona haroratigacha sovishi kutiladi.

6. Vodorod bosimi ( $P_H$ ) aniqlanadi.

Atmosfera bosimi ( $P_{atm}$ ) barometr yordamida o'lchanadi. Elektrolit sathlari farqi ( $h$ ) ni o'lchash orqali vodorod bosimi  $P_H = \rho gh$  hisoblab chiqiladi, bu yerda  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  – erkin tushish tezlanishi,  $\rho$  – elektrolit zichligi (bizning holatda, 3%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  eritmasi uchun  $\rho = 1,03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ). Suvning to'yingan bug' bosimi ( $P_{ps.}$ ) =  $aP_t$ , bu yerda  $a$  – elektrolit konsentratsiyasiga bog'liq empirik koefitsient (ushbu tajribada  $a = 0,9$ ).

$P_t$  – xona haroratida suvning to'yingan bug' bosimi va u 26.2-jadval orqali aniqlanadi. Shunday qilib, vodorodning bosimi quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{H_2} = P_{atm} + \rho gh - aP_t \quad (26.12)$$

26.2-jadval To'yingan bug' bosimi haroratning 16...230°C oralig'ida

T, °C	16	17	18	19	20	21	22	23
P <sub>r</sub> kPa	1.82	1.94	2.06	2.20	2.34	2.49	2.64	2.81

7. Ajralgan vodorodning hajmi V Gofman qurilmasining chetki idishlaridagi bo'linmalar orqali aniqlanadi.

8. O'lchangan va hisoblangan qiymatlar 26.3a-jadvalga yoziladi, bu jadvalda H<sub>2</sub> gazining hajmining eritma orqali o'tgan zaryadga bog'liqligi aniqlanadi, hamda 26.3b-jadvaliga yoziladi, bu jadvalda O<sub>2</sub> gazining hajmining eritma orqali o'tgan zaryadga bog'liqligi aniqlanadi. Tajriba doimiy tok ostida o'tkaziladi. Har 300 soniyada gaz hajmi aniqlanadi.

**26.3a-jadval. H<sub>2</sub> hajmining eritma orqali o'tgan zaryadga bog'liqligini aniqlash uchun o'lchangan va hisoblangan miqdorlar**

N	I, (A)	t, (sek)	T, (°K)	V, (m <sup>3</sup> )	P <sub>atm</sub> (MPa)	h, (m)	P <sub>h</sub> (kPa)	P <sub>r</sub> (kPa)	P <sub>102</sub> (kPa)
1									
2									
3									
4									
5									

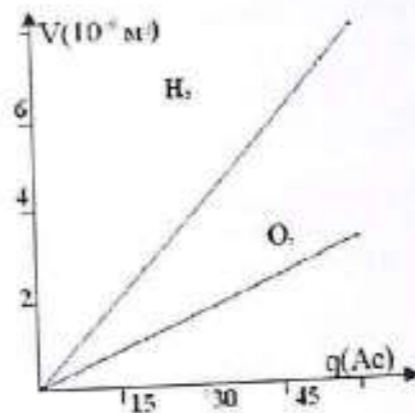
**26.3b-jadval. O<sub>2</sub> hajmining eritma orqali o'tgan zaryadga bog'liqligini aniqlash uchun o'lchangan va hisoblangan miqdorlar**

N	I, (A)	t, (sek)	T, (°K)	V, (m <sup>3</sup> )	P <sub>atm</sub> (MPa)	h, (m)	P <sub>h</sub> (kPa)	P <sub>r</sub> (kPa)	P <sub>102</sub> (kPa)
1									
2									
3									
4									
5									

#### Tajriba natijalarini qayta ishlash

##### Faradey doimiysini aniqlash

26.3a va 26.3b-jadvallardagi ma'lumotlarga asoslanib, ajralgan gaz hajmining sarflangan elektr miqdoriga bog'liqligi grafigi chiziladi (3-rasmda misol keltirilgan).



**26.3-rasm.** Eritgan sulfat kislotasini elektroliz qilishda o'tgan zaryad bilan hosil bo'lgan vodorod va kislorod hajmlari orasidagi bog'liqlik grafigi ( $T = 296,050 \text{ K}$  va  $p = 100,4 \text{ kPa}$ ). Grafikdan  $\Delta V/\Delta q$  nisbati aniqlanadi. F doimiysi (4) formula yordamida topiladi.

O'lchash xatoligi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\varepsilon = \Delta = \frac{\Delta F}{F} = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_{H_2O_2}}{P_{H_2O_2}}\right)^2} \quad (26.13)$$

Yakuniy natija quyidagicha yoziladi:  $F = F \pm \Delta F$ . Keyin olingan natija Faradey doimiysining ma'lum qiymati bilan taqqoslanadi.

