O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA’LIM VAZIRLIGI

ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI

ELEKTRODINAMIKA VA RADIOTO‘LQINLARNI TARQALISHI

fanidan
laboratoriya ishlarini bajarish bo‘yicha

USLUBIY KO‘RASTMALAR

Toshkent 2016

UDK 538.3(075.8)
«Elektrodinamika va radioto‘lqinlarni tarqalishi» fanidan laboratoriya ishlarini bajarish bo‘yicha uslubiy ko‘llanma. Tuzuvchilar: Q.G‘. Abidov, S.J. Nimatov, I.V. Ernst, T.C. Komilov. Toshkent; ToshDTU, 2016. -100 b.

Uslubiy qo‘llanma 5350700-«Radioelektron qurilmalar va tizimlar» va 5111000-Kasb ta’limi («Radioelektron qurilmalar va tizimlar») bakalavriat yo‘nalishlari talabalari uchun mo‘ljallangan. Qo‘llanmada «Elektrodinamika va radioto‘lqinlarning tarqalishi» fanining asosiy bo‘limlariga tegishli, har biri 2 akademik soatga mo‘ljallangan 9 ta tajriba mashg‘ulotlariga tegishli nazariy qismdan, bajarish tartibidan, hisobotni shakllantirish, nazorat savollari, bayon qilingan. Fan dasturi hajmida tajriba mashg‘ulotlarini bajarish, oliy o‘quv yurtlari tomonidan xalq xo‘jaligining yetakchi tarmoqlari, jumladan aloqa va telekommunikatsiya sohalari uchun yuqori malakali, chuqur bilimga ega bo‘lgan kadrlar tayyorlashda ahamiyati nihoyatda kattadir. Ko‘rsatmada elektrmagnit jarayonlarning fizik mohiyatini talabalar to‘liq o‘zlashtirib olishlari uchun nazariy asoslarga keng o‘rin berilgan.

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-uslubiy kengashi qaroriga asosan chop etildi

Taqrizchilar:

Raxmonov G. O‘zR FA IPvaLT istitutining katta ilmiy xodimi, f.-m.f.n.

Nazarov A.M. ToshDTU «RQvaT» kafedrasi mudiri, t.f.d., prof.

© Toshkent davlat texnika universiteti, 2016

KIRISH

O‘zbekiston oliy o‘quv yurtlari oldida chuqur nazariy va amaliy bilimga ega bo‘lgan va kelgusida xalq xo‘jaligi sohalarida amaliy ish olib bora oladigan keng profilli mutaxassislar tayyorlashdan iborat vazifa turibdi.

Talabalarning nazariy va amaliy bilimlarni puxta, mukammal egallashlari uchun faqatgina umumiy fizika va kimyo fanlarini bilishlari yetarli bo‘lmay balki materialshunoslik, mikroelektronikaning fizik - kimyoviy asoslari kabi fanlar sohasida ham kerakli tasavvurlarga ega bo‘lishlari kerak hamda qattiq jism fizikasi, yupqa qatlam va sirtlar, vakuum texnikasi, optik usullar, mikroelektronika va yarim o‘tkazgichlar, elektronika asboblari bilan tadqiqot qilish haqidagi bilimlarni egallashlari zarur. Bu fanda o‘qiladigan materiallarning sezilarli darajadagi qismi kelajakda boshqa fanlar, jumladan, “Yarimo‘tkazgichli asboblar va integral mikrosxemalar texnologiyasi”, “Mikro va nanoelektron asboblar va qurilmalar ishlab chiqarish texnologiyasi” kabi fanlar uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Talabalar bu fanni egallash jarayonida “Nazariy elektrotexnika va elektron texnologiyalar” kafedrasi hamda Ion-plazma va lazer texnologiyalari ilmiy tekshirish institutinnng ilmiy laboratoriyalarida tajriba ishlarini mustaqil bajarish bilan maxsus amaliy tayyorgarlikda o‘taydilar. Laboratoriya mashg‘ulotlarining soni o‘quv rejada keltirilgan soatlarga mos bo‘lib, fanning asosiy bo‘limlarini o‘z ichiga olgan. Ular talabalarning nazariy bilimlarini mustahkamlashga, elektron texnikasida qo‘llaniladigan materiallarni hamda komponentlarni tadqiq va tatbiq qiluvchi mutaxassisning malakasini oshirishga, materiallarda bo‘ladigan jarayonlarni chuqur tushunishiga imkon beradi hamda shu materiallarning va komponentlarning parametrlaridan tadqiqot uchun foydalanish, asosiy formulalar, tariflar ularning muhim parametrlarini, kattaliklarini va qiymatlarini esda saqlab qolishga yordam beradi.

1-laboratoriya ishi. Turli xil solishtirma o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan ikki muhit bo‘linish chegarasida elektr toki chiziqlarining sinishini tadqiq qilish

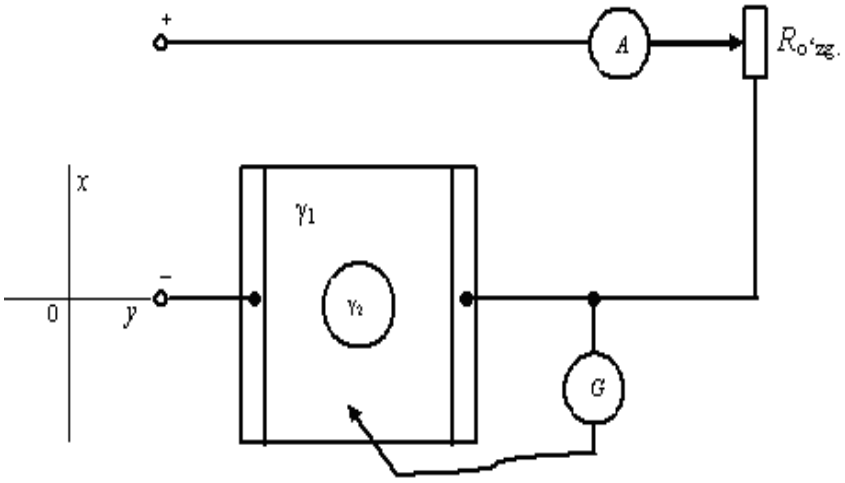
Ishdan maqsad

1. O‘tkazuvchanlik hususiyatiga ega bo‘lgan ikki muhit bo‘linish chegarasida elektromagnit maydonlarning qaytishi harakteristikalari haqida tasavvurga ega bo‘lish.

2. Laboratoriya modelida elektr maydonini tadqiq qilish va elektr va magnit maydonlarini modellashtirish usullarini o‘rganish.

Qurilmaning tavsifi (ta’rifi, bayoni)

Qurilma (model) γ_1 solishtirma o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan yassi to‘g‘riburchakli temir listdan iborat bo‘lib, bu 1-muhit hisoblanadi. Temir listning markazida yaratilgan aylana teshikda γ_2 solishtirma o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan, yupqa latun disk, ya’ni 2-muhit kavsharlangan (1.1-rasm). Temir list va latun disk sirtlariga uncha chuqur bo‘lmagan umumlashtirilgan koordinata setkasi chizilgan. Temir listga tok uzatish uchun, uning qarama-qarshi chekkalariga qalin latun bruslar kavsharlangan.



1.1-rasm. Tadqiqot sxemasi.

Qurilma tarkibiga latun disk va temir list tayorlangan materiallardan qirqib olingan ikkita alohida qo‘shimcha poloskalar kiradi. Bu poloskalar list va disk materiallarining solishtirma o‘tkazuvchanliklarini aniqlashda ishlatiladi.

Ishni bajarish tartibi

1. 1.1-rasmda keltirilgan shemani yig‘ing. O‘qituvchi shemani tekshirgandan keyin qurilmani doimiy tok manbaiga ulang.

2. Latun disk va temir list sirtlari bo‘ylab teng potensiallar chiziqlarini o‘lchab chiqing. Teng potensiallar chizig‘ini quring va tok chiziqlarini o‘tkazing.

3. Dielektrik silindr qo‘zg‘atgan (to‘lqinlatgan) bir jinsli elektrostatik maydonining ekvipotensial va kuch chiziqlarini hisoblang; ularni chizing va modelda olingan maydon bilan taqqoslang.

Ishni bajarish bo‘yicha ko‘rsatmalar va tadqiqot vazifalari

Laboratoriya ishida olib boriladigan tadqiqotning asosiy maqsadi, turli xil solishtirma o‘tkazuvchanlika ega bo‘lgan ikki muhitning bo‘linish chegarasida tok chiziqlarining sinish hususiyatlarini aniqlashdan iborat.

Ikkita o‘tkazuvchan muhitlarning bo‘linish chegarasida quyidagi chegaraviy shartlar yuzaga keladi:

1.Elektr maydon kuchlanganlik vektorlarining tashkil etuvcilari, bo‘linish sirtiga urinmalari E_t ikkala muhit bo‘linish chegarasida o‘zaro teng

$$E_{1t}=E_{2t},$$

2. Tok zichligi vektorlarining bo‘linish sirtiga normal tashkil etuvcilari δ_n, ikkala muhit bo‘linish chegarasida o‘zaro teng:

$$\delta_{1n}=\delta_{2n}.$$

Bo‘linish chegarasida hosil bo‘ladigan δ_1 va δ_2 tok chiziqlari burchaklarining (2-rasm) tangenslarining nisbati, muhitlarning γ_1 va γ_2 solishtirma o‘tkazuvchanliklarining nisbatlariga teng bo‘lishi kerak. Bu tenglik, yuqorida aytib o‘tilgan elektr maydoni kuchlanganligi $\vec{E}$ va tok zichligi $\vec{\delta}$ vektorlari uchun chegaraviy shartlaridan kelib chiqadi.

Chegaraviy shartlardan (2-rasm) quyidagi munosobatlarni olish mumkin:

$$\frac{tg\beta_1}{tg\beta_2}=\frac{\gamma_1}{\gamma_2}$$

bu yerda β_1 va β_2-ikki muhit bo‘linish sirtiga normal va tok chiziqlari

urinmalari hosil qilgan burchaklari.

Temir list chekkalaridagi latun brusoklarga doimiy tok energiya manbaining qutblari ulangan. $R_{o'zg.}$ tok qiymatini o‘zgartirishga xizmat qiladi. Tadqiqot davomida tok o‘zgarmas saqlab turiladi.

Teng potensiallar chiziqlarining manzarasi yozib olinadi. Teng potensiallar chiziqlari, temir list va latun diskni ajratib turuvchi aylanada sinadi.

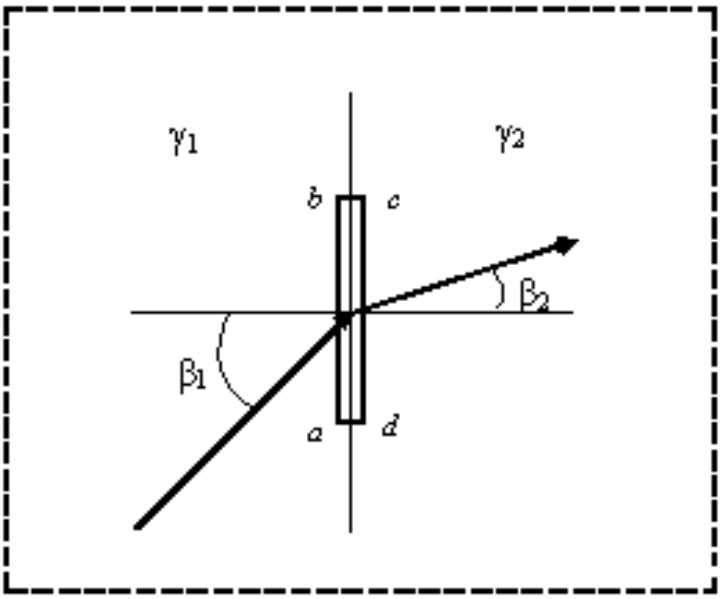
θ_1' va θ_2' orqali ikki muhit bo‘linish aylanasiga yo‘naltirilgan normal va yassi list tekisligida yotgan teng potensiallar chiziqlariga yo‘naltirilgan urinmalar hosil qilgan burchaklarni belgilaymiz. Maydon kuchlanganligi chiziqlari, izotrop muhitlarda tok chiziqlari ham, barcha nuqtalarda teng potensiallar chiziqlariga perpendikulyar bo‘lganligi sababli, quyidagi munosabatlar mavjuddir:

$$\theta_1' = \frac{\pi}{2} - \theta_1 \text{ va } \theta_2' = \frac{\pi}{2} - \theta_2$$

va shu munosabat bilan

$$\frac{tg\vartheta_1'}{tg\vartheta_2'} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1},$$

$\gamma_1 < \gamma_2$ bo‘lganligi sababli, $\delta > \delta_2$ bo‘ladi.



1.2-rasm. Bo‘linish chegarasida tok zichligi vektorining sinishi.

Qurilma shakli: temir list (past solishtirma o‘tkazuvchanlik) va unga kavsharlangan latun disk (Yuqori solishtirma o‘tkazuvchanlik), shu sababdan tanlanganki, chunki bu holda tok maydoni manzarasini hisob-kitob yo‘li bilan oson olish mumkin.

Temir listga elektr toki uning chekkalaridagi kavsharlangan kichik qarshilikka ega bo‘lgan latun brusoklar orqali uzatiladi, Shu sababli listning chekkalarini tahminan teng potensial chiziqlari deb hisoblasa bo‘ladi. Agar temir list yahlit bo‘lib, uning markazida latun disk kavsharlanmagan bo‘lganda, u holda tok chiziqlari parallel to‘g‘ri chiziqlarni tashkil etib, bir jinsli maydon hosil bo‘lar edi. Lekin temir list markazida o‘rnatilgan, qarshiligi farq qiladigan disk, bir jinsli maydonni buzadi.

Koordinata boshi *x*, 0, *y* ni disk markazi bilan birlashtiramiz. Latun disk radiusini *R* bilan belgilaymiz.

Tajriba quyidagi tartibda olib boriladi.

Temir listga kuchlanish beramiz. $R_{o‘zg.}$ rezistori yordamida tokning kerakli qiymatini o‘rnatamiz.

Shupni koordinata boshiga keltirib, galvanometr *G*ning α ko‘rsatgichini (shkala bo‘yicha) belgilaymiz.

Diskdan va undan keyin list sirtlaridan shupni uzmasdan, uning joyini shunday o‘zgartiramizki, bunda galvanometr *G*ning ko‘rsatgichi α o‘zgarishsiz qolsin. Tajribani bajarishda uchi o‘tkir bo‘rdan foydalanib, shup yo‘lakchasini belgilab borish qulay.

Teng potensiallarning keyingi chiziqlarini o‘lchash uchun, Δα=const shartini ta’minlaymiz, bunda keyingi chiziqqa o‘tganimizda potensial bir xil, ya’ni, Δu = const miqdorga oshib boradi.

Tajribalar natijasida quyidagilarga ega bo‘lamiz:

2-liniya uchun $\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta\alpha$,

2-liniya uchun $\alpha_3 = \alpha_2 + \Delta\alpha = \alpha_1 + 2\Delta\alpha$ va hokazo.

Tajriba natijasida temir list va latun disk sirtlarida tok chiziqlar va teng potensiallar chiziqlarining taqsimoti manzarasini olamiz.

Tajriba natijalarini qayta ishlash

Tajriba natijasida olingan tok chiziqlar va teng potensiallar chiziqlarining taqsimoti manzarasini qog‘ozga 1:1 masshtabda ko‘chiramiz.

Elektr maydoni kuchlanganligi va teng elektr potensiali chiziqlari nuqtalarini hisoblab chiqamiz.

Kuchlanganlik chiziq tenglamalari quyidagi ko‘rinishga ega:

diskdan tashqarida

$$(1+\frac{\gamma_2-\gamma_1}{\gamma_2+\gamma_1}\cdot\frac{R^2}{x^2+y^2})\cdot x=K=const; \qquad (1.1)$$

disk ichida

$$\frac{2\gamma_1}{\gamma_2+\gamma_1}\cdot x=K=const. \qquad (1.2)$$

H o‘qi latun disklariga parallel qilib tanlanadi (1-rasmga qarang). *H* o‘qi bo‘ylab bir chiziqdan keyingisiga o‘tishda kuchlanganlik *E*ning qiymati bir xil ΔV miqdorga oshiriladi, ya’ni *K* soni bir xil ΔK miqdorga oshiriladi. ΔKning ortirmasini shunday tanlash kerakki, disk ichida bir nechta (besh-oltita) chiziqlar joylashishi kerak.

Teng elektr potensial chiziqlarining tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega:

diskdan tashqarida

$$(1-\frac{\gamma_2-\gamma_1}{\gamma_2+\gamma_1}\cdot\frac{R^2}{x^2+y^2})\cdot y=L=const; \qquad (1.3)$$

disk ichida

$$\frac{2\gamma_1}{\gamma_2+\gamma_1}\cdot y=const. \qquad (1.4)$$

Y o‘qi bo‘ylab teng potensialning bir chiziqdan keyingisiga o‘tishda kuchlanganlik *E*ning qiymati bir xil ΔV miqdorga (o‘zgarishi) oshishi uchun, *L* soniga bir xil ortirma ΔL berish kerak bo‘ladi. Qulay bo‘lishi uchun $\Delta L=\Delta K$ qilib tanlash kerak, bunda koordinata to‘rining to‘rtburchak yacheykalari kvadrat shaklida bo‘ladi.

Disk ichida elektr maydoni kuchlanganligi va teng potensiallar chiziqlari (2), (4) tenglamalarga muvofiq to‘g‘ri chiziqlar ko‘rinishiga ega.

Diskdan taqarida elektr maydoni kuchlanganligi va teng potensiallar chiziqlari murakkab shaklga ega bo‘lib, (1), (3) tenglamalardan foydalanib hisoblab topiladigan nuqtalar orqali quriladi.

Hisoblab topilgan va tadqiqot yo‘li bilan olingan tok va teng potensiallar chiziqlarining taqsimotlari manzaralarini bitta qog‘ozga

chizamiz. Natijalar bir biriga mos bo‘lishi kerak.

K va *L*ning bir necha qiymatlari uchun hisob-kitoblarni jadval ko‘rinishida amalga oshirish tavsiya etiladi, masalan jadval 1 va jadval 2.

Elektr maydoni kuchlanganligi va teng potensiallar chiziqlari nuqtalarini hisoblash uchun yuqoridagi tenglamalar ma’lumotlarini qulay ko‘rinishda yozamiz. Ma’lumki:

$$\gamma_2=3{,}6\cdot10^7\ \text{Om}^{-1}\cdot\text{m}^{-1};$$
$$\gamma_1=3{,}6\cdot10^7\ \text{Om}^{-1}\cdot\text{m}^{-1};$$
disk radiusi R=6 sm.

Ushbu miqdorlarni (1) – (4) ifodalarga qo‘yib quyidagilarni olamiz:

1. Kuchlanganlik chiziqlari hisoblash ifodalarini
   a)disk ichida $x=2K$ (to‘g‘ri chiziqlar);
   b) diskdan tashqarida

$$\left(1+\frac{18}{r^2}\right)\cdot x=k;$$

2. Teng potensiallar chiziqlari hisoblash ifodalarini
   a)disk ichida $u=2L$ (to‘g‘ri chiziqlar);
   b) diskdan tashqarida

$$\left(1-\frac{18}{r^2}\right)\cdot y=L.$$

Disk radiusi $r^2 = h^2 + u^2$ mavjud qiymatlari bir xil Δr (masalan, Δr = 1 sm) ortirmalar bilan olinadi. *K* va *L*ning kichik qiymatlarida $r = R$ = 6 sm.

K va *L*ning katta qiymatlarida r>6 sm olinadi (hisob-kitoblardan ko‘rinadi), chunki 1b) va 2b) bo‘yicha tenglamalar *r*ning kichik qiymatlarida yyechimga ega emas.

Hisob-kitoblarni $\Delta K = \Delta L$ = 1,5 qiymatlari uchun maydonning to‘liq manzarasini tuzguncha olib borish kerak.

1.1-Jadval

K = const =

r, sm						
x, sm						

1.2-Jadval

L = const =

r, sm						
x, sm						

Nazorat savollari

1. Turli solishtirma o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan ikki muhit bo‘linish chegarasida chegaraviy shartlar.
2. Turli xil materiallar va shakldagi jismlar tomonidan kiritiladigan qo‘zg‘alishlar natijasida elektr va magnit maydonlarining deformasiyalanish harakterlari.
3. Elektrostatik ekranlash.
4. O‘tkazuvchanlik, siljitish va siljish toklari.
5. Om qonunining differensial ko‘rinishi. Maksvell postulati. Gauss teoremasi. Tok chiziqlarining uzviyligi.