##### Elementar elektr zaryad miqdorini aniqlash.

Olingan tajriba ma'lumotlari 4a va 4b-jadvallarga kiritiladi.

**26.4a-jadval.** Aniqlash uchun o'lchangan va hisoblangan kattaliklar H<sub>2</sub> hajmining eritma orqali oqib o'tgan zaryadga bog'liqligi

N	I, (A)	t, (sek)	T, (°K)	V, (m <sup>3</sup> )	P <sub>atm</sub> (MPa)	h, (m)	P <sub>h</sub> (kPa)	P <sub>r</sub> (kPa)	P <sub>102</sub> (kPa)
1									
2									
3									
4									
5									

**26.4b-jadval.** Aniqlash uchun o'lchangan va hisoblangan kattaliklar O<sub>2</sub> hajmining eritma orqali oqib o'tgan zaryadga bog'liqligi

N	I, (A)	t, (sek)	T, (°K)	V, (m <sup>3</sup> )	P <sub>atm</sub> (MPa)	h, (m)	P <sub>h</sub> (kPa)	P <sub>r</sub> (kPa)	P <sub>102</sub> (kPa)
1									
2									
3									

4									
5									

Elementar elektr zaryadining qiymati vodorod hajmini o'lchashda (10) formula bo'yicha va kislorod hajmini o'lchashda (11) formula bo'yicha aniqlanadi.

O'lchash xatoligi quyidagi formula asosida hisoblab chiqiladi:

$$\varepsilon = \Delta = \frac{\Delta F}{F} = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_{H_2O_2}}{P_{H_2O_2}}\right)^2} \quad (26.14)$$

Oxirgi natija  $e = e \pm \Delta e$  ko'rinishda yoziladi va taqqoslanadi. Elementar zaryad qiymati bilan aniqlanadi va xulosa qilinadi.

#### Avogadro sonini aniqlash

Avogadro soni  $N_A = F/e$  munosabatdan topiladi. Nisbiy xatolik quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta N_A}{N_A} = \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta q}{q}\right)^2} \quad (26.14)$$

Yakuniy natija quyidagicha yoziladi:  $N_A = N_A \pm \Delta N_A$ . So'ngra olingan natija Avogadro sonining ma'lum qiymati bilan taqqoslanadi.

#### Individual topshiriqlar

##### 1-topshiriq

1. Katodda ajralib chiqqan gaz hajmi va bu jarayonga sarflangan elektr zaryadi o'rtasidagi bog'liqlikni tajribada o'rganish.
2. Olingan tajriba natijalari asosida Faradey doimiysini aniqlash.
3. Tajribada aniqlangan Faradey doimiysi va elementar elektr zaryadi qiymati yordamida Avogadro sonini hisoblash.

##### 2-topshiriq

1. Anodda ajralib chiqqan gaz hajmi va bu jarayonga sarflangan elektr zaryadi o'rtasidagi bog'liqlikni tajribada o'rganish.
2. Olingan tajriba natijalar asosida Faradey doimiysini aniqlash.
3. Tajribada aniqlangan Faradey doimiysi va elementar elektr zaryadi qiymati yordamida Avogadro sonini hisoblash.

## 1-ILOVA O'LCHOV NATIJALARINI GRAFIK KO'RINISHDA IFODALASH VA TAHLIL QILISH

### 1.1. Grafiklarni qurish

Grafikning maqsadi – bir kattalikning boshqasiga bog'liqligini o'rganishda tajriba natijalarini aniq ko'rsatishdir. Grafik yordamida o'rganilayotgan bog'lanishning xususiyatlarini ko'rish, uning xarakterini (masalan, chiziqli, kvadrat yoki eksponensial) aniqlash va parametrlarini belgilash mumkin. Bularning barchasi grafik usulini to'g'ri qo'llash orqali amalga oshiriladi. Buning uchun grafiklarni qurishning ma'lum qoidalarga amal qilish va ularni qayta ishlash usullaridan foydalanish zarur.

1. Koordinatalar o'qlari tanlash. Grafikni  $\sim 150 \times 150$  mm o'lchamdagi millimetrlil qog'ozda qurish kerak, va koordinatalar o'qlari taxminan bir xil uzunlikda bo'lishi kerak. Gorizonttal o'q argumentga, ya'ni eksperimentator tomonidan aniqlangan kattalikka, vertikal o'q esa funktsiyaga ajratiladi. Har bir o'qning oxirida kattalikning belgisi, o'nlik ko'paytuvchisi va birligi ko'rsatiladi. Shu bilan birga,  $10 \pm K$  ko'paytuvchisi yordamida o'lchovlar shkalasini yozishda nolni tashlab o'tish mumkin, masalan, 0,001; 0,002 va h.k. o'rniga 1, 2, 3... deb yozish.

2. Intervallarni tanlash. Har bir o'qdagi raqamlar intervalini mustaqil ravishda tanlash kerak, shuningdek, grafikning barcha maydonini qamrab olish uchun intervallarni shunday tanlash kerakki, egri chiziq to'liq chizilgan bo'lsin. Buning uchun interval chegaralari o'lchangan eng kichik va eng katta qiymatlarga yaqin bo'lishi kerak. Ko'p hollarda hisob-kitoblarni nol nuqtasidan boshlamaslik kerakligini ta'kidlaymiz. Nol nuqtasini grafikda faqat agar u eksperimentda o'rganilgan hududga yaqin bo'lsa yoki nolga ekstrapolyatsiya qilish zarur bo'lsa joylashtirish mumkin.

3. Mashtab va shkalani tanlash. Mashtab oddiy va grafikaga nuqtalarni joylashtirish uchun qulay bo'lishi kerak. Mashtabning birligi sifatida o'qdagi bo'lakni 5, 10, 50 yoki 100 mm ga teng bo'lgan segment qabul qilinadi, bu esa segmentning qismlarini osonlik bilan hisoblash imkonini beradi. Bunday segmentga o'lchanadigan kattalikning "dumaloq" soni (1, 2, 5) mos keladi. Har bir o'qdagi bo'linmalar mashtabga mos ravishda mustaqil ravishda tanlanadi, va bo'linmalarining yozuvlari o'q bo'ylab joylashtiriladi. Shkala oson o'qilishi uchun o'qda 3-5 ta raqamni ko'rsatish

kifoya.

4. Nuqtalarni joylashtirish. Tajriba ma'lumotlarini grafik maydoniga aniq belgilarda joylashtiriladi, ularning sonli qiymatlari esa jadvalda keltiriladi. Turli belgilardan (yorqin va qorong'i doiralar, uchburchaklar va boshqalar) ma'lumotlarni turli sharoitlarga tegishli ravishda belgilash uchun foydalaniladi.

5. Eksperimental egri chizmasini o'tkazish. Egri chizma yupqa, silliq va uzluksiz chiziq bilan chiziladi (odatda bunday fizik bog'lanishlar bo'ladi), shunda nuqtalar egri chiziqning ikkala tomonida iloji boricha teng joylashadi. Agar bog'lanishning turi oldindan ma'lum bo'lsa, ushbu nazariy egri chizma o'tkaziladi. Agar bog'lanish chiziqli bo'lsa, to'g'ri chiziqni o'rtacha nuqtadan o'tkaziladi, uning koordinatalari quyidagicha bo'ladi:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}$$

bu yerda  $N$  - grafikdagi nuqtalarning umumiy soni.

6. Grafikning sarlavhasi. Grafikni bog'langan o'zgarishlarning nomi bilan yozilgan sarlavha bilan taqdim etish kerak, bunda o'qlar oxirida ko'rsatilgan o'zgaruvchilarning belgilarini tushuntirib o'tish zarur. Bundan tashqari, grafikda tajriba nuqtalari va egri chizmalarning belgilanishi tushuntiriladi (agar bir nechta bo'lsa). Sarlavha grafikning ustida yoki pastida joylashtiriladi.

## 1.2. Tajriba ma'lumotlarini grafik tahlili

### 1.2.1. Nazariyaga taqqoslash. Funktsional shkalalar

Nazariy bog'lanishni tekshirish uchun grafikda tajriba nuqtalari (ko'rsatilgan  $x$  va  $y$  o'zgaruvchilari orasidagi farqni  $\Delta y$  va  $\Delta x$  deb olgan holda) joylashtiriladi va nazariy egri chizma uning ustiga chiziladi, ya'ni nazariy tenglama bo'yicha hisoblangan qiymatlar chiziladi. Agar nazariy bog'lanish faqat o'zgaruvchilar orasidagi bog'lanishni bildirsa, lekin uning parametrlari aniq bo'lmasa, ularga tajriba orqali aniqlik kiritish kerak. Bu maqsadda, ko'rsatilgan nazariy bog'lanishni tasvirlaydigan funksiyaning grafigini qurish lozim. Misol sifatida, elektr rezistorning qarshiligi temperaturaga bog'liq ravishda o'zgarishini ko'rib chiqamiz. Agar koordinatalar to'g'ri tanlansa, ya'ni grafikning to'g'ri nuqtalarini va ko'rsatkichlarni tanlashda (masalan, temperaturaning  $T$  qiymatiga

asoslangan) ma'lum bo'lsa, bu holatda tahlil qilish oson bo'ladi. Nazariyaga ko'ra, sovuq va issiq moddalarning qarshiligi temperaturaga bog'liq ravishda o'zgaradi va bu tasavvurga asoslangan o'zgarishlar quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$R = A \exp\left(\frac{\Delta W}{2kT}\right)$$