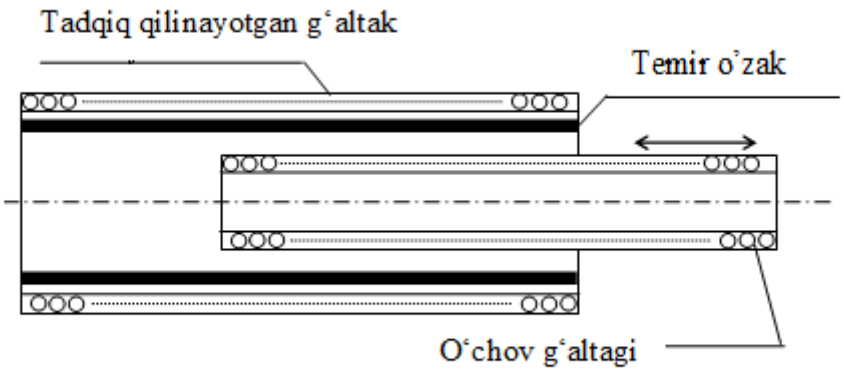
2-laboratoriya ishi. Silindrsimon induktiv g‘altakning magnit maydonini tadqiq qilish

Ishdan maqsad

1. Silindrsimon g‘altakning o‘qi bo‘ylab magnit maydoni kuchlanganligining taqsimotini tadqiqi qilish.
2. Silindrsimon induktiv g‘altak ichigi temir o‘zakni kiritganda magnit maydoni kuchlanganligining o‘zgarishini tadqiq qilish.

Qurilma tavsifi (bayoni)

Tadqiq qilinayotgan induktiv g‘altak silindr shaklga ega bo‘lib (2.1-rasm), ko‘pqatlamli cho‘lg‘ami har biri 1750 ta o‘ramdan iborat bo‘lgan ikkita seksiyani o‘z ichiga olgan. Cho‘lg‘am yog‘och karkasga o‘ralgan (2.1-rasmda ko‘rsatilmagan).



2.1-rasm. Silindrsimon g‘altakning magnit maydoni kuchlanganligining o‘zgarishini tadqiq qilish uchun mo‘ljallangan qurilmanig eskizi.

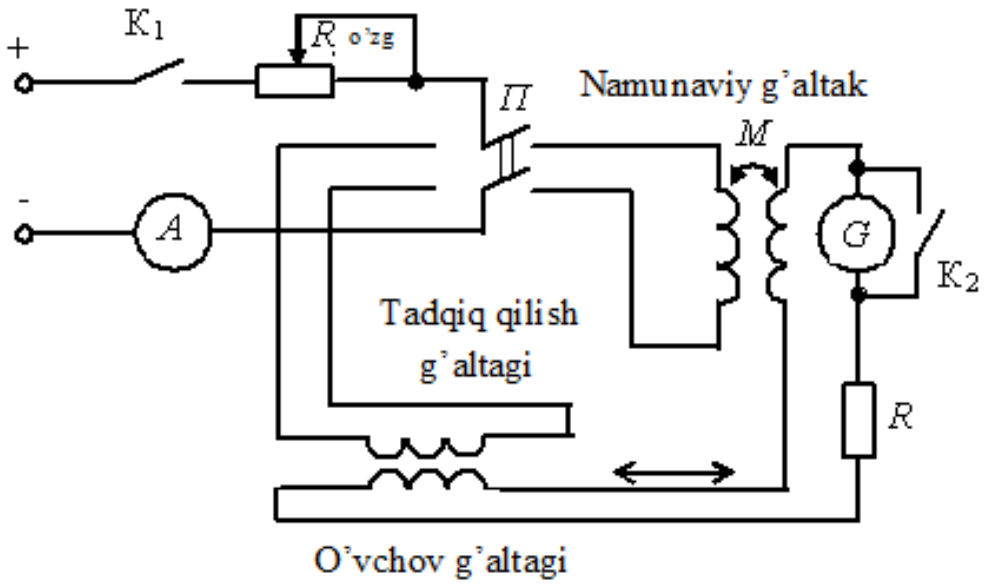
Tadqiq qilinayotgan g‘altakning ichiga silindr shaklidagi o‘zak kiritish (o‘rnatish) mumkin (mos keladigan temir trubaning bo‘lagi).Temir o‘zakni umuman olib tashlash ham mumukin, bu holda uni aynan shu shaklga ega bo‘lgan yog‘och o‘zak bilan almashtirish mumkin.

O‘z navbatida temir yoki yog‘och o‘zaklarning ichiga tadqiq qilinayotgan induktiv g‘altak o‘qiga mos qilib, ingichka simdan iborat 150 ta o‘ramga ega bo‘lgan o‘lchov g‘altagini kiritish mumkin. O‘lchov

g‘altagi dielekirik materialdan yasalgan rukoyatka sterjnida o‘rnatilgan (2.1-rasmda ko‘rsatilmagan). O‘lchov g‘altagini tadqiq qilinayotgan g‘altakka nisbatan siljitish va hatto chetga ko‘proq masofaga ham uzoqlashtirish mumkin. G‘altaklarning o‘zaro joylashishini qayt qilish uchun rukoyatka sterjenda santimetrlarga bo‘lingan lineyka chizilgan.

O‘lchov g‘altagi tadqiq qilinayotgan g‘altak hosil qiladigan magnit maydoni kuchlanganligini o‘lchashga mo‘ljallangan. O‘lchov g‘altagining o‘ramlar soni $w_{o‘lch.}$=150.

O‘lchov g‘altagi yordamida magnit maydoni kuchlanganligini o‘lchash uchun ballistik usul qo‘llanilib, bu usulni amalga oshirish uchun qurilmaning elektr shemasiga (2.2-rasm) ballistik galvonometr *G* va o‘zaro induktivligi *M* 0,01 Gn yoki 0,001 Gnga teng ega bo‘lgan Namunaviy g‘altak ulangan. Shemaga sozlovchi *R* va R_1 qarshiliklar ham ulangan.



2.2-rasm. Tadqiq qilish sxemasi.

Ishni bajarish tartibi

1. 2-rasmda aks ettirilgan elektr shemani yig‘ing.
2. Namunaviy g‘altak yordamida galvanometr *G*ning C_ψ doimiysini aniqlang.
3. Ikki holat uchun ballastik usul bilan magnit maydoni kuchlanganligini aniqlang:

a) temir o‘zaksiz tadqiq qilinayotgan g‘altak uchun;

b) temir o‘zakli tadqiq qilinayotgan g‘altak uchun.

Ballastik usul bilan magnit oqimini o‘lchash tartibi 1-Ilovada bayon ettirilgan.

4. Tadqiq qilinayotgan temir o‘zaksiz g‘altakda magnit maydoni kuchlanganligining taqsimotini nazariy hisoblab chiqing.

5. Hisob-kitob va tadqiqotlardan olingan ma’lumotlar asosida magnit maydoni kuchlanganligining g‘altak markazigacha bo‘lgan masofadan bog‘liqligi grafigini quring.

6. $H = f(h)$ eksperimental egri chiziqlarni grafikaviy integrallash orqali temir o‘zaksiz g‘altakning ichida magnit kuchlanganligini aniqlang.

Grafikaviy integrallash tartibi 2-Ilovada bayon etilgan.

4-6 punktlar laboratoriya ishini rasmiylashtirishda bajariladi.

Ishni bajarish va o‘lchovlvarni amalga oshirish ketma-ketligi bo‘yicha ko‘rsatmalar

1. Birlamchi zanjirda tok qiymati R_1 qarshilik bilan o‘zgartirilganda, galvanometr G doim K_2 kalit bilan shuntlanadi.

2. Tokning kerakli bo‘lgan miqdori R_1 qarshilik bilan beriladi (K_1 kalit yopiq, (shema holatini o‘zgartiruvchi asbob) P “Namunali g‘altak” holatida, K_2 tutashtirilgan).

3. Tokning ma’lum qiymatini tanlangandan keyin, namunali g‘altak zanjirini uzib qo‘yish kerak. Undan keyin K_2 kalit uziladi.

4. Namunaviy g‘altak zanjirini qayta ulab, 2-punkt bo‘yicha tanlangan tok qiymatiga mos bo‘lgan "α" otbrosni yozib oling (galvanometr shkalasi ko‘rsatgichi bo‘yicha). Bunday o‘lchovlarni tokning ikki qiymati uchun amalga oshirish kerak. Natijalar 1-Jadvalga kiritiladi.

Har bir o‘lchovdan keyin galvanometr G zanjiri shuntlanadi (ya’ni, K_2 kalit tutashtiriladi). Aks holda, galvonometrning tolasiga biriktirilgan oynali qaytargich kuchli va uzoq chayqalib turishi mumkin

5. Tadqiq qilinayotgan g‘altakdan temir o‘zak chiqarib olinadi. P pereklyuchateli “Tadqiq qilinayotgan g‘altak” holatiga o‘tkaziladi. K_2 kalit ulangan. Tokning biron bir berilgan qiymati qo‘yiladi.

6. O‘lchov g‘altagining turli, ya’ni o‘lchov g‘altagi ichida va undan tashqaridagi holatlari uchun "α" qiymatini yozib oling. Ma’lumotlarni 2-Jadvalga kiriting.

7. Temir o‘zak tadqiq qilinayotgan g‘altak ichiga kiritiladi. Bu hol uchun 6-punkt bo‘yicha amallarni bajaramiz. Ma’lumotlar 2-Jadvalga

kiritiladi.

Elektrotehnikada hisobotlarni tuzishda o‘lchov asboblarining pasporti bo‘yicha tavsiflari doim keltirilib turiladi.

2.1-Jadval

Tok qiymatlari	I, A	α, bo‘linma	$C_{\psi}=\frac{MI}{\alpha}$, Vb/bo‘l.	$C_{\psi o‘rt.}$, Vb/bo‘l.	Izoh
1					
2					

2.2-Jadval

Temir o‘zaksiz							Temir o‘zak bilan	
Eksperiment				Hisob-kitob			Eksperiment	
Nuqtalar	x, sm	α, bo‘linma	H_e, A/sm	$\cos\beta_1$	$\cos\beta_2$	H_r, A/sm	α, bo‘linma	H_e, A/sm
1								
2								
va h.k.								

Tadqiqot natijalarini qayta ishlash

Tadqiqotlar natijalari bo‘yicha temir o‘zaksiz va temir o‘zakli tadqiq qilinayotgan g‘altak o‘qi bo‘ylab magnit maydononing kuchlanagnligi quyidagi ifoda orqali hisob-kitob qilinadi:

$$H_e = \frac{C_{\psi ep}}{\mu_0 S_{o'zg} w_{o'zg}} \cdot \alpha , \qquad (2.1)$$

bu yerda: $C_{\psi o‘r.}$ G galvanometr doimiysining o‘rtacha qiymati;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}$ Gn/m – absolyut magnit kirituvchanlik;

$S_{o‘lch.}$ = 8,3 sm^2 – O‘lchov g‘altagi o‘rta o‘rami qamrab oladigan kesim;

$W_{o‘lch.}$= 150 – O‘lchov g‘altagi o‘ramasining o‘ramlar soni;

α – galvanometr otbrosi, bo‘linmalar.

Temir o‘zak sug‘urib olingan holat uchun o‘lchov g‘altagining Tadqiq qilinayotgan g‘altakka nisbatan siljish masofasi x ga bog‘liq bo‘lgan holda, magnit maydoni kuchlanganligini nazariy hisoblab

chiqish va $H_{h.k.} = f(x)$ bog‘liqlik grafigini chizib, tajriba natijasida olingan yuqoridagi grafikka o‘xshash $H_e = f(x)$ bog‘liqlikni taqqoslash kerak. Hisob-kitobni quyidagi ifoda orqali amalga oshiramiz:

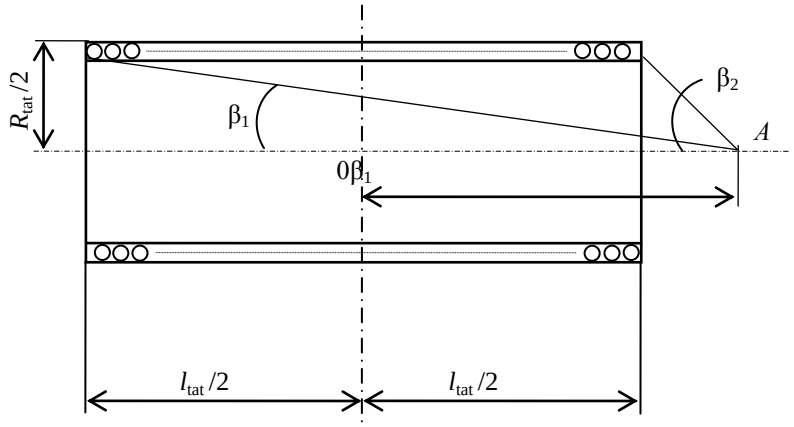
$$H_r = \frac{Iw_{tat}}{2l_{tat}} \cdot (\cos\beta_1 - \cos\beta_2), \qquad (2.2)$$

bu yerda: I-taqiq qilinayotgan g‘altak toki;
$w_{taqiq.}$=3500-taqiq qilinayotgan g‘altak o‘ramlar soni;
$l_{taqiq.}$= 47,7 sm- taqiq qilinayotgan g‘altak uzunligi;
β_1 va β_2-3-rasm qurilmasidan aniqlanadigan burchaklar.
β_1 va β_2 burchaklarning kosinuslari quyidagi ifodalarlan aniqlanadi:

$$\cos\beta_1 = \frac{x + \frac{l_{tat}}{2}}{\sqrt{R_{tat}^2 + (x + \frac{l_{tat}}{2})^2}};$$

$$\cos\beta_2 = \frac{x - \frac{l_{tat}}{2}}{\sqrt{R_{tat}^2 + (x + \frac{l_{tat}}{2})^2}},$$

bu yerda: x-A nuqtadan taqiq qilinayotgan g‘altakning o‘rtasi 0gacha bo‘lgan masofa;
$R_{taqiq.}$= 5,25 sm-taqiq qilinayotgan g‘altakning o‘rtacha radiusi.



2.3-rasm. $H_r = f(x)$ bog‘liqligini hisoblash uchun sxema.

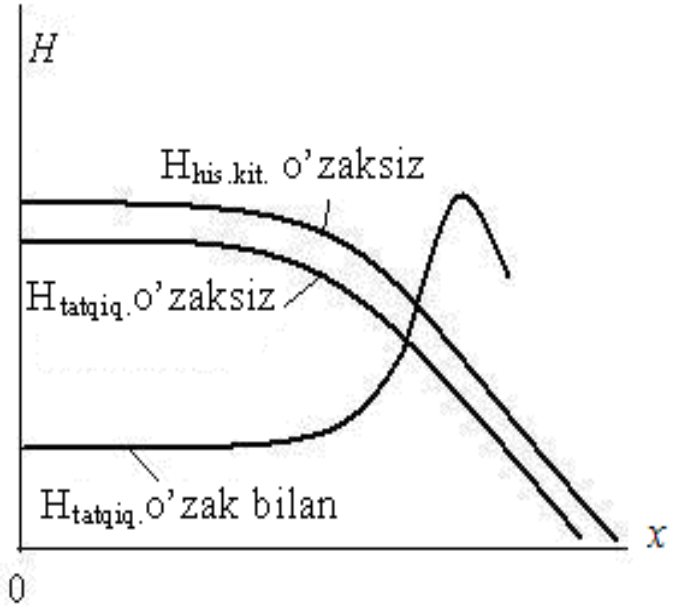
2.4-rasmda $H_{h.k.}=f(x)$ bog‘liqligi va $H_t=f(x)$ grafiklarining temir o‘zakning tadqiq qilinayotgan g‘altakdan olib qo‘yilgandagi umumiy ko‘rinishlari keltirilgan. Shu yerning o‘zida temir o‘zak kirib qo‘yilganda $H_t = f(x)$ grafigining bog‘liqligi keltirilgan.

O‘hshash grafiklar ushbu laboratoriya ishini rasmiylashtirishda ham chiqishi kerak.

Temir o‘zak chiqarib olinganda tadqiqot va hisob-kitob orqali olingan grafiklarni taqqoslashda ularning mos tushmasligini ko‘rsatadi. Ular orasidagi farqning paydo bo‘lishini o‘lchov jarayonidagi hatoliklar va (2) ifodani keltirib chiqarish jaryonidagi ba’zi (tahminlar) bilan izohlash mumkin, masalan real ko‘pqatlamli g‘altak bir ko‘pqatlamli bilan almashtirilgan va h k.z.

Qat’iy hisob-kitoblarda g‘altakning har bir qatlamidan kuchlanganlik har bir nuqtada alohida hisoblanib, olingan kuchlanganliklar qo‘shiladi.

Laboratoriya ishini bajarish jarayonida o‘lchamlar chegaralangan o‘lchov g‘altagida amalga oshiriladi, shu sababli g‘altak egallagan fazodagi magnit maydoni kuchlanganligining o‘rtacha qiymati o‘lchanishi mumkin. Bu qiymat, o‘lchov g‘altagining markazidagi magnit maydoni kuchlanganligidan bir oz farq qiladi.



2.4-rasm. Turli holatlardagi $H_{hk.} = f(x)$ grafiglarining taxminiy ko‘rinishlari.

2.4-rasmdagi grafiklardan ko‘rinib turibdiki, temir o‘zakni kiritganimizda uning ichida magnit maydoni kuchlanganligi kamayib

borsa, o‘zakdan tashqarida esa o‘zaksiz holdagi maydon kuchlanganligiga nisbatan oshidi.

Temir o‘zakda magnit induksiyasining kuch chiziqlari uning o‘qiga parallel yo‘nalgan deb tahmin qilsak, u holda, o‘zakning ichki qismida o‘lchangan maydon kuchlanganligi, bir paytda o‘zak metalidagi maydon kuchlanganligidir deb hulosa qilish mumkin. Haqiqatdan ha m turli magnit singdiruvchanlikka ega bo‘lgan ikki muhitning bo‘linish chegarasida $\vec{H}$ vektorining urinmali tashkil etuvchilari teng bo‘lishi kerak, lekin yuqoridagi tahminimizda bu tashkil etuvchilar yagonadirlar, chunki $\vec{H}$ vektorining o‘zi yuqoridagi tahminimizga ko‘ra o‘zakning ichki sirtiga urinmalidir.

Temir o‘zak yon tomonlari sirtlarida magnit maydoni kuchlanganligi sakrab o‘zgaradi va shu sababdan $\vec{B}$ magnit maydoni induksiyasi vektorining normal (perpedikulyar) tashkil etuvchilari teng bo‘lishi kerak. Haqiqatdan ham shunday bo‘lsa, magnit maydoni induksiyasi vektorining normal (perpedikulyar) tashkil etuvchilari yagonadirla, chunki $\vec{B}$ vektorining o‘zi o‘zak yon tomonlari sirtlariga perpendikulyardir.

Shu sababdan, temir o‘zakning yon tomonlari sirtlarida quyidagi μ $H_2 = \mu_0 H_1$, tenglik bajariladi, yoki $\frac{H_1}{H_2} = \frac{\mu}{\mu_0}$,

bu yerda: μ –temir o‘zakning magnit singdiruvchanligi;

H_1 va H_2 temir o‘zakning ichki qismida va undan tashqaridagi yon tomonlari sirtlarida magnit maydoni kuchlanganliklari.

Tadqiqot natijasida olingan $H_e = f(x)$ grafigida magnit maydoni kuchlanganligining sakrab o‘zgarmasligi o‘zakning ichki bo‘shlig‘ining diametri chekli qiymatga ega bo‘lganligi sababli magnit induksiyasining bir qismi o‘zakning chekkalarida uning ichki bo‘shlig‘idan tashqariga chiqishi, hamda o‘lchov g‘altagining cheklangan o‘lchamlari natijasida kuzatilmaydi.

Agar o‘zak cheksiz yupqa, o‘lchov g‘altagi esa cheksiz kichik o‘lchamga (ohirgi darajali holat) ega bo‘lganda, u holda keskin sakrashli magnit maydoni kuchlanganligining $H=f(x)$aniq egriligini olish mumkin.

Ilova 1

Ballistik usulda magnit maydoni oqimini o‘lchash

Biron bir elektr zanjiri ilashtirib olgan magnit maydoni kuchlanganligini ballistik usulda aniqlash, magnit maydoni oqimining

nolinchi miqdoridan ohirgi miqdorigacha, yoki ohirgi miqdoridan nolinchi miqdorigacha o‘zgarishida zanjirda oqib o‘tadigan elektr miqdori *q*ni ballistik galvanometr bilan o‘lchashdan iborat.

Magnit oqimining $\Delta\psi$ orttirmasi Δq qiymati bilan quyidagi, elektromagnit induksiyasi qonunini ifodalovchi munosabat quyidagi shakldagi yozuv bilan bog‘langan:

$$\Delta\psi = -R\,\Delta q,$$

bu yerda *R*-zanjirning elektr qarshiligi.

Oqimning nolinchi miqdoridan ma’lum bir so‘ngi ψ miqdorigacha oshganida $\psi=\Delta\psi$ga, oqimning ψ miqdoridan nolgacha kamayganida $\psi=-\Delta\psi$ga ega bo‘lamiz.

$\Delta\psi$ miqdorini yuqorida keltirilgan ifoda orqali hisoblashda qarshilik *R*ni va Δq qiymatini bilish talab etiladi. Δq qiymat α qiymati va galvanometra *G*ning ballistik doimiysi S_q bilan aniqlanadi.

Amaliyotda galvanometrni oqim bo‘yicha graduirovka qilish qulay.

Butun oqimning absolyut ortirmasi quyidagi ifodadan aniqlanadi

$$|\Delta\psi|=R\,\Delta q=R\,S_q\,\alpha = S_\psi\,\alpha,$$

bu yerda: S_q – zaryad bo‘yicha *G* galvanometrning ballistik doimiysi;

$S_\psi = R\,S_q$ – oqim bo‘yicha *G* galvanometrning ballistik doimiysi.

S_ψ doimiylik S_q o‘hshab *G* galvanometrning qarshiligidan bog‘liq bo‘lganligi sababli, har bir alohida holat uchun galvanometrni graduirovka qilishga majbur qiladi (qilishni talab etadi).

O‘lchash vaqtini kamaytirish maqsadida galvanometr zanjirining qarshiligini uning kritik qarshiligiga tahminan teng qilib olish kerak.

S_ψ doimiylikni aniqlash uchun ballistik galvanometrni graduirovka 2-rasmdagi shema asosida "*Ishni bajarish bo‘yicha ko‘rsatmalar va o‘lchovlar ketma-ketligi*" bo‘limida bayon etilgandek amalga oshiriladi.

S_ψ oqim bo‘yicha galvanometrning doimiysi, Vb\bo‘l., quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$C_\psi=\frac{MI}{\alpha},$$

bu yerda: *M*, Gn – namunaviy g‘altakning o‘zaro induktivligi (0,01

yoki 0,001 Gn olinadi);

I, A – birlamchi zanjirdagi tok qiymati;

α, galvanometr shkalasi bo‘yicha bo‘linma.

Ilova 2

Integrallashning grafik usuli

Silindrik g‘altakning o‘qi bo‘ylab magnit maydoni kuchlanganligi taqsimotining $H = f(x)$ eksperimental egriligi ma’lum bo‘lsin.

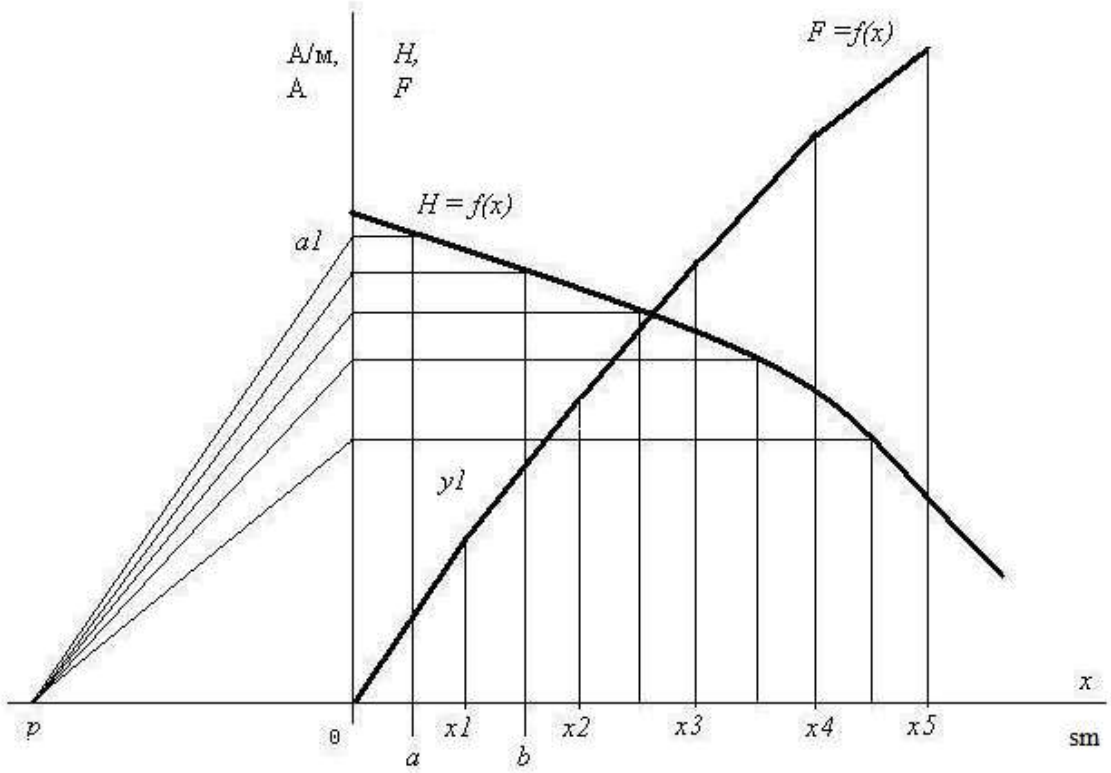
G‘altakning ichki bo‘shlig‘ida mavjud bo‘lgan magnit maydoni yaratadigan M.YU.K. taqsimlanish qonuni $F = f(x)$ni topish kerak.

Magnit yurituvchi kuch M.YU.K. $F = Iw$ va magnit maydoni kuchlanganligi H o‘zaro quyidagi munosobat bilan bog‘langan

$$F = \oint \vec{H} d\vec{l} .$$

Ushbu masalaning yechimini $H=f(x)$ egriligini grafikli integrallash usuli bilan amalga oshirish qulaydir

Grafikni qurish 5-rasmda ko‘rsatilgan.



2.5-rasm. $H = f(x)$ egriligini grafikli integrallash.

Grafikli integrallash quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

1. H o‘qini $n$ta teng qismga bo‘lamiz (2.5-rasmda n = 5 olingan). 0, x_1; x_1, x_2; va h.k; uchastkalarni olamiz.

2. Har bir uchastkani ikkiga bo‘lamiz. Har bir bo‘lakning o‘rtasidan $H = f(x)$ egriligi bilan kesilgangancha ordinata tushiramiz;

3. 0, x_1 uchastkaning o‘rtasi a nuqtadir. a nuqtadan tushirilgan ordinata $H = f(x)$ egrilikka yetib uning kesishgan nuqtasi y o‘qiga proeksiyalanadi va a_1 nuqta olinadi.

Xning manfiy yarimo‘qida ihtiyoriy p nuqtani tanlaymiz;

5. p va a_1 nuqtalarni p, a_1 to‘g‘ri chizig‘i bilan birlashtiramiz;

6. p, a_1 to‘g‘ri chizig‘ini o‘z o‘ziga parallel ko‘chirib, p nuqtani koordinata boshi bilan birlashtiramiz;

7. Ko‘chirilgan p, a_1 to‘g‘ri chiziq x_1 nuqtasidan chiqarilgan ordinata bilan kesishadi;

8. Bu ikki to‘g‘ri chiziqlarning kesishishi, $F = f(x)$ egrilikka tegishli bo‘lgan y_1 nuqtani beradi;

9. 3 – 8 punktlarda keltirilgan amallarni x_1, x_2 uchastka uchun takrorlaymiz: x_1, x_2 uchastka o‘rtasini b nuqta deb belgilaymiz; b_1 nuqtani (rasmda belgilanmagan) va mos p, b_1 to‘g‘ri chizig‘ini olamiz. P, b_1 to‘g‘ri chizig‘ini o‘z o‘ziga parallel ko‘chiramiz; x_1 i x_2 nuqtalaridan chiqarilgan ordinatalar oralig‘idagi joylashgan to‘g‘ri chiziqning bu uchastkasi $F = f(x)$ egriligiga tegishli;

10. Bayon etilgan amallarni barcha n uchastkalar uchun x o‘qida takrorlaymiz va $F = f(x)$ siniq chizig‘ini olamiz.

X_5 nuqta absissa va ordinatasi bilan chegaralangan $F = f(x)$ egrilik shaklining yuzasi quyidagi integralga tahminan teng:

$$\int_0^{x_5} H dx .$$

N uchastkalar soni qancha ko‘p bo‘lsa va ular qancha tor bo‘lsa, grafikli integrallashning natijasi shuncha aniqroq bo‘ladi.

F o‘qining masshtabini quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

$$m_F = m_H \cdot m_x \cdot 0p.$$

N uchastkalar soni qancha ko‘p bo‘lsa va ular qancha tor bo‘lsa, grafikli integrallashning natijasi shuncha aniqroq bo‘ladi.

Nazorat savollari

1. Magnit maydoni kuchlanganligi, magnit induksiyasi, moddaning magnitlanishi, magnit oqimi, skalyar magnit potensiali, magnit kuchlanishi, magnitlash kuchi kattaliklarga izoh bering.
2. Magnit induksiyasi chiziqlarining uzluksizlik prinsiplari.
3. Elektromagnit induksiyasi qonuni.
4. To‘la tok qonuni.
5. Turli magnit singdiruvchanlikka ega bo‘lgan ikki muhit bo‘linish yuzasida chegaraviy shartlar.
6. Bio-Savar-Laplas qonuni.

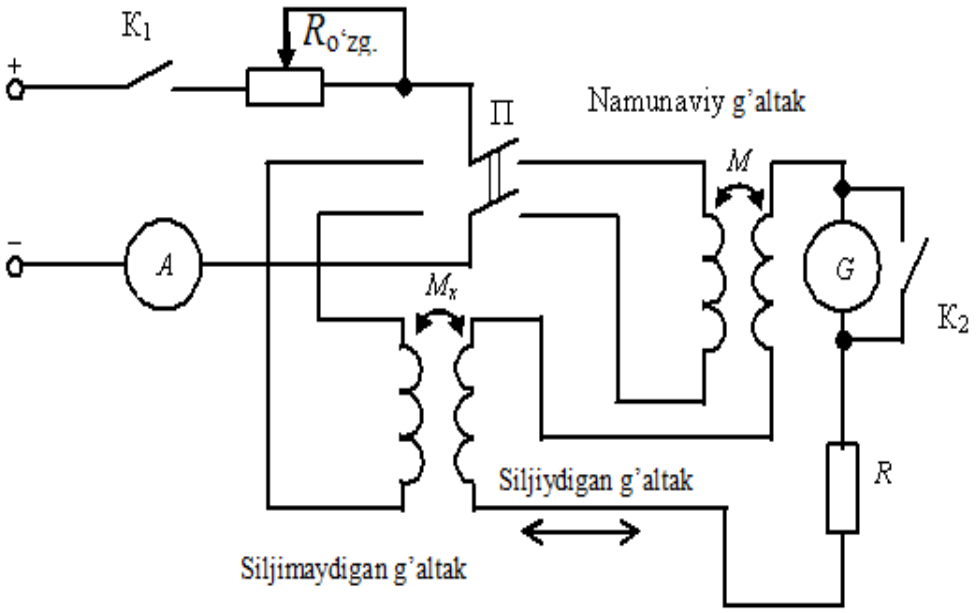
3-laboratoriya ishi. Aylanasimon g‘altaklarning o‘zaro induktivligini tadqiq qilish

Ishning maqsadi

Tajriba va hisob-kitob usuli bilan ikkita aylanasimon induktiv g‘altaklarning o‘zaro *M* induktivligi ular orasidagi *h* masofadan bog‘liqligini olish.

Ishni bajarish tartibi

1. 3.1-rasmda berilgan elektr shemani yig‘ing.
2. Elektr shemani o‘qituvchi tekshirgandan keyin tadqiq qilinayotgan zanjirni energiya manbaiga ulang.
3. Namunali g‘altak yordamida *G* galvanometrning doimiysi S_Ψ ni toping.
4. Ballistik usul bilan g‘altaklarning o‘zaro induktivlik *M* ni ular orasidagi masofa *h* dan bog‘liqligini o‘lchang.
5. Tadqiqot va hisob kitob ma’lumotlari asosida g‘altaklarning o‘zaro induktivligi *M* ning ular orasidagi masofa *h* dan bog‘liqlik egri chiziqlarini quring.

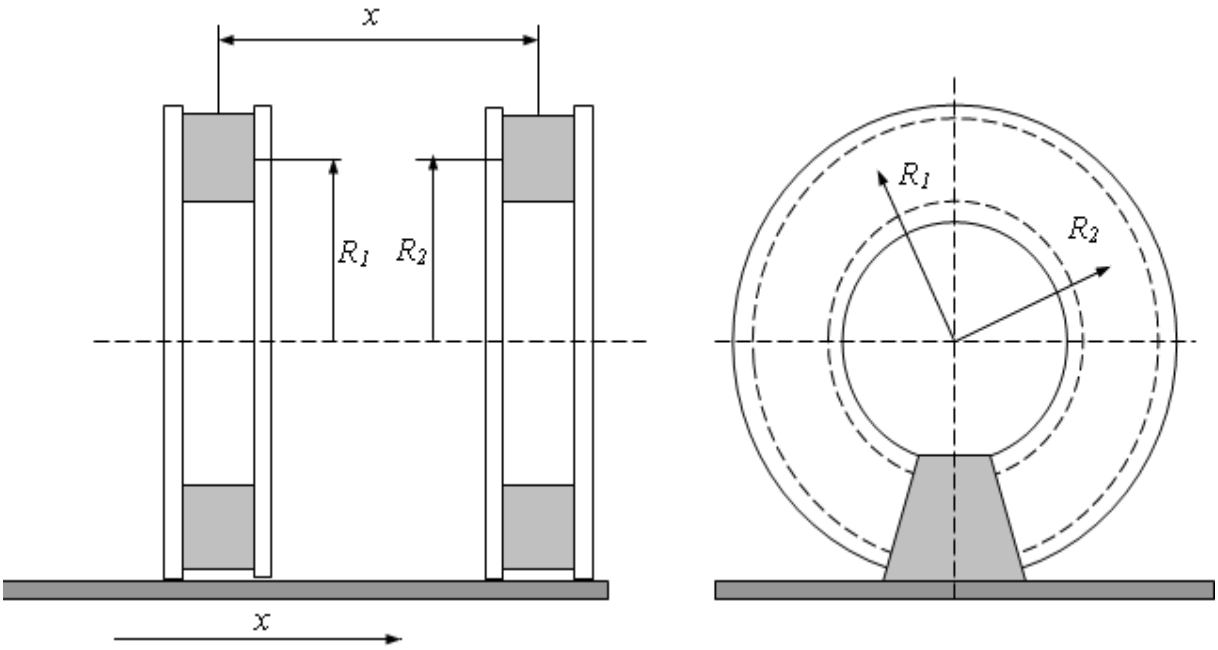


3.1-rasm. Aylanasimon g‘altaklarning o‘zaro induktivligini tadqiq qilishning elektr sxemasi.

Laboratoriya stendining tavsifi

Qurilma ikkita aylanasimon g‘altaklardan tuzilgan bo‘lib, dielektrik yoki noferromagnit materialdan tayorlangan ustunlarga qotirilgan. O‘ramlarning markaziy chiziqlari va o‘ramlarning kesimlari markazidan o‘tadigan chiziqlar ikkita parallel tekisliklarda yotishi kerak (3.2-rasm).

G‘altaklardan biri siljiydigan bo‘lib va yo‘naltiruvchi qurilma bo‘ylab Shunday siljishi mumkinki, yuqorida aytilgan g‘altaklar tekisliklari orasidagi masofa *h* o‘zgarsa ham, g‘altaklarning fazodagi o‘zaro joylashishi o‘zgarmas qoladi. Qurilma (3.2-rasm) poydevoriga *h* masofani hisoblash uchun shkalalar qotirilgan. Qo‘zg‘almas g‘altak o‘zgartiruvchi $R_{o'zq.}$ reostat, *A* ampermetr va P o‘chirib-yoqadigan qurilma (rubilnik) orqali energiya manbaiga (o‘zgarmas tok manbaiga) ulanadi. Ikkinchi g‘altak (Siljiydigan g‘altak) *G* ballistik galvanometr zanjiriga ulanadi. Bundan tashqari *G* galvanometr zanjiriga uni graduirovka qilish uchun namunaviy g‘altakning ikkilamchi o‘rami, *G* galvanometr zanjiri qarshiligini tanlash uchun *R* qarshiliklar magazini (*G* galvanometr zanjirining qarshiligi uning kritik qarshiligidan bir oz ko‘proq bo‘lishi kerak) ham ulangan.



3.2-rasm. G‘altaklarning o‘zaro joylashishi: a)-yon tomondan ko‘rinishi; b) old tomondan ko‘rinishi.

Ishni bajarish bo‘yicha ko‘rsatmalar

1. Birlamchi zanjirda tokni o‘zgartirish vaqtida galvanometr zanjirida tok oqishini oldini olish maqsadida K_2 kalit bilan *G* galvanometr zanjirini shuntlash kerak.

2. Kalit K_1ni ulab, P o‘chirib-yoqadigan qurilma (rubilnik) orqali namunali g‘altak zanjirini ulash kerak va $R_{o‘zq.}$ reostat yordamida o‘qituvchi belgilagan tok qiymatini o‘rnating (K_2 bekik (berk) bo‘lganda).

3. Namunali g‘altak zanjirini ajrating (uzing), va keyin *G* galvanometr zanjirini shuntdan oching (K_2 kalitni ajrating).

4. Namunali g‘altak zanjirini yana ulang va *G* galvanometr strelkasining otbrosi “α” qiymatin yozing. Otbros “α” qiymati 2-punkt bo‘yicha o‘rnatilgan tok qiymatiga mos keladi.

O‘lchovlarni ikki marta tokning ikki qiymati uchun amalga oshiring va o‘lchangan “α” qiymatlarini 3.1-Jadvalga kiriting.

Ilova: har bir o‘lchovdan keyin *G* galvanometrning zanjiri K_2 kalit bilan shuntlanadi (qisqa tutashtiriladi).

G galvanometrning C_Ψ ballistik doimiyligining qiymati, galvanometr shkalasining bir bo‘linmasi magnit oqimi birliklarida ifodalangan bo‘ltb, quyidagi ifoda orqali aniqlanadi

$$C_\psi = \frac{\mathrm{MI}}{\alpha},$$

$C_{\psi\ o‘r.}$ doimiylikning o‘rtacha qiymati ikkita o‘lchov natijasi bo‘yicha aniqlanadi.

3.1-Jadval

№№ t/r	*I*	A	C_ψ	$C_{\psi\ o‘rt.}$
	A	Bo‘linma	Vb/bo‘l.	Vb/bo‘l.
1				
2				

5. P o‘chirib-yoqadigan qurilma (rubilnik) orqali harakatlanuvchi g‘altak zanjirini yoqing (K_2 kalit ulanganda) va tokning berilgan qiymatini o‘rnating.

6. *G* galvanometr strelkasining otbrosi “α” qiymatini Qo‘zg‘aluvchan

va Qo‘zg‘almas g‘altaklarning turli *h* holatlari uchun yozing va o‘lchangan qiymatlarni 3.2-Jadvalga kiriting.

7. Hisobotda qo‘llanilgan elektr o‘lchov asboblarning pasport ma’lumotlarini keltiring (ko‘rsating).

3.2-Jadval

№№ t/r	*h*	α	$M_{eksp.}$	$M_{his.kitob}$
	sm	bo‘linmalar	Gn	Gn
1				
2				
3				

Eksperiment natijalarini qayta ishlash

Eksperiment natijalaridan ikkita aylanasimon g‘altaklarning orasidagi masofa *h* bog‘liq holda o‘zaro induktivligi quyidagi ifodadan hisoblab topiladi:

$$M_{эксп} = C_{\psi ср}\frac{\alpha}{I}, \quad C_{\psi\ o‘rt}$$

bu yerda: $C_{\psi\ o‘rt.}$ – galvanometr doimiysining o‘rtacha qiymati,

I – zanjir toki,

α – galvanometr strelkasining otbrosi qiymati.