Bu yerda,  $R$  - qarshilik,  $W$  - energiya o'zgarishi,  $T$  - temperatura, va  $k$  - Boltsman doimiysi. Shunday qilib, eksperimental grafikni logarifmik shaklda ifodalash orqali, quyidagi tenglama hosil qilinadi:

$$\ln R = \ln A + \frac{\Delta W}{2kT}$$

Bu tenglama grafikda to'g'ri chiziq sifatida ifodalangan bo'lib, uni chizgan holda qarshilik va temperatura o'rtasidagi bog'lanishni aniqlash mumkin. Temperaturaga qarshi  $R$  ni o'lchab, chiziqning gradusini aniqlash orqali  $W$

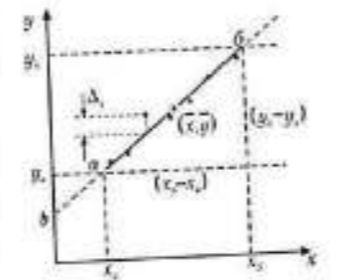
qiymatini topish mumkin. Parametrlarni aniqlashning ikki eng keng tarqalgan usuli -chiziq parametrlarini aniqlashda to'g'ri chiziqni ishlatish usuli -eng kichik kvadratlar (EKK) usuli.

### Yaqinlashgan usul

Faraz qilaylik, o'lchangan kattaliklar  $x$  va  $y$  o'rtasida quyidagi chiziqli bog'lanish mavjud:  $y = Kx + b$  va uning parametrlarini  $K$  va  $b$  aniqlash kerak. Buning uchun tajriba nuqtalarini grafikga

joylashtirib, to'g'ri chiziq chiziladi, va bu chiziqni qurishda grafikni qurish qoidalaridan foydalaniladi. Chiziqning ikki uchida hisoblash uchun qulay bo'lgan ikki tasodifiy nuqta  $a$  va  $b$  tanlanadi. Grafik bo'yicha hisoblashdagi xatolikni kamaytirish va burchakli koeffitsientni  $K$  hisoblashni osonlashtirish uchun,  $a$  nuqtasini o'qlar biri ustiga joylashtirish,  $b$  nuqtasini esa  $(x_a - x_b)$  segmenti butun son bo'lishi uchun tanlash qulaydir. Burchakli koeffitsientning o'rtacha qiymatini  $K$  quyidagi tenglama yordamida hisoblashadi, bu to'g'ri chiziqning turg'unlik burchagini belgilaydi:

$$\bar{K} = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} \quad (1)$$



$K$  va  $b$  parametrlarini aniqlash

b parametrining qiymati chiziqli bog'lanishning grafikasi bo'yicha y o'q bilan kesish nuqtasi sifatida aniqlanadi. Bu qiymatni quyidagi tenglama orqali topish mumkin:

$$b = \bar{y} - \bar{Kx} \quad (2)$$

Tasodifiy xatoliklar parametrning qiymatini o'lchashda tajriba nuqtalarini tahlil qilish orqali aniqlanadi. Bu xatoliklarni baholash uchun grafikda  $\Delta y$  – eng yaqin nuqtadan to'g'ri chiziqqa bo'lgan masofa aniqlanadi. Bu masofa, ya'ni  $[y_n - y_1]$  intervallari bo'yicha chiziqning maksimal og'ishlari olinadi. b parametrining mutlaq tasodifiy xatolik qiymati quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta_b = \Delta_y \quad (2)$$

To'g'ri chiziqning burchakli koeffitsienti  $K$  dastlab quyidagi formula bo'yicha nisbiy xatolik bilan hisoblanadi:

$$\delta = \frac{\Delta y}{(y_n - y_1)} 100\% \quad (3)$$

Formula (4) shuni anglatadiki, agar chiziq uzunligini o'lchashda boshqa bir birlik ishlatilsa, unda y o'qidagi kattaliklarni o'lchash uchun qulay bo'lgan birlikda (odatda millimetrli qog'ozdan) ishlash mumkin. Eslatma sifatida, xatolik o'lchovining o'zi muhim, chunki odatda bitta qismning o'lchovi aniqligi boshqa qismlar uchun ham ahamiyatlidir, masalan, 90, 100, va 120 mm uzunlikdagi segmentlarning aniq o'lchovlari. Keyin o'rtacha kattalikning mutlaq xatoligini quyidagi formuladan topish mumkin:

$$\Delta_k = \frac{K \delta_k}{100\%} \quad (5)$$

Bu formulalar  $K$  parametrning ishonchli intervalini yozishga imkon beradi:

$$K = \bar{K} - \Delta_k \quad (6)$$

Ishonchli ehtimollik  $P$  bu tavsiflangan xatoliklarni baholash usulida maksimal og'ish  $\Delta K$  ga asoslanadi va  $P = 1 - (1/2)^{N-1}$ , bu usuldagi tajriba nuqtalarining soni  $N$  ga bog'liq. Agar  $N$  ortsa, natijaning ishonchliligi yuqoriroq bo'ladi, va quyidagi formula bilan hisoblanadi:

## 2-ILOVA MA'LUMOTLAR QO'LLANMASI

### 2.1. Asosiy fizik doimiyalar

Doimiy nomi	Qiymati
Vakumdagi yorug'lik tezligi	$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Avogadro soni	$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Boltsman doimiysi	$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Elementar zaryad	$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Elektron massasi	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Elektronning xususiy zaryadi	$e/m_e = 1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$
Plank doimiysi	$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Bor magnetoni	$\mu_B = 0,927 \times 10^{-23} \text{ J/Tl}$
Atom massa birliklari	$1 \text{ a. e. m} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Elektr doimiysi	$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
Magnit doimiysi	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$
Elektronvolt	$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

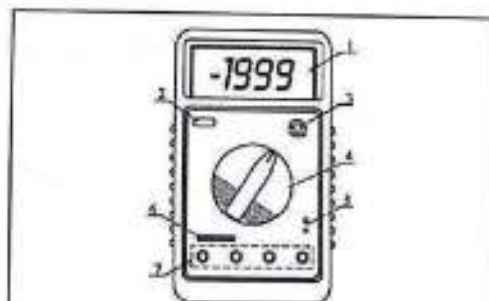
### 2.2. Maxsus qarshiliklar va haroratga bog'liq qarshilik koeffitsientlari

Element	Maxsus qarshilik $\rho, \Omega \cdot \text{m} (20^\circ \text{C da})$	Haroratga bog'liq qarshilik koeffitsienti $\alpha, 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
Alyuminiy	25,3	4,5
Volfram	55,0	5,1
Mis	17,1	4,3
Svints	190,0	4,2
Kumush	15,0	4,1
Nixrom	1100,0	0,2

### 3-ILOVA MULTIMETR YORDAMIDA O'LCHOVLARNI TAYYORLASH VA O'TKAZISH

Uchta asosiy elektr kattaliklarini (tok, kuchlanish va om qarshiligi) o'lchash uchun multimetrdan foydalaniladi. Multimetr, zaif oqim tizimlarida asosiy o'lchov asbobidir. Multimetrda, umumiy holatda, quyidagi rejimlar mavjud:

- O'zgaruvchan kuchlanishni o'lchash, o'lchov chegaralari 600B gacha va 200B gacha;
- To'g'ri impulslarni generatsiyalash;
- Doimiy kuchlanish uchun tokni o'lchash;
- Doimiy tokni o'lchash uchun tok manbai 10 A;
- Transistorlarni tekshirish;
- Kabelning yaxlitligini aniqlash;
- Qarshilikni o'lchash, o'lchov chegaralari 200 Om, 2000 Om, 20 kOm, 200 kOm, 2000 kOm;



3.1 - rasm Multimetrning old tomon paneli:  
1. Display; 2. Quvvatni yoqish/o'chirish tugmasi; 3. Transistorlarni tekshirish uchun ulagich; 4. Rejimlarni almashtirish tugmasi; 5. Termopara ulash uchun ulagich; 6. Kondensator ulash uchun ulagich; 7. Tok, kuchlanish, qarshilikni o'lchash uchun



3.2 - rasm Multimetrning rejim almashtirgich tugmasi

Doimiy kuchlanishni o'lchash, o'lchov chegaralari 200 mV, 2000 mV, 20 V, 200 B, 600 B.



3.3 - rasm Multimetrning o'lchov kirishlari: 10 A – 10 A gacha tokni o'lchash uchun kirish; mA – 200 mA gacha tokni o'lchash uchun kirish; COM – umumiy kirish (yer); VΩ – kuchlanish va qarshilikni o'lchash uchun kirish.

#### XAVFSIZLIK CHORALARI

- Hech qachon o'lchov diapazonlari uchun yo'riqnomada ko'rsatilgan maksimal ruxsat etilgan signal qiymatlaridan oshirmang.
- Multimetrni o'lchanayotgan sxemaga ulagan holda uning ochiq ulagichlariga tegmang.
- O'lchanadigan kattalik oldindan ma'lum bo'lmasa, diapazon almashtirgichni maksimal qiymatga qo'ying.
- Har doim asbobning ishlash funksiyasini o'zgartirganingizda, probalarni o'lchanayotgan sxemadan ajrating.
- Televizorlar yoki impulsi quvvat bloklarida o'lchovlar olib borishda, u yerda yuqori voltajli impulslar bo'lishi mumkinligini unutmay, bu asbobni ishdan chiqarishi mumkin.
- Hech qachon ulangan sxemalarda qarshilikni o'lchamang.
- Kondensatorlarning sig'imini o'lchashdan oldin ularning to'liq bo'shashganiga ishonch hosil qiling.
- Har doim 60V dan yuqori yoki 30V dan yuqori kuchlanishlar bilan ishlashda ehtiyot bo'ling.
- O'lchovlarni amalga oshirayotganda, probalarning himoya qirrasidan qo'llaringizni ushlab turing.

#### Multimetr bilan ishlashning umumiy tamoyillari

1. Multimetrning ishlash rejimlari orasidagi o'zgarishlar burama almashtirgich yordamida amalga oshiriladi (3.2- rasm). O'lchovlarni tugatgandan so'ng, batareya razryadlanishini oldini olish uchun almashtirgichni OF holatiga o'rnatish.
2. Multimetr bilan ishlashda simlarning ochiq qismlariga tegmang, chunki bu nafaqat elektr toki bilan zararlanish xavfini oshiradi, balki o'lchov xatoliklarini ham keltirib chiqaradi.

3. Multimetr bilan ishlashdan oldin, o'lchov chegaralarini to'g'ri o'rnatish kerak. O'lchanayotgan qiymatga yaqinroq chegarani tanlash, natijaning aniqligini oshiradi. Agar o'lchanayotgan kattalikning taxminiy qiymati oldindan ma'lum bo'lmasa, o'lchovlarni maksimal chegaradan boshlash tavsiya etiladi. Displayda «1» raqami paydo bo'lsa, bu o'lchov chegarasini oshirish kerakligini bildiradi.

**Diqqat!** Agar rejim almashtirgichining holati 10 daqiqa davomida o'zgartirilmasa, multimetr avtomatik ravishda o'chadi. Ishni davom ettirish uchun 2-raqamli tugmani ikki marta bosib (3.1- rasm).

#### **Multimetr yordamida o'lchovlar**

##### **Tok kuchini o'lchashda multimetrdan foydalanish**

Tok kuchini o'lchash uchun qizil o'tkazgichni «10A» kirishiga, qora o'tkazgichni esa «COM» kirishiga ulash kerak. Agar siz zanjirda kichik tok kuchi (200 mA gacha) o'tayotganiga ishonch hosil bo'lsangiz, o'tkazgichni «mA» kirishiga o'tkazishingiz mumkin. Multimetrdni ampermetr rejimida zanjirga ulashda, u ketma-ket ravishda (zanjirda uzilish hosil qilib) ulangan bo'lishi kerak.

Buragichlar yordamida kerakli o'lchov chegarasini tanlang, masalan, «A $\Rightarrow$ » yoki «A $\sim$ » va o'tkazgichlarni o'lchanayotgan kobyekt bilan ketma-ket ulab, displayda ko'rsatilgan qiymatni o'qing.

##### **Kuchlanishni o'lchashda multimetrdan foydalanish**

Kuchlanishni o'lchash uchun qizil kabelni «V $\Omega$ » kirishiga, qora kabelni esa «COM» kirishiga ulash kerak. Multimetrdni voltmetr rejimida zanjirga ulashda, uni paralel ravishda ulash zarur.

Burama almashtirgich yordamida kerakli o'lchov chegarasini tanlang, masalan, «V $\Rightarrow$ » yoki «V $\sim$ » va o'tkazgichlarni kuchlanish manbai yoki o'lchanayotgan yukga ulab, displayda ko'rsatilgan qiymatni o'qing. Doimiy kuchlanishni o'lchashda, indikator qizil o'tkazgichdagi signalning qiymatini ko'rsatadi.

Agar displayda «1» ko'rsatilsa, bu ortiqcha yuklanishni bildiradi va kattaroq o'lchov chegarasini tanlash kerakligini anglatadi.

##### **Multimetr yordamida qarshilikni o'lchash**

Elektr zanjirining bir qismining elektr qarshiligini o'lchash uchun qizil o'tkazgichni «V $\Omega$ » kirishiga, qora o'tkazgichni esa «COM» kirishiga ulash

kerak. Almashtirgichni tegishli holatga o'rnatib, o'lchovni amalga oshiring, multimetr shu paytda zanjir qismiga paralel ulanishi kerak. Eslatma: o'lchanayotgan zanjir qismida elektr toki o'tmasligi kerak, aks holda multimetr ishdan chiqishi mumkin.

#### **Eslatmalar:**

- Agar o'lchanayotgan qarshilik tanlangan o'lchov chegarasining maksimal qiymatidan oshsa yoki kirish qarshilikka ulanmasa, displayda «1» ko'rsatiladi.
- Zanjirda qarshilikni o'lchashda, sxemani o'chirish va kondensatorlarning to'liq zaryadsizlanganiga ishonch hosil qilish kerak.
- Agar o'lchov 1 M $\Omega$  dan yuqori bo'lsa, asbob o'lchov natijasini bir necha soniya ichida ko'rsatishi mumkin. Bu katta qarshiliklarni o'lchashda normal holatdir.
- 200 M $\Omega$  diapazonida, agar o'tkazgichlar qisqa tutashsa, display 10 birlikni ko'rsatadi. Bu qiymat o'lchov natijasidan chiqarilishi kerak, masalan, agar qarshilik 100 M $\Omega$  bo'lsa, displayda 101,0 ko'rsatiladi va to'g'ri qiymat  $101,0 - 1,0 = 100,0$  M $\Omega$  bo'ladi.