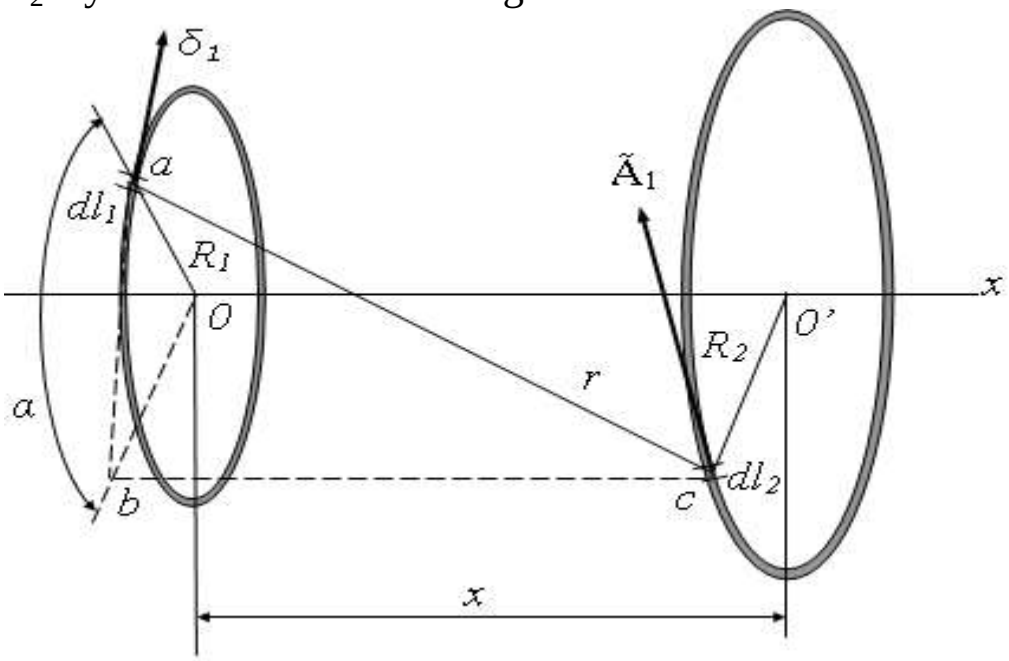
Agar qo‘zg‘almas g‘altak konturidan I_1 tok o‘tganda ikkinchi kontur ilashtiradigan Ψ_{2M} oqimilashuv qiymati aniqlansa, unda *M* o‘zaro induktivlikning izlangan qiymati quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$M_{расч} = \frac{\Psi_{2M}}{I_1} \quad M_{his.kit.}$$

M o‘zaro induktivlik uchun ifodalarni topamiz. G‘altaklar ko‘ndalang kesimlarining chiziqli o‘lchamlari g‘altaklar radiuslaridan kichikligini sababli, ularni g‘altaklar ko‘ndalang kesimlaridan o‘tuvchi aylanasimon konturlar bilan almashtiramiz. Natijaviy ifodada g‘altaklarning o‘ramlar soni w_1 va w_2 larni inobatga olish kerak.

Soddalashtirish uchun har bir aylanasimon kontur birta o‘ramdan iborat (ifodalaydi) deb tahmin qilamiz.

R_1 va R_2 aylanasimon konturlarning radiuslari bo‘lsin.



3.3-rasm. Aylanasimon g‘altaklarning orasidagi masofaga bog‘liq holda o‘zaro induktivligini aniqlash sxemasi.

Birinchi konturdan i_1 tok o‘tganda ikkinchi kontur ilashtiradigan Ψ_{2M} oqimilashuv qiymatini hisoblaymiz.

Ikkinchi kontur o‘qidagi ixtiyoriy bir nuqtasida $\vec{A}_2$ vektorli potensial quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

$$\vec{A}_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{V_1} \frac{\vec{\delta}_1 dV_1}{r},$$

bu yerda: $\vec{\delta}_1$- birinchi konturning dV_1 hajm elementi markazidagi tok vektorining zichligi;

V_1– birinchi kontur hajmi;

r – dV_1 dan $\vec{A}_2$ aniqlanadigan nuqtagacha masofa;

μ_0 – konturlarni qamrab olgan muhitning magnit singdiruvchanligi.

Bu muhitda ferromagnit jismlar mavjud emas deb tahmin qilinadi.

Birinchi kontur ko‘ndalang kesimining chiziqli o‘lchamlari s_1 shu konturning R_1 radiusidan sezilarli kichik bo‘lganligi sababli, bu konturning hajmini faqat uzunlik bo‘yicha dl_1 cheksiz kichik bo‘laklarga bo‘lish mumkin va dV_1ni quyidagicha belgilash mumkin:

$$dV_1 = s_1 dl_1 .$$

Bu holda quyidagilarga ega bo‘lamiz:

$$\vec{\delta}_1 dV_1 = \delta_1 s_1 d\vec{l}_1 = i_1 d\vec{l}_1$$

va

$$\vec{A}_2 = \frac{\mu_0 i_1}{4\pi} \oint_{l_1} \frac{d\vec{l}_1}{r},$$

bunda integrallash birinchi konturning to‘liq bo‘yi bo‘ylab amalga oshiriladi.

Ox o‘qiga nisbatan simmetriyali bo‘lganligi sababli vektorili potensialning chiziqlari, tok konturlari tekisliklariga parallel yotgan aylanalar va *Ox* o‘qida markazlarga ega bo‘lishlari kerak. Vektorli potensial bu aylanalarga barcha nuqtalarida urinma bo‘ylab yo‘nalgan, ya’ni yagona tashkil etuvchisi $A_2 = A_{2\alpha}$ ga ega,

$$A_2 = A_{2\alpha} = \frac{\mu_0 i_1}{4\pi} \oint_{l_1} \frac{\cos\alpha \, dl_1}{r}.$$

$$r = \sqrt{x^2 + R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos\alpha}$$

va

$$dl_1 = R_1 d\alpha,$$

bo‘lgani sababli, unda

$$A_2 = \frac{\mu_0 i_1 R_1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos\alpha \, d\alpha}{\sqrt{x^2 + R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos\alpha}}.$$

Bu integral jadvalli elliptik integrallarga keltiriladi.

Agar $\alpha = \pi - 2\beta$ va $d\alpha = -2\beta$ deb tahmin qilsak, unda

$$\frac{4R_1R_2}{x^2 + (R_1 + R_2)^2} = k^2.$$

k sonni quyidagi $0 \le k \le 1$ oraliqlarda yotadi.

$k = 1$ qiymat $x = 0$ va $R_1 = R_2$ bo‘lganda, ya’ni konturlar birlashganda hosil bo‘ladi. Bu holda A_2 cheksizlikka aylanadi. Ammo amalda ikki konturning to‘liq birlashishi mumkin emas, chunki haqiqiy g‘altaklarning ko‘ndalang kesimi chegaralangan qiymatlarga ega. Shu munosabat bilan quyidagiga ega bo‘lamiz

$$\cos\alpha = -\cos 2\beta = 2\sin^2\beta - 1;$$

$$r = \sqrt{x^2 + R_1^2 + R_2^2 - 4R_1R_2\sin^2\beta + 2R_1R_2} = \frac{2\sqrt{R_1R_2}}{k}\sqrt{1 - k^2\sin^2\beta}.$$

Shu sababli,

$$A_2 = -\frac{\mu_0 i_1}{8\pi}\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}\ k\int_{\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\pi}{2}} \frac{2\left(2\sin^2\beta - 1\right)d\beta}{\sqrt{1 - k^2\sin^3\beta}} =$$

$$= \frac{\mu_0 i_1}{2\pi}\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}\ k\int_{0}^{-\frac{\pi}{2}} \frac{2\sin^2\beta - 1}{\sqrt{1 - k^2\sin^2\beta}}\,d\beta.$$

$$\frac{2\sin^2\beta - 1}{\sqrt{1 - k^2\sin^2\beta}} = \frac{1}{k^2}\left(\frac{2 - k^2}{\sqrt{1 - k^2\sin^2\beta}} - 2\sqrt{1 - k^2\sin^2\beta}\right),$$

tengligidan foydalanib

$$A_2 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi}\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}\left[\left(\frac{2}{k} - k\right)K - \frac{2}{k}E\right],$$

ifodani yozish mumkin, bu yerda:

$$K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\beta}{\sqrt{1 - k^2\sin^2\beta}}, \qquad E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2\sin^2\beta}\ d\beta.$$

$$\frac{2\sin^2\beta - 1}{\sqrt{1 - k^2\sin^2\beta}} = \frac{1}{k^2}\left(\frac{2 - k^2}{\sqrt{1 - k^2\sin^2\beta}} - 2\sqrt{1 - k^2\sin^2\beta}\right),$$

K va *E* qiymatlar birinchi va ikkinchi turdagi to‘la ellipsik integrallarni namoyon etadi. Bu qiymatlar *k* modulining funksiyalari hisoblanadi. Vektorli potensial uchun natijaviy ifodani quyidagicha namoyon qilish mumkin:

$$A_2 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi}\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}\,f(k),$$

bu yerda *f* (*k*)-faqat *k* modulining funksiyasidir:

$$f(k) = \left(\frac{2}{k} - k\right)K - \frac{2}{k}E.$$

3.4-rasmda *K* va *E* qiymatlarning *k* modulning kvadratidan, 3.5 va 3.6-rasmlarda esa *f*(*k*) qiymat k^2dan funksiyasi sifatida bog‘liqlari keltirilgan. k^2 qiymatidan bog‘liq holda 3.5-rasmdagi u yoki bu egrilikdan, yuqori darajada aniqlikka erishish uchun esa 6-rasmdan foydalanish kerak.

Ikkinchi kontur ilashtiradigan Φ_{2M} o‘zaro induktivlik oqimini, shu kontur o‘qi bo‘ylab vektorli potensialni integrallash yo‘li bilan olish mumkin

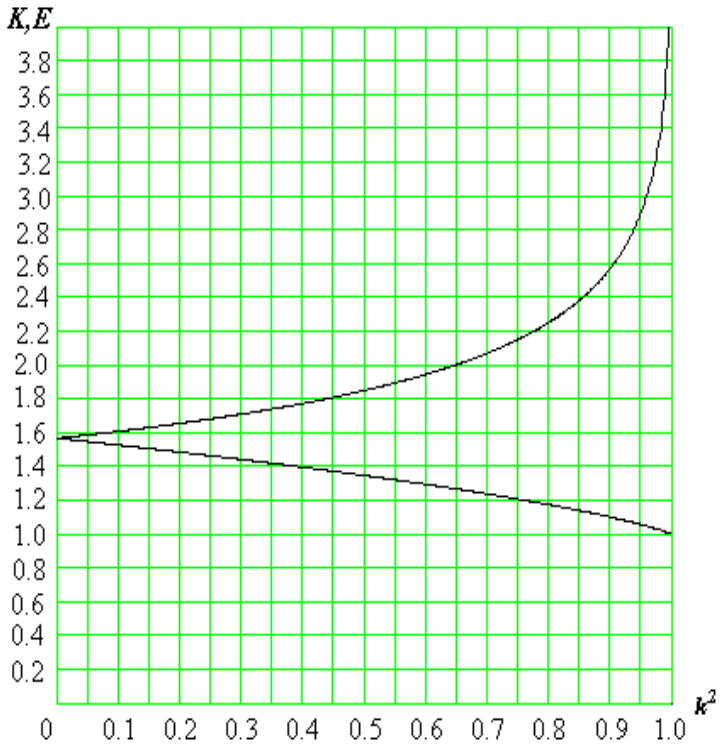
$$\Phi_{2M} = \oint_{l_2} \vec{A}_2 d\vec{l}_2,$$

$\vec{A}_2$ vektor hamma yerda ikkinchi konturga urinma bo‘lganligi va shu kontur bo‘ylab doimiy qiymatga ega ekanlinligi tufayli,

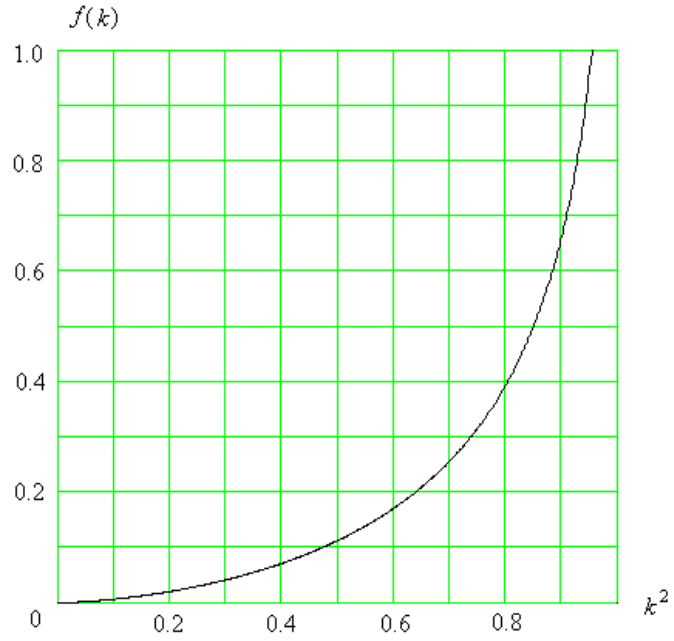
$$\Phi_{2M} = \oint_{l_2} \vec{A}_2 d\vec{l}_2 = \oint_{l_2} A_2\, dl_2 = A_2 \int_{l_2} dl_2 = A_2 2\pi R_2.$$

$\vec{A}_2$ uchun ifodadan foydalanib quyidagini olamiz

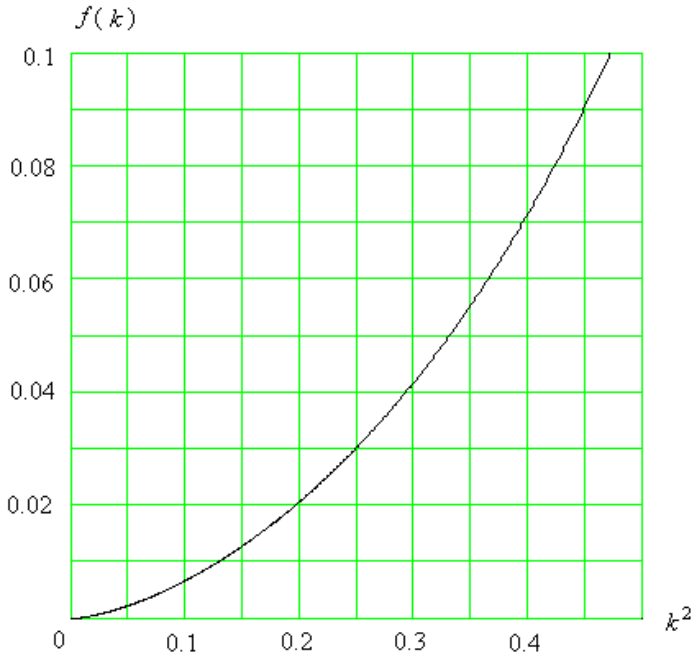
$$\Phi_{2M} = \mu_0 i_1 \sqrt{R_1 R_2}\, f(k).$$



3.4-rasm. *K* va *E* qiymatlarning *k* modulining kvadratidan bog‘liqligi.



3.5-rasm. $f(k)$ qiymatning k^2dan bog‘liqlik funksiyasi.



3.6-rasm. $f(k)$ qiymatning k^2dan bog‘liqlik funksiyasi.

Amalda biz bir o‘ramli konturga emas, balki w_1 i w_2 son o‘rami bo‘lgan g‘altaklarga egamiz. Birinchi g‘altak w_1 o‘ramdan tuzilgan bo‘lib, har biridan i_1 tokining oqib o‘tishi, bitta o‘ram maydoniga nisbatan maydonni w_1 marta oshishiga olib keladi. Shu sababdan ikkinchi g‘altakning bitta o‘rami ilashtiradigan Φ_{2M} o‘zaro induktivlik oqimi quyidagiga teng bo‘ladi

$$\Phi_{2M} = \mu_0 \, i_1 w_1 \sqrt{R_1 R_2} \; f(k).$$

Ikkinchi g‘altakning barcha w_2 o‘ramlarining to‘la oqimilashtirish sonlari quyidagiga teng

$$\Psi_{2M} = \Phi_{2M} w_2 = \mu_0 i_1 w_1 w_2 \sqrt{R_1 R_2}\, f(k).$$

Shunday qilib, izlanayotgan o‘zaro induktivlik quyidagi:

$$M = \frac{\Psi_{2M}}{i_1} = \mu_0 w_1 w_2 \sqrt{R_1 R_2}\, f(k). \qquad (3.1)$$

ifoda bilan tavsiflanadi.

(3.1) ifodadan tadqiqot natijalari olingan huddi shu intervalida yotuvchi *h*ning bir necha qiymatlari uchun o‘zaro indutivlik *M* hisoblanadi. Keyin hisob-kitoblar asosida *M = f(h)* egriliklari chiziladi. Bu egriliklarga o‘lchov natijasida olingan nuqtalar qo‘yilib, ulardan tadqiqot egriliklari quriladi.

Nazorat savollari

1. Vektorli magnit potensialga va magnit maydonining skalyar potensialiga tushuntirish (izoh) bering.
2. Integrallash konturi bilan chegaralangan, ma’lum bir tekislikdan sizib o‘tuvchi magnit oqimi va vektorli potensial orasidagi bog‘liqlikni tuShuntirib bering.
3. Ko‘pqatlamli g‘altaklarning o‘zaro induktivligini raqamli hisoblashning oddiy algoritmi qanday?
4. Elementar n-o‘ramli g‘altakning induktivligi taqriban raqamli hisoblash ifodasi nechta yig‘indidan tashkil topadi?
5. Asoslari dielektrik yo’ki o‘tkazuvchan nomagnit materialdan tashkil topgan g‘altaklarning o‘zaro induktivlik qanday o‘zgaradi?
6. Tajriba sharoitida o‘zaro induktivlik g‘altak toki chastotasidan bog‘liqmi?
7. Berk o‘tkazuvchan ekranga joylashtirilgan ikkita g‘altaklarning hususiy va o‘zaro induktivligi qanday o‘zgaradi?
8. Bu qiymatlar tok chastotasidan bog‘liq bo‘ladimi?
9. O‘zaro induktiv bog‘langan g‘altaklarning oraliqlariga (oynasiga) ferromagnit yo’ki o‘tkazuvchan nomagnit tayyoqcha (sterjen) o‘rnatilsa ularning o‘zaro induktivligi qanday o‘zgaradi?

4 laboratoriya ishi. O‘tkazuvchan list toki maydoni orqali elektr mashinasinig magnit maydonini modellashtirish

Ishdan maqsad:

1. O‘tkazuvchanlik muhitida o‘zgarmas tok elektr maydoni va elektr toklari mavjud bo‘lmagan hududlardagi (sohalarda) magnit maydoni manzaralari orsidagi analogiyalarini o‘rganish.

2. Maydon manzarasini qura bilish amaliy ko‘nikmalariga ega bo‘lish. Laboratoriya ishida maydon manzarasini grafikli qurish tartiblari asosida elektr mashinasi qutblari oldida o‘zgarmas potensial chiziqlari va maydon kuchlanganligini qurish masalalari hal etiladi.

Ilova: ushbu ishda magnit maydoni yassi parallel deb hisoblanadi.

Ishni bajarish tartibi

1. 1-rasmga mos shemani yig‘ing‘ Modelni elektr manbaiga ulang va ko‘chiriladigan tokning kerakli taqsimotini barpo qiling:

a) tokning bir tekis taqsimotida (*ab* liniyaga ulangan ampermetrlarning ko‘rsatgichlari bir xil);

b) tokning notekis taqsimotida (*ab* liniyaga ulangan ampermetrlarning ko‘rsatgichlari har xil).

2. Listga berilgan kuchlanishni va list orqali oqib o‘tayotgan umumiy tokni o‘lchang. Model elektrodlari orasidagi elektr qarshilikni hisoblang.

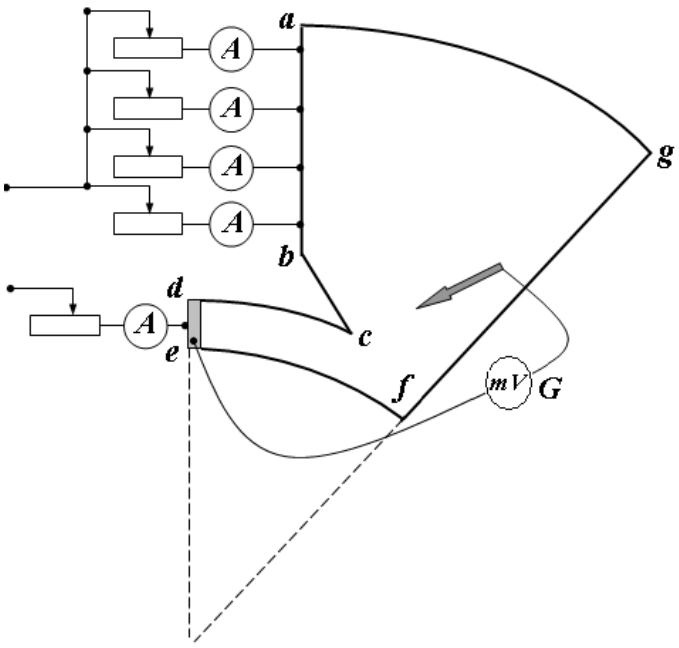
3. 1-punktning a) va b) holatlari uchun temir listda, bir chiziqdan ikkinchisiga o‘tishda $\Delta\varphi$=const saqlab, elektr potensialining teng chiziqlarini chizing.

4. Metall listda chizilgan elektr potensialining teng chiziqlarini huddi Shunday shaklga ega bo‘lgan qog‘oz kalka varog‘iga ko‘chiring‘ Masshtabni 1:1 tanlash tavsiya etiladi.

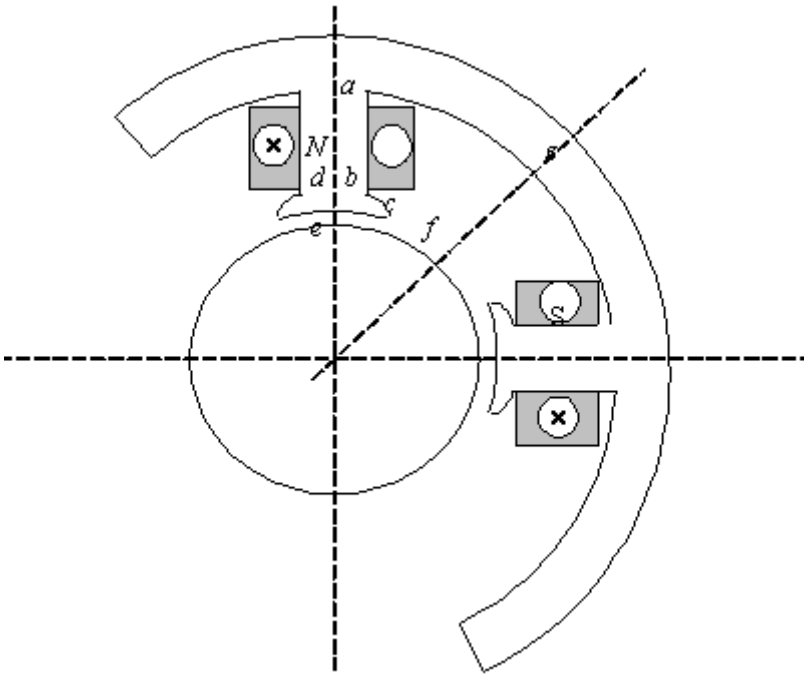
Qurilma tavsiloti

Qurilma shakldor (murakkab shaklli) temir listdan iborat (4.1-rasm).

Listning tashqi ko‘rinishi elektr mashinasining o‘qiga perpendikulyar bo‘lgan kesimida, uning qismlari (polyuslararo fazo) orasidagi fazo konturi harakteriga ega. Poluslararo fazo 4.2-rasmda ko‘rsatilgan.



4.1-rasm. Murakkab shaklli temir listdan iborat qurilma sxemasi.



4.2-rasm. Poluslararo fazoning ko‘rinishi.

4.1-rasmdagi *abcd* liniya polyus shaklini namoish etadi; *de* liniya polyus o‘rtasi (orasi) tagidagi havo tirqishini (mashina qismlari orasidagi tor tirqish) kesib o‘tadi; *ef* liniya yakor chegarasini ifodalaydi; *fg* liniya polyuslararo fazoning o‘rtasidan (orasidan) o‘tadi; *ga* bo‘yinturuq (sirtmoq) chegarasini ifodalaydi.

Tadqiq qilinayotgan temir listga uning *ab* liniyasi bo‘ylab

kavsharlangan vazmin (yirik) latun brusok orqali elektr toki yetkiziladi. Brusok materialining solishtirma o‘tkazuvchanligi, temir list materiali o‘tkazuvchanligidan Yuqori bo‘lganligi sababli, brusokdagi kuchlanish tuShuvini inobatga olmasa ham bo‘ladi va *de* liniyani teng elektr potensiallar liniyasi deb qabul qilsa bo‘ladi. *Dcb* liniya o‘tkazuvchan list chegarasi sifatida, tok liniyasi hisoblanadi va huddi shunday *efga* ham tok liniyasidir. *dcb* va *efga* liniyalari orasida listdan butun (hamma, barcha) tok oqib o‘tadi. *ab* liniya bo‘ylab listga kavsharlangan qisqichli sim orqali tok ajratib olinadi. Reostatlar yordamida simlar orasidagi tokni, ya’ni *ab* liniya bo‘ylab uning taqsimotini o‘zgartirish mumkin. Umumiy zanjirga listdan oqib o‘tadigan butun tokni doimiy saqlab turish uchun reostat ulangan. Listdan tok oqib o‘tayotganda uning sirtida teng potensiallar liniyasini topish uchun, *G* galvanometr qo‘llaniladi. Shupga *G* galvanometrning qisqichlaridan biri ulangan. *G* galvanometrning boshqa qisqichi *de* liniya bo‘ylab kavsharlangan latun brusokning mahsus qiqsqichiga ulangan.

Ilova: *G* galvanometr bilan ketma-ket uning kritik R_{kr} qarshiligiga teng yoki yaqin bo‘lgan *R* qarshilikli reostatni ulash tavsiya etiladi.

Ish bo‘yicha ko‘rsatmalar

Ushbu ishda magnit maydonini modellashtirish uchun shunday fakt asos qilinganki, bunda doimiy toklar magnit maydoni va elektr maydoni o‘tkazuvchanlik muhitida bir xil tenglamalar bilan tavsiflanadi. Shu sababdan, agar geometrik shakllar bir xil bo‘lsa, magnit singdiruvchanlik μ ning va solishtirma elektr o‘tkazuvchanlik γ ning fazoda taqsimoti va ushbu masalalarda bir biriga mos bo‘lsa, u holda maydon manzaralari ham o‘hshash bo‘ladi.

Yassiparalel magnit maydonining skalyar magnit U_M potensiali Laplas

$$\frac{\partial^2 U_M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_M}{\partial y^2} = 0$$

tenglamasiga, vektorli magnit **A** potensial esa-

$$\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} = -\mu\delta ,$$

tenglamaga bo‘ysinadi; bu yerda δ - tok zichligi.

Bu tenglamalarni elektr potensiali uchun tuzilgan

$$\frac{\partial^2 U_M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_M}{\partial y^2} = 0$$

tenglamasi bilan taqqoslash,

bunda *b*-o‘tkazuvchanlik qatlamining qalinligi;

$\frac{\delta}{b} = p$ - o‘tkazuvchanlik muhitidagi elektrodga yetkaziladigan hajmiy tok zichligini belgilaydigan nisbat, shuni ko‘rsatadiki, ushbu muhitidagi elektr potensiali ham skalyar va ham vektorli magnit potensialiga o‘hshashdir.

Shu sababdan, magnit maydonini modellashtirishda, ikkita tur modelni qurish mumkin: ya’ni, skalyar yoki vektor magnit potensiali asosida.

Skalyar magnit maydonini modellashtirishda U_M=const chiziqlarga modelda U_e=const chiziqlari, magnit maydoni kuchlanganligi chiziqlariga-modelda elektr maydoni kuchlanganligi (tok chiziqlari) mos keladi. Bu holda, elektrostatik maydonini o‘tkazuvchanlik muhitidagi tok maydoni bilan modellashtirish holatiga o‘hshash, chiziqlarning huddi shunday mutanosibligi mavjud bo‘ladi. Agar biron bir chiziqda, ayrim holdagi hudud chegarasida, skalyar magnit potensialining taqsimoti ma’lum bo‘lsa, u holda o‘tkazuvchanlik muhitining o‘hshash chegarasida elektr potensialining aynan shunday taqsimoti berilgan bo‘lishi kerak Biron bir ma’lum chiziq yoki hudud chegarasida magnit maydonining taqsimotining unga normal tashkil etuvchisining taqsimoti

$$H_n = -\frac{\partial U_M}{\partial n},$$

ma’lum bo‘lsa, o‘tkazuvchanlik muhitining mos keladigan chegarasida elektr maydoni kuchlanganligining

$$E_n = -\frac{\partial U}{\partial n}$$

huddi shunday taqsimoti berilishi kerak.

$$E_n = -\frac{\partial U}{\partial n} = 0$$

bo‘lgan holda, bu chiziq modelda tok chizig‘ini ko‘rsatadi (bildiradi).

Vektorli magnit potensialini modellashtirishda *A* = const chiziqlariga (ya’ni, magnit maydoni kuchlanganligi chiziqlariga yoki *V*=const oqim

funksiyasining doimiy (o‘zgarmas) qiymatlari chiziqlariga ham) U_e = const chiziqlari mos keladi, ya’ni, modelda elektr potensialining teng (baravar, bir xil) chiziqlari. Bu holda, masalan, hudud chegarasida A=const berilgan bo‘lsa (ya’ni H_n=0 sharti), u holda modelda bu chegarada U_e = const sharti amalga oshishi kerak.

$$\frac{\partial A}{\partial n} = 0$$

chegaraviy shartga, dastlabki (ilk) masalada, ya’ni $H_\tau = 0$ shartga modeldagi

$$\frac{\partial A}{\partial n} = 0$$

$$E_n = -\frac{\partial U}{\partial n} = 0$$

shart mos keladi.

Magnit maydonini modellashtirish usulini tanlash (skalyar va vektor potensiali asosida) masalaning chegaraviy va chegara turi, hamda modellashtirish qurilmasining imkoniyatlari bilan aniqlanadi.

O‘tkazuvchanlik muhitida elektr maydoni uyurmasiz bo‘ladi, Shu sabadan tok hududida magnit maydonining manzarasini qurib bo‘lmaydi. Bunday masalalarda tokli hududni oldindan (avvaldan) u yoki bu usul bilan o‘zgartirish (tubdan yangilash) kerak bo‘ladi, masalan uni cheksiz yupqa tok qatlami ko‘rinishida tasavvur qilish.

Tajribalarni o‘tkazish usuli

Laboratoriya qurilmasida doimiy tok to‘rtqutbli elektr mashinasining magnit maydoni modellashtiriladi.

Ushbu laboratoriya ishida hal qilinadigan masalada elektr mashinasining o‘rta qismidagi maydonni ko‘rib (tahlil) chiqish bilan cheklanamiz, ya’ni, mashinani o‘rta qismidan kesib o‘tadigan uning valiga perpendikulyar bo‘lgan tekislikda. Birinchi qarashda mashinaning bu qismida, huddi cheksiz uzun mashinadigidek yassiparallel deb hisoblasa bo‘ladi.

Qutb oldidagi havoda magnit maydonini tadqiq qilib (4.2-rasm), qutb, bo‘yinturuq (sirtmoq) va yakor materiallarining magnit singdiruvchanliklarini cheksiz deb qabul qilsa bo‘ladi. Bu holda *dcb*, *ef* va *ga* chiziqlari, skalyar magnit potensiallarining teng chiziqlari hisoblanadi (bo‘ladi).

Fg chizig‘i teng magnit potensialining chizig‘i hisoblanadi. Haqiqatan, qutblar orasidagi fazoda shimoliy qutbdan janubiy qutbga borayotgan (yo‘nalgan) sochilish oqimining magnit chiziqlari, qutblarning *fg* chiziqqa nisbatan simmetrik joylashganligi sababli uni to‘g‘ri burchak orqali kesib o‘tishlari kerak shu sababdan, *fg* teng skalyar magnit potensialining chizig‘i hisoblanadi va bu chiziqning potensiali bo‘yinturuq (sirtmoq) va yakor sirtlaridagi potensiallaridek bo‘ladi, ya’ni *ef* va *ag* chiziqlaridagidek.

Po‘latning magnit singdiruvchanligi havonikiga nisbatan cheksiz katta deb tahmin (faraz) qilsak, *efga* chiziq aynan bir skalyar magnit potensialining chizig‘i, *dcb* – va boshqa potensial chizig‘idir. Bu chiziqlar orasidagi magnit potensiallarining farqi magnit yurituvchi kuchning quyidagi, ya’ni mashina qismlari orasidagi tor tirqishdagi havoning magnit qarshiligi va mashinaning havo tirqishidagi magnit oqimi bilan aniqlanadigan qismiga teng. Po‘latning magnit singdiruvchanligi havonikiga nisbatan cheksiz katta deb qabul qilgan tahminimiz, mashinaning po‘lat qismlari bo‘ylab oqim yo‘lining magnit qarshiligiga nisbatan havo tirqishining magnit qarshiligiga nisbatan cheksiz kichik degan ehtimolga ekvivalentdir. Bunday holda, *dcb* va *efga* chiziqlari orasidagi magnit potensiallari orasidagi farq, bitta qutbda joylashgan g‘altakning to‘la *iw* tokiga teng va bunda *i*–ushbu g‘altakdagi tok, *w* esa-uning o‘ramlar soni. G‘altak egallagan fazoda skalyar magnit potensiali degan tushunchasini undan elektr toki oqib o‘tayotganligi sababli, qo‘llab bo‘lmasligi tufayli, maydonni qurish uchun quyidagi tahminiy usulga murojaat qilamiz (ishga solamiz). G‘altak cheksiz kichik qalinlikka ega deb tahmin qilamiz va qutb o‘zagining sirtiga bevosita yopishib (taqalib) turadi, ya’ni g‘altak kesimini *ab* chiziqqa siqamiz. Maydon manzarasini *abcdefga* konturi bilan cheklangan butun (to‘liq) fazoda qurishda skalyar magnit potensiali tushunchasidan foydalansa bo‘ladi, chunki butun bu fazoda elektr toklari mavjud emas. Havoda *ab* chiziq bo‘ylab magnit potensiali, g‘altak hosil qiladigan (kuchaytiradigan) magnit yurituvchi kuch qiymatiga o‘zgaradi. Magnit yurituvchi kuchning *ab* chizig‘ taqsimoti qutb o‘zagi bo‘ylab o‘ramlarning tasimotidan bog‘liq.

Havoda magnit chiziqlari *dcb* va *efga* chiziqlariga, huddi teng potensiallar chiziqlariga perpendikulyar o‘tishi keraq Magnit chiziqlari *ab* chiziqlariga to‘g‘ri burchak ostida kelmaydi, chunki, havoda magnit chiziqlari *ab* chiziq bo‘ylab o‘zgarib boradi.

V_m oqim funksiyasi va U_m skalyar magnit potensiali hududning

barcha qismida yassiparallel maydon uchun Laplas tenglamasini qanoatlantiradi:

$$\frac{\partial^2 V_M}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 V_M}{\partial y^2}=0 \quad \text{va} \quad \frac{\partial^2 U_M}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U_M}{\partial y^2}=0$$

Mashinaning magnit maydoni laboratoriya ishida magnit potensiali asosida modellashtiriladi. Modellashtirishning bu usulida, Yuqorida ta'kidlanganidek, skalyar magnit potensialining doimiy chiziqlariga modelda tok, *A*=const (ya'ni, magnit maydoni kuchlanganligining chiziqlariga) chiziqlariga esa-modelda U_e=const chiziqlari mos keladi.

Metall listga qarab (4.1-rasm), undagi tokning elektr maydoni bilan elektr mashinasining tadqiq qilinayotgan hududidagi magnit maydoni orasidagi o‘hshashlikni o‘rnatsa bo‘ladi.

Madomiki listdagi elektr maydoni Laplas tenglamasini qoatlantiradigan ekan va yassiparallel ekan, teng elektr potensiali chiziqlarining tenglamasi va elektr maydoni kuchlanganligi chiziqlarining tenglamasini quyidagi:

$$U=\text{const}, \quad V=\text{const}$$

ko‘rinishda yozish mumkin.

List elektr o‘tkazuvchanligiga nisbatan bir jinsli va izotrop materialdan yasalgan va shu sababdan tok zichligi vektori $\vec{\delta}$ va elektr maydoni kuchlanagnligi $\vec{E}$ orasida quyidagi:

$$\vec{E}=\gamma\vec{\delta}$$

oddiy bog‘liqlik mavjud, bu yerda γ -list materialining solishtirma o‘kazuvchanligi.

Shu sababdan, elektr maydoni kuchlanganligi chiziqlari bir paytda elektr toki chiziqlari hisoblanadi. Demak, *V*=const tenglamasi tok chiziqlari tenglamasidir. Bu chiziqlar teng elektr potensiali chiziqlari bilan barcha joylarda to‘g‘ri burchak ostida kesishadi.

Listning chegaraviy *dcb* va *efga* chiziqlari tok chiziqlari hisoblanadi, elektr mashinasida esa, ular skalyar magnit potensialining teng chiziqlari hisoblanadi.

Listga *de* chiziq orqali kirayotgan va listdan *ba* chiziq orqali chiqyotgan tok, mashinadagi *de* i *ba* chiziqlar bo‘ylab magnit

potensialining yoki magnityurituvchi kuchning tushuviga mos bo‘ladi. Bundan shu aniq bo‘ladiki, *de* va *ba* chiziqlar bo‘ylab mashinadagi magnityurituvchi kuchning va listdagi tokning bir xil taqsimotida, listdagi elektr maydonini mashinadagi magnit maydoni bilan mos (bir xil) tushadi. Bunday holda, listdagi tok chiziqlari mashinadagi teng magnit potensiali chiziqlariga va listdagi teng elektr potensiali chiziqlari mashinadagi magnit maydoni kuchlanganligi chiziqlariga mos bo‘ladi.

Listga kiruvchi tok chizig‘ining kerakli bo‘lgan taqsimotiga, shu chizig‘ bo‘ylab kavsharlangan latun brusokning qarshiligi juda kichik bo‘lganligi sababli avtomatik holda erishiladi. Shu sababli, *de* listda elektr potensialining teng chizig‘i hisoblanadi. Mashinada bu chiziq, magnit maydoni kuchlanganligining chizig‘i bo‘lishi kerak. Shunday qilib, ushbu chiziq bo‘ylab chegaraviy shartlar mutanosiblikda (moslikda) ekan.

Qutb o‘zagining balandligi bo‘ylab magnityurituvchi kuchning, ya’ni magnitlaydigan g‘altakning o‘ramlarining taqsimotiga mos bo‘lgan listdan chiquvchi tokning *ba* chizig‘ bo‘ylab kerakli bo‘lgan taqsimoti, *ba* chiziq bo‘ylab qistirgichlarga ulangan reostatlar yordamida erishiladi (4.1-rasm).

Laboratoriya ishidagi vazifa, elektr mashinasida magnit maydoni kuchlanganligi chiziqlariga mos keladigan (bir xil bo‘lgan) murakkab shaklli list sirtidagi teng elektr potensiali chiziqlarini tadqiqot yo‘li bilan olishdan iborat. Chiziqlar shunday oldinma-ket chizilidiki, qo‘shni (yonma-yon) chiziqlardagi potensiallarning orttirmasi hamma yerda bir xil bo‘lishi kerak. Bunday hol, teng magnit oqimli trubkadagi magnit maydoni manzarasiga mos (o‘hshash) bo‘ladi. U=const chiziqlarini, tokning *ba* chiziq bo‘ylab ham bir me’yordagi, ham berilgan bir me’yorda bo‘lmagan taqsimotlarida tasvirlanadi.