#### **Kondensator sig'imini o'lchash**

Buragichni ko'rsatgichini kerakli sig'im o'lchov diapazoniga – «F» belgisiga o'rnatib. Kondensatorni kondensatorlar uchun mo'ljallangan ulagichga joylashtirishdan oldin, u to'liq zaryadsizlanganiga ishonch hosil qiling.

#### **Diodlarni tekshirish**

Qora o'tkazgichni multimetrdagi «COM» ulagichiga, qizil o'tkazgichni esa «V $\Omega$  Hz» ulagichiga ulang (qizil o'tkazgichning qiymati «+» bo'ladi). Funksiya almashtirgichni diodlar belgisiga « $\blacktriangleright$  |  $\rightarrow$ » o'rnatib va qizil o'tkazgichni diodning anodiga, qora o'tkazgichni esa katodiga ulang. Displayda dioddagi to'g'ri ulanishdagi taxminiy kuchlanish tushuvi ko'rsatiladi. Agar o'tkazgichlarni teskari ulangan bo'lsangiz, displayda «1» raqami paydo bo'ladi.

#### **Tranzistorlarni tekshirish**

Aylanuvchi kalitni «hFE» holatiga o'rnatib. Tekshirilayotgan tranzistorning qanday turdagi o'tkazuvchanlikka ega ekanligini ya'ni PNP

yoki NPN ekanligini aniqlang hamda uning emitter, kollektor va baza chiqishlarini aniqlang. Tranzistor chiqishlarini asbobdagi mos ulagich qismlariga joylashtiring. Display tranzistorning taxminiy hFE koeffitsiyentini ko'rsatadi, bu qiymat baza toki 10 mA va kollektor-emitter kuchlanishi 3,2 V bo'lganda o'lchanadi.

#### Multimetr yordamida zanjir uzilishlarini aniqlash

Multimetрни "zanjir uzilishlarini tekshirish" rejimiga o'rning. Qizil zondni "VΩ" kirishiga, qora zondni esa "COM" kirishiga ulang. Mazkur rejimning ishlashini tekshirish uchun ikki zond uchini bir-biriga tutashtiring. Bu holda multimetr ovozi signal chiqaradi va nolga yaqin qarshilikni ko'rsatadi. Tekshirilayotgan zanjir qismlarining qarshiligi 80 Om gacha bo'lsa multimetr signal chiqaradi. Zanjir uzilishlarini tekshirish uchun zondlarni zanjirning ikki uchiga tekkizish lozim; agar zanjirda uzilish bo'lmasa, multimetr signal beradi yoki qarshilik qiymatini ko'rsatadi.

Multimetрни o'lchov zanjiriga ulashdan avval quyidagi amallarni bajaring:

- Tok turini (doimiy yoki o'zgaruvchan) belgilang;
- O'lchanayotgan fizik kattalik uchun kerakli diapazonni tanlang;
- Multimetr qisqichlarini zanjirga to'g'ri ulang.

3.4-rasmda quyidagilar tasvirlangan: (a) kuchlanishni o'lchash uchun multimetрни (voltmetr sifatida) ulash, (b) tokni o'lchash uchun multimetрни (ampermetr sifatida) ulash, (c) o'miy qarshilikni o'lchash uchun multimetрни (ommetr sifatida) ulash.


#### Chastotani o'lchash

Qora zondni "COM" ulagichiga, qizil zondni esa asbobning "VΩ Hz" ulagichiga ulang. Aylanuvchi buragichni "kHz" holatiga o'rning va zondlarni signal manbai yoki o'rganilayotgan yuklamaga ulang.

#### Eslatma:

- Kirish signal kuchlanishi 10 V dan yuqori bo'lsa, o'qish mumkin, biroq aniqlik kafolatlanmaydi.
- Tashqi shovqinlar kuchli bo'lgan sharoitda kirish signal kuchi past bo'lsa, sezgirligi yuqori zondan foydalanish maqsadga muvofiq.