Metall list sirtidan olingan U=const chiziqlarining manzarasini imkoniyat darajasidagi aniqlik bilan qog‘oz listdagi chizmaga ko‘chiriladi. Bunday ko‘chirishni osongina amalga oshirish mumkin, chunki temir listga nozik qirish yo‘li bilan radial to‘g‘ri chiziqlar va aylanalar yoylaridan tashkil topgan koordinata to‘ri chizilgan.

Tadqiqot (tajriba) yo‘li bilan teng potensiallar chizig‘larini aks ettirgandan keyin(*ab* chizig‘iga ulangan simlar orasida toklarning bir me’yordagi taqsimoti holatida), listning qarshiligini aniqlash uchun u orqali oqib o‘tadigan umumiy tokni va unga berilgan kuchlanishni qayt qilish kerak. Bundan tashqari, list materialining solishtirma qarshiligini aniqlash uchun, mahsus kesilgan polosada kvadrat ko‘rinishidagi

yacheykaning qarshiligini o‘lchash kerak.

Tajriba natijalarini qayta ishlash va hisobotni tayyorlash

Tajribani bajarish paytida olingan teng elektr potensialining maydon manzarasini qurish uchun kuchlanganlik chiziqlari bilan to‘ldirish kerak. Bunda quyidagi shartlar bajarilishi kerak:

1. Kuchlanganlik va teng magnit potensiali chiziqlari doim to‘g‘ri burchak ostida kesishadi.

2. Maydon kuchlanganligi chiziqlari doimiy potensial berilgan (keltirilgan) chegaraviy sirtlarga to‘g‘ri burchak ostida kelishi kerak.

3. Tok (elektr maydoni kuchlanganligi chiziqlari) va U_e = const chiziqlari bilan hosil bo‘lgan model to‘rining yacheykalari, to‘rning kerakli darajadagi tig‘izligida bir biriga o‘hshash bo‘lishi kerak, ya’ni yacheykaning maydon kuchlanganligi chiziqlari yo‘nalishidagi o‘rtacha Δn uzunligining, teng potensiallar chiziqlari yo‘nalishidagi o‘rtacha Δa kengligiga nisbati barcha yacheykalar uchun bir xil bo‘lishi kerak.

Model bilan ishlayotganda quyidagicha yo‘l tutiladi: Maydon manzarasin qurish qutb va yakor orasidagi havo bo‘shlig‘ining o‘rta qismidan boshlanadi. Tahlil qilinayotgan yakorning silliq sirti holi uchun tirqishning doimiy h kengligida bu maydonni oson qurish mumkin, bunda polyusning o‘rta qismida uning chekkalarining ta’sirini inobatga olmasa ham bo‘ladi. Bunday holda maydon kuchlanganligi chiziqlari mashina o‘qida tutashadigan (yo‘nalgan) radial to‘g‘ri chiziqlardir, teng potensiallar chiziqlari esa-markazi mashina o‘qida joylashgan aylanalar yoylaridir. Tabiiyki, bu holda magnit maydoni kuchlanganligi mashina o‘qigacha bo‘lgan r masofaga teskari proporsionallikda o‘zgaradi:

$$H = H_0 \frac{r_0}{r},$$

bu yerda: r_0–yakor aylansining radiusi;

$r=r_0$ bo‘lganda $N_0=N$.

U_M magnit potensiali mashina o‘qidan r masofada quyidagi integral orqali aniqlanadi:

$$U_{M0} - U_M = \int_{r_0}^{r} \vec{H} d\vec{r},$$

bu yerda: $U_{M0}=U_M$ $r=r_0$ bo‘lganda, ya’ni yakor sirtida.

Shimoliy qutb ostida kuch chiziqlari mashina o‘qiga yo‘nalgan, va demak,

$$\vec{H}d\vec{r} = -Hdr\ .$$

Shunday qilib, shimoliy qutb ostida quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$U_M - U_{M0} = -\int_{r_0}^{r} \vec{H}d\vec{r} = \int_{r_0}^{r} Hdr = -\int_{r_0}^{r} H_0 r_0 \frac{dr}{r} = H_0 r_0 \ln\frac{r}{r_0}$$

Havoli tirqishni (oralg‘ini) teng magnitli potensial chiziqlari bilan teng ΔU_M potensial ortirmali butun m sonli intervallarga bo‘lib chiqish kerak. Shunday qilib:

$$m\Delta U_M = U_{Mp} - U_{M0}\,,$$

bu yerda: $U_{mp}=U_m$ polyus sirtida $r = R$ bo‘lganda.

Bundan:

$$m(U_{\nu+1} - U_\nu) = mH_0 r_0 \ln\frac{r_{\nu+1}}{r_\nu} = H_0 r_0 \ln\frac{R}{r_0}$$ ga ega bo‘lamiz.

Shunday qilib, (ν+1)-chi va ν-chi teng potensiallar chiziqlari radiuslarining nisbati, R va r_0 radiuslarning nisbati orqali quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$m\ln\frac{r_{\nu+1}}{r_\nu} = \ln\frac{R}{r_0}, \qquad \text{yoki} \qquad \frac{r_{\nu+1}}{r_\nu} = \sqrt[m]{\frac{R}{r_0}} \ln\frac{R}{r_0} \qquad \frac{r_{\nu+1}}{r_\nu} = \sqrt[m]{\frac{R}{r_0}}.$$

M sonini tanlab, teng potensial chiziqlari radiuslari hisob chiqiladi va bu chiziqlarni havo tirqishining doimiy kengligi hududiga, tirqish chetiga tahminan tirqish kengligi teng bo‘lgan masofagacha yetkazmasdan o‘tkaziladi, chunki undan keyingi masofada maydon boshqacha manzaraga ega bo‘ladi.

Ushbu hududda radial to‘g‘ri chiziqlardan iborat bo‘lgan kuch chiziqlari, bir biridan shunday masofada o‘tkaziladiki, bunda maydon to‘ri yacheykasining o‘rtacha Δa kengligi uning uzunligi Δnga teng bo‘lishi kerak, ya’ni, to‘r egri chiziqli kvadratlardan iborat bo‘lishi kerak. Keyin qutblar orasidagi fazoda maydon to‘rini qurish davom

ettiriladi. Bunda quyidagicha yo‘l tutish tavsiya etiladi.

Avvaliga teng skalyar magnit potensiali chiziqlarini qutblar orasidagi hududga shunday davom ettiriladiki, va ular to‘g‘ri o‘tkazildi deb tasavvur qilamiz. Bu barcha chiziqlar g‘altak polyusining butun (hamma) o‘ramlari shartli ravishda siqilgan *ba* chiziqqa tugashi kerak. Teng potensial chizig‘i etib kelishi (yaqinlashishi) kerak bo‘lgan nuqtalarning *ba* chiziqda joylashishi, *ba* chiziq bo‘ylab magnityurituvchi kuchning taqsimotidan, ya’ni o‘zak polyusining baladligi bo‘ylab cho‘lg‘am o‘ramlarining taqsimotidan bog‘liq. O‘ramlarning bir me’yordagi taqsimotida, bu nuqtalar bir biridan teng masofalarda bir me’yorda taqsimlanishi kerak (teng potensial chiziqlari *ba* chiziqqa perpendikulyar yaqinlashishi kerak emas). Undan keyin maydon kuchlanganligi chiziqlarining kesimlarini (bo‘lak) faqat kontur qutbi va unga yaqin bo‘lgan teng potensial chizig‘i orasida o‘tkazish kerak. Bunda bu kesimlar (bo‘laklar) ham kontur qutbiga va ham unga yaqin bo‘lgan teng potensial chizig‘iga perpendikulyar bo‘lishi kerak, va ular tasmani (tilimni) egri chiziqli kvadratlarga bo‘lishiga e’tibor berish kerak.

Maydon kuchlanganligi chiziqlari bo‘laklarini (kesimlarini) qurishni davom ettirib, avvaliga birinchi va ikkinchi shartlar bajarilishiga rioya qilish kerak, ya’ni maydon kuchlanganligi chiziqlari teng potensial chiziqlarning barchasi bilan to‘g‘ri burchak ostida kesishisiga va *efga* chiziqqa to‘g‘ri burchak ostida yaqinlashishiga intilish kerak. Undan keyin shunday usulda qurilgan maydon to‘ri uchinchi, ya’ni barcha yacheykalarning o‘rtacha kengligining o‘rtacha uzunligiga nisbati birga teng shartini qanoatlantirishini tekshirish kerak. Agar teng potensiallar chsiziqlari noto‘g‘ri o‘tkazilgan (qurilgan) bo‘lsa yuqoridagi shart bajarilmaydi, shu bilan birga rasmda ularni qaysi tomonga surish darrov (yaqqol) aniq bo‘ladi. Teng potensiallar chiziqlarining joylashishini ko‘zda chamalab, surishni amalga oshiriladi va maydon kuchlanganligi chiziqlarini yuqoridagi (ushbu) tartibda qurib, maydonning yangi to‘rini tekshirish kerak. Bir necha marta bunday ketma-ketlikda qurgandan keyin, yuqoridagi barcha talablarni yahshi qanoatlantiradigan maydon to‘rini olish mumkin. Yakuniy qurilgan maydon to‘ridagi maydon kuchlanganligi chiziqlarini strelkalar bilan belgilash (ta’minlash) kerak. Bu to‘rga punktir chiziq yoki boshqa rang qalami bilan modelda tajriba yo‘li bilan olingan maydon kuchlanganligining chiziqlari chiziladi (tushiriladi). Ularning yo‘nalishi grafik usulda qurilgan to‘r bilan mos bo‘lishi kerak.

Ilovalar:

a) g‘altak band etgan fazoda elektr toki oqib o‘tishi sababli, skalyar magnit potensiali tushunchasi o‘rinli emasligi sababli, maydon manzarasini qurishda (chizishda) tahminiy usuldan foydalanishadi, masalan: g‘altak cheksiz kichik qalinlikka ega va o‘zak polyusining sirtiga bevosita tegib turadi deb faraz qilishadi, ya’ni g‘altak kesimini *ab* chiziqqa siqishadi.

Abcdefga kontur bilan cheklangan fazoda maydon manzarasini qurishda skalyar magnit potensiali tushunchasidan foydalansa bo‘ladi, chunki bu fazoda elektr toklari mavjud emas (yo‘q). Havoda, *ab* chiziq bo‘ylab magnit potensiali g‘altak yuzaga keltiradigan MYUK qiymatiga o‘zgaradi. MYUKning *ab* chiziq bo‘ylab taqsimoti, polyus o‘zagi bo‘ylab g‘altak o‘ramlarining taqsimotidan bog‘liq.

b) tadqiq qilinayotgan listda qutb bilan yakor orasidagi havo tirqishini aks etadigan uning *h=de* qismining kengligi, kuchli bo‘rttirb ko‘rsatilgan. Odatda mashinalarda tirqish kengligining qutb yoyiga nisbati listdagiga nisbatan rasmda tasvirlangandagidek juda ham kichik qilib olinadi. O‘lchamlarning real nisbatlaridan cheklanishi polyus chekkasida maydon hususiyatini aniqroq ochish (ko‘rsatish) uchun (ongli ravishda) bilib qilingan.

v) yana ta’kidlash kerakki, mashina temir qismlarining magnit singdiruvchanligi cheksiz katta degan tahmin, qutblar g‘altagi yaratadigan (yuzaga keltiradigan) MYUKning kerakli bo‘lgan qiymatlarini hisob-kitob qilishda yo‘l qo‘yilmaydi (nojoizdir), maydon manzarasini qurish uchun, agar qutb poynaklari (uchliklari) yakor temiri uning sirti yaqinida to‘yinmagan bo‘lsa.

Haqiqiy hol bilan eng katta chetlashish (tavofut, ihtilof), qutb chekkasining *s* nuqta yaqinida mavjuddir, bu nuqtada $\mu = \infty$ bo‘lgan holda, $V = \infty$ hosil bo‘ladi. Haqiqatda, bu joyda temir to‘yinadi va μ, binobarin V ham chegarali bo‘ladi.

Nazorat savollari

1. Toklarning magnit maydonining skalyar potensiali nima?
2. Magnit maydonining vektorli potensiali nima?
3. Doimiy tok magnit maydonlarini grafik usulda qurishda qanday shartlarga rioya qilinishi kerak?
4. Elektrostatik (elektrik) va magnit maydonlarining o‘zaro mutanosibligi.

5. Magnit maydoni uchun Puasson va Laplas tenglamalari.

6. Magnit maydonini modellashtirishda asos qilib olingan tenglamalar.

7. Nima uchun doimiy (o‘zgarmas) tok magnit maydonini modellashtirishda, U = const chiziqlar modelda ham doimiy (o‘zgarmas) skalyar magnit potensiali chiziqlariga, va ham magnit maydoni kuchlanganligi chiziqlariga mos bo‘lishlari mumkin?

8. Nima uchun o‘tkazuvchanlik muhitida doimiy (o‘zgarmas) tok maydoni orqali magnit maydonini modellashtirishda tokli hududdagi magnit maydoni manzarasini qurib bo‘lmaydi.

9. Nima uchun ba’zi bir hollarda magnit maydoni kuchlanagnligi chiziqlari ideal magnit hossali jismlarning sirtiga to‘g‘ri bo‘lmagan burchak ostida keladi?

10. Nima uchun modellashtirish hudud chegarasiga ulanadigan latun brusok doimiy potensialga ega?

11. Qaysi bir: skalyar yoki vektor magnit potensiallarni modellashtirishda:a) ma’lum bir sirt orqali magnit oqiminimi? b) ma’lum bir nuqtalar orasidagi magnityurituvchi kuchnimi oson aniqlash mumkin?

12.Ma’lum bir chiziqda skalyar magnit potensialini modellashtirishda U_e=const sharti berilgan. Bu shart bu chiziqda ushbu masalani vektor magnit potensiali yordamida modellashtirishda qanday bo‘ladi?

5-laboratoriya ishi. Elektrostatik induksiya koeffitsientlarini, qisman sig‘imlarni va potensiallar koeffitsiyentlarini aniqlash

Ishning maqsadi:

1. Zaryadlangan jismlar tizimining elektrostatik induksiya koeffitsientlarini, qisman sig‘imlarni va potensiallar koeffitsientlarini eksperimental aniqlash usullarini o‘rganish va ular orasidagi mavjud bo‘lgan bog‘lanishni tekshirish;

2. Zaryadlangan jismlar orasida potensiallar munosabatlarining bir necha hollari uchun elektr maydoni manzarasini qurish, hamda maydonni raqamli hisob-kitob qilish dasturini elektrostatika masalalari yechimini topish uchun uni qo‘llash mahoratiga erishish.

Ushbu ishda yuqorida aytilgan koeffitsientlarni qo‘rg‘oshin qobig‘li to‘rtta simli kabelning simlaridagi zaryadlarni va kuchlanishlarni o‘lchab topiladi

Nazariya asoslari

Elektrostatik induksiya koeffitsientlari, jismlarning zaryadini (bizning holda kabelning to‘rtta simi) ularning potensiallari orqali aniqlaydigan chiziqli tenglamalar sistemasiga kiradi

$$\begin{aligned} q_1 &= \beta_{11}U_1 + \beta_{12}U_2 + \beta_{13}U_3 + \beta_{14}U_4, \\ q_2 &= \beta_{21}U_1 + \beta_{22}U_2 + \beta_{23}U_3 + \beta_{24}U_4, \\ q_3 &= \beta_{31}U_1 + \beta_{32}U_2 + \beta_{33}U_3 + \beta_{34}U_4, \\ q_4 &= \beta_{41}U_1 + \beta_{42}U_2 + \beta_{43}U_3 + \beta_{44}U_4. \end{aligned} \qquad (5.1)$$

Elektrostatik induksiyaning hususiy koeffitsientni, masalan β_{22} koeffitsiyentini aniqlash uchun $U_1 = U_3 = U_4 = 0$, $U_2 = U_0 \neq 0$ potensiallarni berib, q_2 zaryadni topish keraq Bunda q_2/U_2 nisbati β_{22}ning qiymatini aniqlaydi. Xuddi shunday yo‘l bilan elektrostatik induksiyaning boshqa hususiy koeffitsientlarini ham topish mumkin.

Elektrostatik induksiyaning o‘zaro koeffitsiyentni, masalan β_{34} koeffitsiyentini aniqlash uchun $U_1 = U_3 = U_3 = 0$, $U_4 = U_0 \neq 0$ potensiallarni berish kerak va q_3 zaryadni topib, $\beta_{34} = q_3/U_4$ izlangan miqdorni hisoblash kerak.

Umumiy holda β_{kp} koeffitsientini aniqlash uchun, U_i potentsiallarini = 0 deb qabul qilish kerak, bu yerda $i = 1,2\ldots\ldots$, shu bilan birga $i \neq p$, $U_p = U_0 \neq 0$ potensiallarini berish kerak, va q_k, zaryadni aniqlab,

$q_k = \beta_{kp} U_p$ o‘zaro munosobatdan β_{kp}ni topish kerak.

Qisman sig‘imlar, jismlar zaryadlarini ular orasidagi potensiallar farqi bilan bog‘laydigan:

$$\begin{aligned}
q_1&=S_{11}(U_1-0)+S_{12}(U_1-U_2)+S_{13}(U_1-U_3)+S_{14}(U_1-U_4),\\
q_2&=S_{21}(U_2-U_1)+S_{22}(U_2-0)+S_{23}(U_2-U_3)+S_{24}(U_2-U_4),\\
q_3&=S_{31}(U_3-U_1)+S_{32}(U_3-U_2)+S_{33}(U_3-0)+S_{34}(U_3-U_4),\\
q_4&=S_{41}(U_4-U_1)+S_{42}(U_4-U_2)+S_{43}(U_4-U_3)+S_{44}(U_3-0).
\end{aligned} \tag{5.2}$$

tenglamalar sistemasiga kiradi.

Xusuiy qisman sig‘imni, masalan C_{33}ni topish uchun $U_1=U_2=U_3=U_0\neq 0$ deb qabul qilish, va q_3 zaryadni topish va keyin, $C_{33} = q_3/U_3$ hisoblash keraq. Aynan shunday usulda boshqa xususiy qisman sig‘imlarni topiladi.

O‘zaro qisman sig‘imlarni

$$C_{kp}=-\beta_{kp}$$

munosobatlardan topish mumkin, buni $U_p \neq 0$ va boshqa barcha jismlarning potensiallari nolga teng shartidan (5.1) va (5.2) sistemalardan, q_k uchun tenglamalarni solishtirishda ko‘rish mumkin.

Potensial koeffitsientlari kabel simlarining potensiallarini ularning zaryadlari orqali aniqlaydigan tenglamalar sistemasiga kiradi:

$$\left.\begin{aligned}
U_1 &= \alpha_{11}q_1+ \alpha_{12}q_2 + \alpha_{13}q_3+ \alpha_{14}q_4,\\
U_2 &= \alpha_{21}q_1+ \alpha_{22}q_2 + \alpha_{23}q_3+ \alpha_{24}q_4,\\
U_3 &= \alpha_{31}q_1+ \alpha_{32}q_2 + \alpha_{33}q_3+ \alpha_{34}q_4,\\
U_4 &= \alpha_{41}q_1+ \alpha_{42}q_2 + \alpha_{43}q_3+ \alpha_{44}q_4.
\end{aligned}\right\} \tag{5.3}$$

Xususiy potensial koeffitsiyentlari, masalan α_{11} aniqlash uchun, $q_2 = q_3=q_4=0$ zaryadlarni berish kerak va 1 jismning potensiali $U_1=U_0\neq 0$ deb qabul qilib, uning zaryadini topish va kerakli $\alpha_{11}=U_1/q_1$ koeffitsiyentni hisoblash kerak. Boshqa hususiy potensiallarni ham hisoblash mumkin.

Xusuiy qisman sig‘imlar va elektrostatik induksiya koeffitsiyentlari quyidagi:

$$\begin{aligned}
C_{11} &= \beta_{11} + \beta_{12} + \beta_{13} + \beta_{14}\,,\\
C_{22} &= \beta_{21} + \beta_{22} + \beta 2_3 + \beta_{24}\,,\\
C_{11} &= \beta_{31} + \beta_{32} + \beta_{33} + \beta_{34}\,,\\
C_{11} &= \beta_{41} + \beta_{42} + \beta_{43} + \beta_{44}\,.
\end{aligned}$$

munosobatlar bilan bog‘langan.

α va β koeffitsiyentlari orasidagi bog‘liqlik quyidagi:

$$\alpha_{kp} = \frac{\Delta_{kp}}{\Delta}$$

ko‘rinishda ifodalanadi,

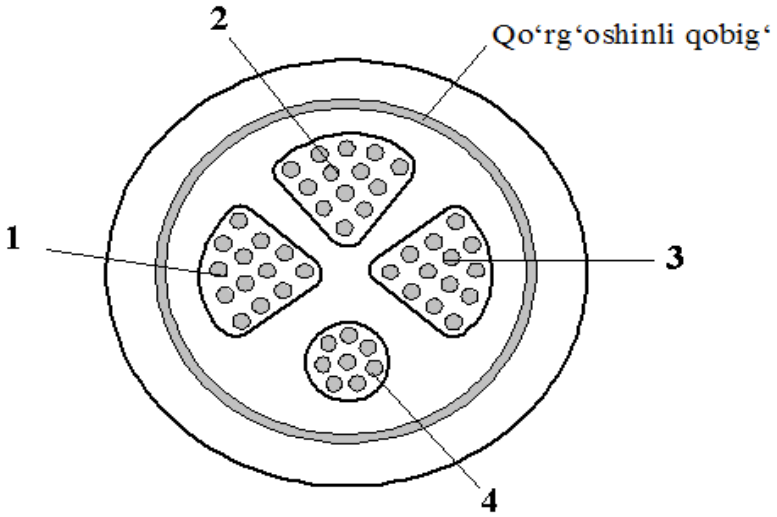
bu yerda: Δ – elektrostatik induksiya koeffitsiyenti βni o‘z ichiga olgan tenglamalar sistemasinig aniqlovchisi,

Δ_{kp} –ohirgi *k*-chi qatorda va *p*-chi ustunda o‘chirishdan va yangi paydo bo‘lgan $(-1)^{k+p}$ aniqlovchiga ko‘paytmasidan hosil bo‘ladigan Δ aniqlovchining algebraik qo‘shimchasi. (5.1) tenglamalar sistemasining Δ aniqlovchisi quyidagi ko‘rinishga ko‘rinishi ega:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \beta_{11}, & \beta_{12}, & \beta_{13}, & \beta_{14}, \\ \beta_{21}, & \beta_{22}, & \beta_{23}, & \beta_{24}, \\ \beta_{31}, & \beta_{32}, & \beta_{33}, & \beta_{34}, \\ \beta_{41}, & \beta_{42}, & \beta_{43}, & \beta_{44}. \end{vmatrix}$$

Qurilmaning tavsifi va tadqiqotlarni o‘tkazish uslubi

Tadqiqot ob’ekt sifatida qo‘rg‘oshin qobig‘li to‘rtsimli kabel xizmat qiladi. Simlarning joylashishi kabelning ko‘ndalang kesimi tasvir etilgan 5.1-rasmda ko‘rsatilgan.



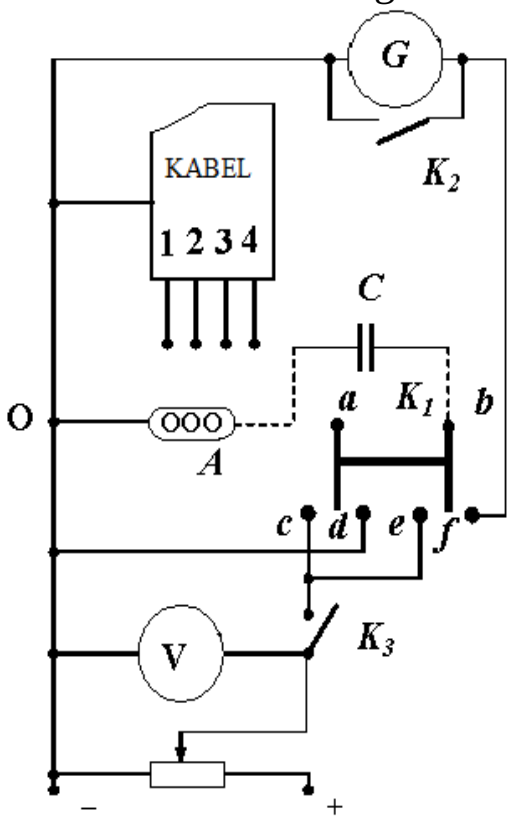
5.1-rasm. Kabelning ko‘ndalang kesimida simlarning joylashishi.

Tadqiqot jaroyonida qobig‘ning potensiali nolga teng deb qabul qilinadi va shuning uchun kabelning barcha simlarining U_1, U_2, U_3 va U_4

potensiallari qobig‘ va simlar orasidagi kuchlanishlarga teng.

Simlardagi zaryadlar ballistik galvanometr yordamida o‘lchanadi. Galvanometr *G*ning ballistik doimiysini aniqlashda sig‘imi *C*=0,01 mkF bo‘lgan namunali kondensator ishlatiladi.

Ishni bajarish uchun 5.2-rasmda ko‘rsatilgan sxema qo‘llaniladi.



5.2-rasm. Tadqiqot sxemasi.

Galvanometrning bir qisqichining simi K_1 kalitga (pereklyuchatelga) ulangan. Galvanometrning boshqa qisqichining simi kabel qobig‘iga va uch klemmali *A* plankaga ulangan. Bu K_1 kalitning (pereklyuchatelning) boshqa qisqichlariga uzatilgan manba kuchlanishiga galvanometr *G*ni yanglishib ulashni bartaraf etish uchun qilingan. Bunday ehtiyotkorlik, laboratoriya ishini bajarishda shemada ko‘p marta ulashlarni amalga oshirilishi va buning natijasida manbadan galvanometrning qisqichiga yanglishib kuchlanish berilishi mumkinligi sababdir. *E* va *f* va *c* va *d* kontaktlar orasidagi va mos ravishda K_1 kalitning (pereklyuchatelning) kontaktlari shunday yaratilganki, bu kontaktlar kalitning (pereklyuchatelning) harakatlanuvchi qismi orqali bir biriga ulanmaydi.

Kabelning to‘rtali simi ham qobig‘dan chiqarilgan va 5.1-rasm simlarning raqamlariga mos 5.2-rasmda raqamlar bilan belgilangan qisqichlarga ulangan. 5.2-rasmda uzluksiz chiziqlar bilan tasvirlangan

shema tajriba jarayonida o‘zgarishsiz qoladi. Kabelning qobig‘i va planka *A* doim manbaning manfiy qutbiga ulanadi. Manbaning musbat qutbi kabelning simlariga har xil usulda ulanishi mumkin. K_2 kalit galvanometrning chayqalishini sokinlashtirish va uni shemani keyingi o‘lchovlarga tayyorlash uchun xizmat qiladi. Uchkontaktli reostat iste’mol (manba) kuchlanishini keng oraliqlarda o‘zgartirish imkonini beradi.

1.Ballistik galvanometr *G*ni graduirovkalash uchun namunali kondensatorni *A* planka va K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *b* qisqichi orasiga (o‘rtasiga) ulash kerak (5.2-rasmdagi punktir). Graduirovkalashda K_1 kalitning (pereklyuchatelning) faqat bitta qayta ulaydigan kontakti qo‘llaniladi. Kalitning chap holatida kondensator manba beradigan kuchlanishgacha zaryadlanadi. K_1 kalitni (pereklyuchatelning) tezda o‘ng holatiga o‘tkazib, kondensatorni galvanometr zanjiri orqali razryadlantirish mumkin.

Galvanometr $C_q$ning ballistik doimiysini quyidagi:

$$C_q = \frac{q}{\alpha} = \frac{Cu}{\alpha},$$

ifodadan hisoblab chiqiladi, bunda α–galvanometr shkalasi bo‘ylab og‘ish.

Graduirovka tugagandan so‘ng, namunali kondensatorni tumbler yordamida zanjirdan uzish kerak.

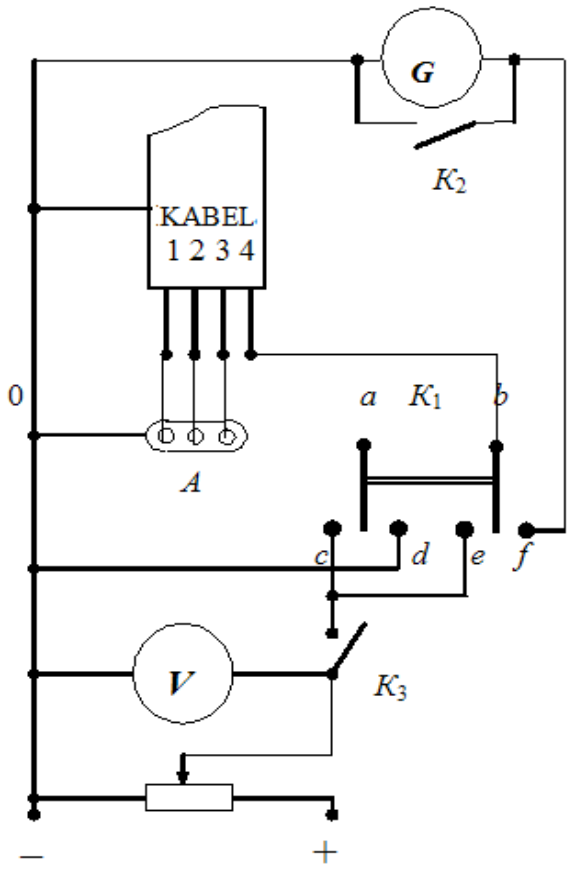
2.Tajriba yo‘li bilan *k*-chi simning elektrostatik induksiyasining β_{kk} hususiy koeffitsiyentini aniqlash uchun, bu simni K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *b* qisqichi bilan ulash kerak, qolgan boshqa simlarni qobig‘ (*A* planka) bilan ulanadi. Bunda *k*-chidan tashqari barcha, simlarning potensallari nolga tenglashib qoladi va bunda

$$q_k = \beta_{kk} U_k.$$

k-chi simni U_k potensialgacha zaryadlab, uni galvanometrga razryadlash va uning q_k zaryadini o‘lchash kerak. 5.3-rasmda β_{44} koeffitsiyentini o‘lchash shemasi keltirilgan. Huddi shu usulda barcha simlarning elektrostatik induksiyalarining hususiy koeffitsiyentlarini o‘lchash kerak.

Shemani kommutasiya (pereklyuchenie) qilish paytida sim (oqib sizib ketish) (utechka) qarshiligi orqali sezilarli darajada

razryadlanmasligi uchun K_1 kalitni (pereklyuchatelni) iloji boricha tezroq boshqa holatga o‘tkazish kerak. Kommutatsiya (perekoyuchenie) qilish vaqti Δt simning oqib sizib ketish) (utechka) qarshiligi orqali razryadlanish vaqt doimiysi τ dan juda kichik bo‘lishi kerak. Kabel va uning chiqish (vivod) simlari izolyasiyasining yahshi holatida o‘lchov hatoligi juda ham past bo‘lishi mumkin.

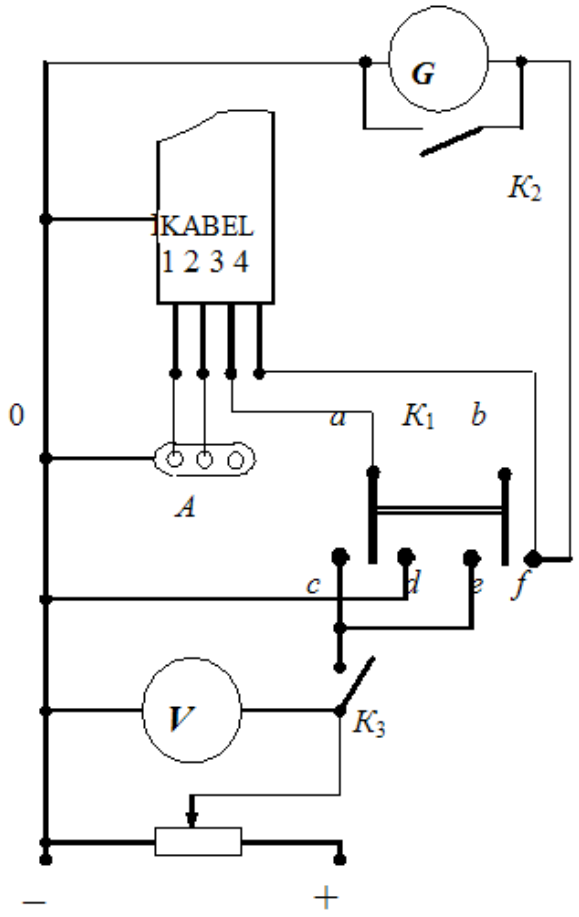


5.3-rasm. β_{44} koeffitsiyentini o‘lchash sxemasi.

3. Elektrostatik induksiyaning o‘zaro induksiyasi β_{kp} ni o‘lchash uchun *p*-chi simni K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *a* qisqichi va *k*-simni *f* qisqichi bilan ulash kerak. Boshqa barcha simlarni *A* metall planka orqali qobig‘ bilan ulanadi. Shunday qilib, *p*-chi sim U_p potensialgacha zaryadlanadi, va keyin kalitni (pereklyuchatelni) holatini o‘zgartirib, bu simni galvanometr tarmog‘iga ulanmasdan razryadlash kerak. Boshqa, *k*- sim galvanometr tarmog‘i orqali qobig‘ bilan ulangan. *p*-chi sim zaradlanib turgan ekan, indusiyalangan q_k zaryad *k*- simda ham mavjuddir. Bu zaryad *p*-chi sim razryadlanishi jarayonida galvanometr orqali oqib o‘tadi va sim zaryaddan halos bo‘ladi. Yuqorida keltirilgan tenglamalar sistemasidan quyidagini:

$$q_k=\beta_{kp}\cdot U_p$$

olamiz. 5.4-rasmda β_{43} o‘lchash uchun mo‘ljallangan shema ko‘rsatilgan.



5.4-rasm. β_{43} koeffitsiyentini o‘lchash sxemasi.

O‘n ikkita o‘zaro koeffitsiyentlarning barchasini o‘lchab, tahlil qilinayotgan holatga qo‘llashda umumiy o‘zarolik tamoilining ifodasi bo‘lgan :

$$\beta_{kp} = \beta_{pk}$$

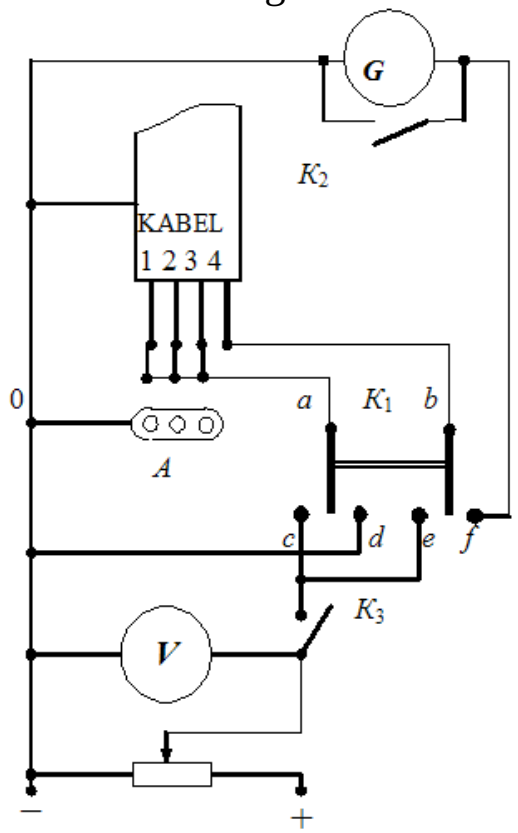
munosobat adolatli ekanligiga ishonch hosil qilish kerak.

Elektrostatik induksiyaning barcha hususiy koeffitsiyentlari musbatdir, o‘zaro koeffitsiyentlarning barchasi manfiydir. Tajribada, hususiy va o‘zaro koeffitsiyentlarni o‘lchashda galvanometrning qarama-qarshi tomonlarga ogag‘ishida namoyon bo‘ladi.

4. *k*-chi simning hususiy qisman C_{kk} sig‘imini o‘lchash uchun bu simni K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *b* qisqichi bilan, qolgan barcha simlarni esa *a* qisqichga ulash kerak. Kalitning (pereklyuchatelning)

chap holatida barcha simlar U_k potensialgacha zaryadlanadi. Kalit (pereklyuchatel) o‘ng holatga o‘zgartirilganda *k*-chi sim *G* galvanometr orqali razryadlanadi, qolganlari esa galvanometr tarmog‘iga ulanmasdan razryadlanadi.

Hususiy qisman sig‘imlarning to‘rttasini ham o‘lchash kerak. 5.5-rasmda C_{44}ni o‘lchash shemasi keltirilgan.



5.5-rasm. Xususiy qisman sig‘imlarni o‘lchash sxemasi.

5. α_{kk} hususiy potensial koeffitsiyentini o‘lchash uchun, *k*-chi simni K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *b* qisqichi bilan ulash kerak. Qolgan barcha simlar shemadan uzilib va nolga teng zaryadga teng bo‘lishi kerak. Oxirgi talabni bajarish uchun, tajribani boshlashdan oldin ularni bir oz muddatga *A* planka bilan ulab turib, to‘rtalasini ham bir paytda razryadlash kerak.

K_1 kalitning (pereklyuchatelning) chap holatida, *k*-chi sim U_k potensialgacha zaryadlanadi va kalit (pereklyuchatel) holati o‘zgartirilganda galvanometr orqali razryadlanadi. (5.3) tenglamadan:

$$U_k = \alpha_{kk} q_k$$

ga ega bo‘lamiz.

Xususiy potensial koeffitsiyentlarning to‘rtalasini ham o‘lchash kerak. Kichik uzunlikda, va shu sababdan kabelning kichik sig‘imida α_{kp} o‘zaro potensial koeffitsiyentlarini o‘lchash juda murakkabdir. Haqiqatan ham, buning uchun faqat *p*-chi simni zaryadlash va butun tashqi zanjirdan uzilgan *k*-chi simning U_k potensialini o‘lchash kerak. Bu potensialga *k*-chi, sim zaryadlangan *p*-chi simning maydoni ta’sirida bo‘lib turib ega bo‘ladi. Ammo voltmetrni ulanishi Shu zahoti U_k potensialni o‘zgartiradi. Bunday o‘lchashlarni amalga oshirish uchun hususiy sig‘imi kabel simining sig‘imiga taqqoslab bo‘ladigan darajadagi elektrostatik volmetr ham yaramaydi. Shu sababdan laboratoriya ishida o‘zaro potensial koeffitsiyentlarini o‘lchash amalga oshirilmaydi. Bu holda $U_k$ni o‘lchash, faqat haddan tashqari kichik hususiy sig‘imili va deyarli cheksiz katta sizimli qarshilikka ega bo‘lan asbobni qo‘llab amalga oshirish mumkin.

Ishni bajarish dasturi

1. Simlarning zaryadini o‘lchashga mo‘ljallagan *G* ballistik galvanometrni graduirovkalashni amalga oshiring (graduirovkalash usuli “*Qurilmaning tavsifi va tadqiqotlarni o‘tkazish uslubi*” bo‘limining 1-punkt va 5.2-rasmda keltirilgan. Shu yerda galvanometrning C_q ballistik doimiysini hisoblash ifodasi berilgan).

Tajribani amalga oshirishdan oldin reostat yordamida juda kichik (oz) miqdorda kuchlanish *U*ni o‘rnatib va uni galvanometr sakrashi α kerakli miqdorda yuqori bo‘lguncha bir me’yorda oshirib borish kerak.

Galvanometr sakrashi αning uchta qiymati uchun $C_q$ning miqdorlarini hisoblang va ularning o‘rtacha miqdori $C_{qo‘rt.}$ni toping. O‘lchash va hisob-kitob natijalari 5.1-Jadvalga kiritiladi.

5.1-Jadval

U, V	α, bo‘linma	C_q

2. Tajriba yo‘li bilan elektrostatik induksiyasining hususiy koeffitsiyenti β_{kk}: β_{11}; β_{22}; β_{33}; β_{44}ni aniqlash (“*Qurilmaning tavsifi va tadqiqotlarni o‘tkazish uslubi*” bo‘limining 2-punkt va 5.3-rasmida β_{44}ni

o‘lchash shemasi keltirilgan va “*Qo‘shimcha ko‘rsatmalar va o‘lchov natijalarini qayta ishlash*” bo‘limlariga qarang).

k-chi simni U_k potensialgacha zaryadlab (K_1 kalitning (pereklyuchatelning) chap holati), *G* galvanometr orqali razryadlash kerak va galvanometr nurining birinchi og‘ishi, hamda voltmetr ko‘rsatgichi yozib olinadi.