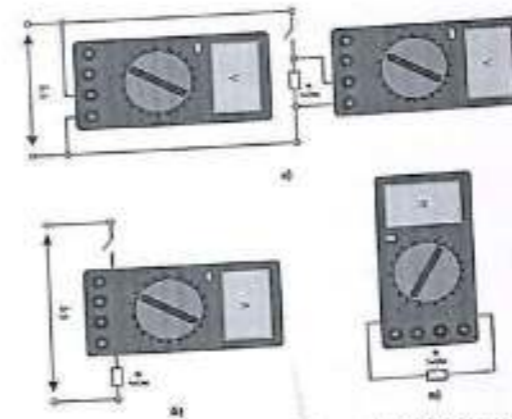
#### Batareyani almashtirish

Agar displeyda «» belgisi paydo bo'lsa, bu batareyani almashtirish

kerakligini bildiradi. Vintlarni bo'shating va orqa qopqoqni oching, quvvati tugagan batareyani yangisiga almashtiring.

#### OGOHLIK

Elektr toki urishidan saqlanish uchun orqa qopqoqni ochishdan oldin zondlarning o'lchanayotgan sxemadan butunlay uzilganligiga ishonch hosil qiling.



3.4-rasm . Multimetрни o'lchanayotgan zanjirga quyidagi qurilma sifatida ulash tartibi: a – voltmetr sifatida, b – ampermetr sifatida, v – ommetr sifatida.

### ADABIYOTLAR

1. Detlaf A.A., Yavorskiy B.M. Fizika kursi. – M.: Oliy maktab, 1989.
2. Kalashnikov S.G. Elektr. – M.: Fan, 1977.
3. Sivuxin D.V. Umumiy fizika kursi. Elektr. – M.: Fan, 1983.
4. Trofimova T.I. Fizika kursi. – M.: Oliy maktab, 1999.
5. Matveyev A.N. Elektr va magnitizm. – M.: Oliy maktab, 1983. bet.
6. Савельев И.В. Курс общей физики. Том I. – М.: Наука, 1982.
7. Абдиев Ю.М. Elektr va magnit hodisalari. – Toshkent: O'zMU, 2010.
8. Xo'jayev A. Fizikadan laboratoriya ishlari. – Toshkent: O'qituvchi, 2001.
9. Мельников В.М., Резник С.М. Измерения в физическом практикуме. – М.: Prosveshcheniye, 1983.
10. Гальперин Е.М., Савченко Ю.И. Физический практикум: Электричество и магнетизм. – М.: Vysshaya shkola, 1990.
11. Хлопцов В.Ф. Практикум по общему курсу физики: Электричество и магнетизм. – М.: Просвещение, 1988.
12. Турсунов И. Umumiy fizika kursi: Elektr va magnitizm bo'limi. – Toshkent: O'qituvchi, 2007.
13. National Instruments. Multisim User Manual. – Texas, 2015.
14. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. – Wiley, 10th ed., 2014.

### O'QUV ADABIYOTINING NASHR RUXSATNOMASI

O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 20 25 yil " 21 " Avgust dagi "316"-sonli buyrug'iga asosan

E.Y. YUSUFOV, A.CH. DURSORTOV, SH.T. TURSUMOV  
(muallifning faoliyatini tasvirlash)

Fizika  
(ta'lim yo'nalishi ko'rsatish uchun)

ning

talabarlari (o'quvchilari) uchun tavsiya etilgan

Elektr va magnitizm fanidan praktikum  
(ta'lim yo'nalishi ko'rsatish uchun)

ga

O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi tomonidan litsenziya berilgan nashriyotlarda nashr etishga ruxsat berildi.

Vazir



K.Sharipov

№ 385378

YUSUPOV ERKIN XURRAMOVICH,  
DURSOATOV ABDULLA CHORI O'G'LI,  
TURSUNOV SHOKIR TOYIROVICH

## ELEKTR VA MAGNETIZM FANIDAN PRAKTIKUM

O'quv qo'llanma

Bosh muharrir: Eshkaraev S. Ch

Texnik muharrir: Eshqorayev S.S

Musahhah: Javgashev Y.J

Tasdiqnoma № 255979, 13.04.2024

Bosishga 04.12.2025 da ruxsat berilgan. Format 60x84/16.

Garnitura Times New Roman. Shartli bosma tobog'i 16.0. Adadi 80 dona.

Buyurtma № 407

"TERMIZ PUBLISHING CENTER" nashriyotida tayyorlandi va chop etildi.

Surxondaryo viloyati, Termiz shahri, Ibn Sino ko'chasi 38B-uy, Toshkent sh., "TRASTBANK" XA BANKINING BOSH OFISI, MFO: 00491,

INN: 311209934 H/R: 20208000307031406001

Telefon: +998-88-808-21-07

ISBN 978-9910-624-14-8



9 789910 624148

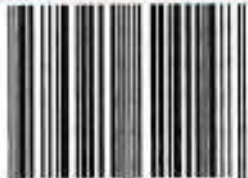
5708



TERMIZ  
PUBLISHING  
CENTER

TERMIZ - 2025

ISBN 978-9910-624-14-8



9 789910 624148

5708