Elektrostatik induksiyaning hususiy β_{kk} koeffitsiyenti quyidagi:

$$\beta_{kk} = \frac{q_k}{U_k} = \frac{C_q \alpha}{U_k}$$

ifoda orqali hisoblanadi.

O‘lchash va hisob-kitob natijalari 5.2-Jadvalga kiritiladi.

5.2-Jadval

t/r	U_k, V	α, bo‘linma	β_{kk}
1			
2			
3			
4			

3. Tajriba yo‘li bilan elektrostatik induksiyasining o‘zaro koeffitsiyentlari β_{kp}ni aniqlash (β_{43}ni o‘lchash shemasi keltirilgan “*Qurilmaning tavsifi va tadqiqotlarni o‘tkazish uslubi*” bo‘limining 3-punkt va 5.4-rasmiga qarang). Elektrostatik induksiyasining barcha o‘n ikkita o‘zaro koeffitsiyentlari aniqlash kerak.

Elektrostatik induksiyaning o‘zaro koeffitsiyenti β_{kp}ni o‘lchash uchun *p*-chi simni K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *a* qisqichi va *k*-simni *f* qisqichi bilan ulash kerak. Boshqa barcha simlarni *A* metall planka bilan ulanadi. K_1 kalitni (pereklyuchatelni) chap holatga o‘tkazib, *p*-chi simni U_p potensialgacha zaryadlab, keyin K_1 kalit (pereklyuchatel) chap holatga o‘tkaziladi va galvanometr *G*ning α siljishi yozib olinadi. Galvanometr *G*ning α siljishiga qarab, *k*- simning razryadlanishi jarayonida ajralib chiqadigan q_k zaryad aniqlanadi.

β_{kp} koeffitsiyent quyidagi:

$$\alpha_{kp} = \frac{q_k}{U_p} = \frac{C_q \alpha}{U_p}$$

ifodadan aniqlanadi.

O‘lchash va hisob-kitob natijalari 5.3-Jadvalga kiritiladi.

5.3-Jadval

	U_p, V	α, bo‘linma	q_k	β_{kt}	β_{tk}

4. Tajriba yo‘li bilan S_{kk} : S_{11}; S_{22}; S_{33}; S_{44} qisman sig‘imlarni aniqlash (S_{44}ni o‘lchash shemasi keltirilgan “*Qurilmaning tavsifi va tadqiqotlarni o‘tkazish uslubi*” bo‘limining 4-punkt va 5.5-rasmiga qarang).

k- sim K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *b* qisqichi bilan ulanadi. Qolgan simlar K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *a* qisqichi bilan ulanadi. Keyin K_1 kalit (pereklyuchatel) chap holatga o‘tkaziladi va barcha simlar U_k kuchlanishgacha zaryadlanadi. Keyin K_1 kalit (pereklyuchatel) o‘ng holatga o‘tkazilib, *k*- sim *G* galvanometr orqali razryadi va galvanometr strelkasining birinchi og‘ishi α yozib olinadi. Qisman sig‘imlarning barcha to‘rttasini o‘lchash amalga oshirilishi kerak. O‘lchash natijalari 5.4-Jadvalga kiritiladi.

Hususiy qisman S_{kk} sig‘im quyidagi:

$$C_{kk} = \frac{q_k}{U_k} = \frac{C_q \alpha}{U_k}$$

ifoda orqali hisob-kitob qilinadi. O‘zaro qisman sig‘imlarni o‘lchash talab etilmaydi, chunki quyidagi:

$$S_{kr} = -\beta_{kp}$$

munosobat mavjud.

O‘lchash va hisob-kitob natijalari 5.4-Jadvalga kiritib yozish kerak.

5.4-Jadval

t/r	U_p, V	α, bo‘linma	q_k	S_{kk}
1				
2				
3				
4				

5. Tajriba yo‘li bilan α_{kk} : α_{11}; α_{22}; α_{33} ; α_{44} hususiy potensial koeffitsiyentlarini aniqlash (“*Qurilmaning tavsifi va tadqiqotlarni o‘tkazish uslubi*” bo‘limining 5-punktiga qarang).

α_{kk} hususiy potensial koeffitsiyentini aniqlash uchun *k*-sim K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *b* qisqichi bilan ulanadi. Qolgan barcha simlar razryadlangan va shemadan uzilgan bo‘lishi kerak.

Keyin K_1 kalit chap holatga o‘tkazilib, *k*- sim U_k potensialgacha zaryadlanadi. K_1 kalit o‘ng holatga o‘tkazilib, *k*- sim *G* galvanometr orqali razryadlanadi.

α_{kk} hususiy potensial koeffitsiyenti quyidagi:

$$\alpha_{kk} = \frac{q_k}{U_k} = \frac{C_q \alpha}{U_k}$$

ifoda orqali hisob-kitob qilinadi.

O‘lchash va hisob-kitob natijalari 5.5-Jadvalga yoziladi.

5.5-Jadval

t/r	U_p, V	α, bo‘linma	q_k	S_{kk}
1				
2				
3				
4				

Kichik uzunlikda, va shu sababdan kabelning kichik sig‘imida α_{kp} o‘zaro potensial koeffitsiyentlarini o‘lchash juda murakkabdir. Shu sababdan ushbu labratoriya ishida o‘zaro potensial koeffitsiyentlarini o‘lchash amalga oshirilmaydi.

Qo‘shimcha yo‘l-yo‘riqlar va tajriba natijalarini qayta ishlash

Elektrostatik induksiya koeffitsiyentlari β, β_{tt}-larda bir xil indekslar bo‘lgan hususiy, har xil indekslarda o‘zaro koeffitsiyentlar deb ataladi. Ular sig‘im kattaligiga ega.

Hususiy β_{kk} koeffitsiyent kabelning barcha simlarining potensiallari *k*- simdan tashqari nolga teng degan shartidan aniqlanadi. Shu sababdan 3-rasmda kabelning to‘rtinchi simi *b* qisqichga ulangan, qolganlari esa *A* planka orqali erga ulangan. K_1 kalitning (pereklyuchatelning) chap holatida 4-sim U_4 potensialgacha zaryadlanadi. Keyin imkoni boricha tezroq K_1 kalitning (pereklyuchatelning) o‘ng holatda o‘tkazamiz. Bu holda 4-sim *G* galvanometr orqali razryadlanadi. Galvanometr strelkasi α og‘ishni beradi. Natijada:

$$\beta_{44} = \frac{q_4}{U_4} = \frac{C_q \alpha}{U_4}.$$

ga erishamiz.

Elektrostatik induksiyaning qolgan hususiy koeffitsiyentlarini aniqlashda huddi shunday yo‘l tutamiz.

β_{43} o‘zaro koeffitsiyenti 5.4-rasmdagi shema asosida aniqlanadi: bunda uchinchi sim K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *a*, to‘rtinchi sim esa *f* qisqichiga ulangan. Qolgan simlar *A* planka orqali erga ulangan. Shunday qilib, 3-sim U_3 potensialgacha zaryadlanadi va keyin K_1 kalit (pereklyuchatel) holati o‘zgartirilganda, 3-sim *G* galvanometrsiz kabel qobig‘iga razryadlanadi. To‘rtinchi sim tajriba davomida galvanometr orqali kabel qobig‘i bilan ulangan. 3-sim zaryadlangan holatida, to‘rtinchi simda q_4 zaryad mavjud bo‘ladi. 3-sim razryadlanganda q_4 ozod bo‘ladi va *G* galvanometr orqali oqib o‘tadi. Galvonometr strelkasi α og‘ishni beradi.Natijada:

$$\beta_{44} = \frac{q_4}{U_4} = \frac{C_q \alpha}{U_4}.$$

ga erishamiz.

Elektrostatik induksiyaning qolgan o‘zaro koeffitsiyentlarini aniqlashda huddi shunday yo‘l tutamiz.

Bu tenglamadagi *S* koeffitsiyentlarini qisman (simlararo) sig‘imlar deb ataladi: S_{mm} indekslar bir xil bo‘lganda-husuiy va indekslar har xil bo‘lganda-o‘zaro sig‘imlar deb ataladi.

Hususiy qisman S_{mm} sig‘imni aniqlash uchun barcha jismlarning

potensiallarini bir xil (tenglashtirish) qilish kerak. Shuning uchun S_{44} hususiy qisman sig‘im o‘lchanadigan 5.5-rasmdagi shemada, 4-sim K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *b*, qolganlari *a* qisqichi bilan ulanadi. K_1 kalitning (pereklyuchatelning) chap holatida barcha simlar U_4 potensialgacha zaryadlanadi. K_1 kalitni (pereklyuchatelni) o‘ng holatga o‘tkazganimizda 4-sim *G* galvanometr orqali razryadlanadi. Galvanometr strelkasi α og‘ishni beradi. Qolgan simlar galvanometrsiz razryadlanadi. Natijada:

$$C_{44} = \frac{q_4}{U_4} = \frac{C_q \alpha}{U_4}$$

ga erishamiz.

O‘zaro qisman sig‘imlarni o‘lchanmaymiz, balki yuqorida keltirilgan tenglikdan foydalanib yozib olamiz.

α potensial koeffitsiyentlari kabel simlarining potensiallarini ularning zaryadlari orqali aniqlaydigan (5.3) tenglamalar sistemasiga kiradi. α_{mm} ko‘rinishidagi koeffitsiyentlar (bir xil indeksli) –hususiy, α_{mn} ko‘rinishidagilari (har xil indeksli)-o‘zaro potensial koeffitsiyentlari deb ataladi.

α_{44} koeffitsiyentni aniqlash uchun, 4-simdan tashqari barchalari nol zaryadga ega bo‘lishlari kerak. Buning simlar shemadan uzilgan bo‘lish kerak. Shu sababdan ushbu tajribani bajarishdan oldin barcha to‘rtta sim bir oz muddatga *A* plankaga ulanadi. Keyin 1, 2, 3 simlar o‘chiriladi, 4-sim K_1 kalitning (pereklyuchatelning) *b* qisqichi bilan ulanadi. K_1 kalitning (pereklyuchatelning) chap holatida 4-sim U_4 potensialgacha zaryadlanadi. K_1 kalitni (pereklyuchatelni) o‘ng holatga o‘tkaeganimizda 4-sim *G* galvanometr orqali razryadlanadi. Galvanometr strelkasi α og‘ishni beradi. Natijada:

$$\alpha_{44} = \frac{U_4}{q_4} = \frac{U_4}{C_q \alpha}$$

ga erishamiz.

Elektrostatik induksiya koeffitsiyentlarini aniqlagandan keyin, quyidagi:

$$\beta_{kp} = \beta_{pk};$$
$$C_{kp} = C_{pk},$$

tengliklarning adolatli ekanligiga (“*Nazariya asoslari*” bo‘limiga qarang), hamda C_{kk} hususiy qisman sig‘imlar, β_{kk}; β_{kp}; β_{pk} elektrostatik

induksiya koeffitsiyentlarining yig‘indisiga tengligiga:

$$C_{11} = \beta_{11} + \beta_{12} + \beta_{13} + \beta_{14},$$
$$C_{22} = \beta_{21} + \beta_{22} + \beta 2_3 + \beta_{24},$$
$$C_{11} = \beta_{31} + \beta_{32} + \beta_{33} + \beta_{34},$$
$$C_{11} = \beta_{41} + \beta_{42} + \beta_{43} + \beta_{44}$$

ishonch hosil qilish kerak.

Keyin elektrostatik induksiya koeffitsiyentlari yordamida quyidagi:

$$\alpha_{kp} = \frac{\Delta_{kp}}{\Delta},$$

ifoda orqali potensial koeffitsiyentlarini aniqlash kerak.

Bu yerda: Δ–(5.1) tenglamalar sistemasining koeffitsiyentlaridan tuzilgan aniqlovchi,

Δ_{kp}–ohirgidagi *k*-chi qatorni va *p*-chi ustunni o‘chirib va yangi hosil bo‘lgan aniqlovchini $(-1)^{k+p}$ ga ko‘paytirish natijasida hosil bo‘ladigan Δ aniqlovchining algebraik to‘ldiruvchisi.

Hususiy potensial koeffitsiyentlarining hisob-kitob qiymatlarini, tajribada olingan qiymatlari bilan taqqoslash kerak.

Nazorat savollari

1. Hususiy va o‘zaro potensial koeffitsiyentlariga va qtsman sig‘imlarga nazariy aniqlik (talqin) bering.
2. Er potensialining ta’sirini inobatga olib, uchsimli liniyaning potensial koeffitsiyentlariga aniqlik bering.
3. “Bitta fazaga ishchi sig‘im” tushunchasidan qaysi hollarda foydalanish mumkin?
4. O‘tkazuvchi jismlar sistemasida o‘zarolik prnsipi (tamoili).
5. α, β, *C* koeffitsiyentlar sistemalari o‘zaro bog‘langan hisoblanadimi (bo‘ladimi)?
6. Tajriba yo‘li bilan β koeffitsiyentlarni aniqlab, α va *C* koeffitsiyentlarni topsa bo‘ladimi?
7. α, β, *C* koeffitsiyentlarini kiritish va qo‘llashning afzalligi nimadan iborat?
8. Kabel simlari zaryadlarini qanday usulda o‘lchash mumkin?
9. Barcha α, β, *C* koeffitsiyentlarini aniqlash uchun nechta mininimal son tajriba bajarish kerak?
10. Nima uchun $\beta_{km}=\beta_{mk}$ tenglik adolatli?

6-laboratoriya ishi. O‘lchov liniyasida elektromagnit to‘lqinlarini tadqiq qilish

Ishdan maqsad

1. O‘lchov liniyasini tuzilishigi o‘rganish va uni sozlash.
2. O‘lchov liniyasi yordamida o‘lchash usullarini o‘zlashtirish.

O‘lchov liniyalarining konstruksiyasi va ishlash tamoili

Uzatish liniyalari bo‘ylab maydon taqsimotini o‘lchashga mo‘ljallangan asboblarga o‘lchash liniyalari deb ataladi. O‘lchov liniyasi yordamida yuklamaning to‘la qarshiligi, qaytish koeffitsiyenti, turg‘un va yugirma to‘lqinlarning koeffitsiyentlari aniqlanadi.

Koaksial va to‘lqin uzatgichli (volnovodli) o‘lchov liniyalari keng tarqalgan. To‘lqin uzatgichli (volnovodli) o‘lchov liniyalarining asosi bo‘lib, keng tomoni markazidan kesilib yaratilgan bo‘ylama tirqishli to‘tburchakli kesimga ega bo‘lgan to‘lqin uzatgichining bo‘lagi hisoblanadi (6.1-rasm). Tirqish bo‘ylab rezonator bilan ulangan zondli karetka siljiydi. O‘lchov liniyasidagi tirqish uzunligi shunday tanlanadiki, uning uzunligi bo‘ylab 5-6 to‘lqin uzunligi joylashishi kerak.

O‘lchov liniyasini sozlash, detektor joylashgan qismidagi (seksiyasida) kamerada aniq rezonans olish (indikator ko‘rsatgichining maksimal qiymati) va to‘lqin uzatgichga zondni optimal chuqurlikka tushurishdan iboratdir. Rezonans tizimi ikkita ikkita rezonatorlardan tuzilgan bo‘lib, ularni sozlash, tashqi elementlardan foydalanib porshenlarni surishdan iboratdir. Generator spektrida bir nechta yaqin joylashagan chastotalar mavjud bo‘lishi mumkinlgi sababli rezonatorlarni sozlash muhimdir. Detektorli seksiyani sozlash kontakt beruvchi porshenni (4) aylantirish va harakatlanuvchi porshenni (5) siljitishdan iboratdir.To‘lqin uzatgichga (volnovodga) zondni tushirish gayka 6 bilan amalga oshiriladi.

O‘lchov liniyasi yordamida o‘lchashning tamoili, liniya bo‘ylab elektromagnit maydonining taqsimotidan kompleks yuklamaning qiymatini va harakterini aniqlash mumkinligiga aosolangan.

Cheklangan uzunlikli to‘lqin uzatgichlarda (o‘lchov liniyasi) sodir bo‘ladigan hodisalarni tavsiflash uchun tushuvchi va qaytuvchi to‘lqinlar konsepsiyasiga asoslangan uzun linininyalar nazariyasi qo‘llaniladi. Tushuvchi va qaytuvchi to‘lqinlarning strukturasi huddi uzun liniyasidagidek deb tahmin qilinadi, ya’ni liniyadagi kuchlanish va

tok faqat bo‘ylama koordinata *h* funksiyasi hisoblanadi. Bu holat quyidagicha yoziladi:

$$\dot{U}(x) = \dot{U}_{пад} e^{-i\gamma x} + \dot{U}_{отр} e^{j\gamma x},$$

$$\dot{I}(x) = \frac{1}{\underline{Z}_0} (\dot{U}_{пад} e^{-i\gamma x} - \dot{U}_{отр} e^{j\gamma x}), \qquad (6.1)$$

bu yerda: $U_{tush.}$ va $U_{qayt.}$-mos ravishda tushuvchi va qaytuvchi to‘lqinlarning kompleksli amplitudalari;

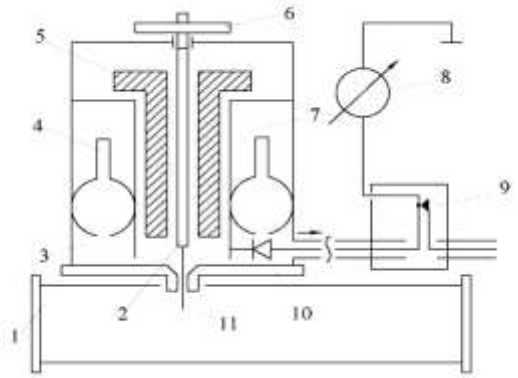
$\underline{Z}_0$-uzatish liniyasining to‘lqin qarshiligi;

γ – tarqalishning kompleks doimiysi.

Tushuvchi to‘lqinning kuchlanish amplitudasi $U_{tush.}$ generatorning quvvati bilan aniqlanadi.

Qaytuvchi to‘lqin kuchlanishi amplitudasining $U_{qay.}$ tushuvchi to‘lqin kompleks amplitudasiga $U_{tush.}$ nisbati, *x* liniyaning ayni kesimida uning chekkasigi ulangan yuklamaning qiymatidan bog‘liq bo‘lib, kuchlanish bo‘yicha qaytish koeffitsiyenti *G(x)* deb ataladi:

$$\dot{\Gamma}(x) = \frac{\dot{U}_{qay}(x)}{\dot{U}_{tush}(x)} \qquad (6.2)$$



6.1-rasm. P1-4 turdagi o‘lchov liniyasining soddalashtirilgan sxemasi:

1 – tirqishli standart kesimdagi to‘lqin uzatgich;
2 – ichki sterjen;
3 – tashqi trubka;
4 – kontakt porsheni;
5 – harakatlanuvchi porshen;
6 – zond tushish chuqurligini o‘zgartiruvchi gayka;
7 – ichki trubka;
8 – indikator asbobi;
9 – YuCh filtr;

10 – detektor;

11 – zond

Umummy holda qaytish koefisienti k ompleks qimat hisoblanadi, ya’ni

$$\dot{\Gamma}(x) = |\Gamma|(x) : e^{j\varphi},$$

bu yerda φ–qaytish koeffitsiyentining fazasi.

Passiv yuklamalar uchun $|\Gamma| \leq 1$ sharti doim bajariladi. Qaytish koeffitsiyenti $\dot{\Gamma}(x)$ yuklama qarshiligi $Z_{yuk.}$ va to‘lqin qarshiligi orqali aniqlanadi

$$\dot{\Gamma}(x) = \frac{\underline{Z}_{yuk} - \underline{Z}_0}{\underline{Z}_{yuk} + \underline{Z}_0} \qquad (6.3).$$

Agar to‘qin qarshiligi yuklama qarshiligi bilan mos bo‘lmasa, ya’ni $Z_{yuk.} \neq Z_0$, u holda qaytish koeffitsiyenti noldan farq qiladi va liniyada ikkita –tushuvchi va qaytuvchi to‘lqinlar mavjud bo‘ladi. Liniyada bir paytning o‘zida uning turli nuqtalarida turli faza siljishga ega bo‘lgan ikkita to‘lqinning mavjudligi shunga olib keladiki, natijaviy tebranish o‘zining amplitudasini va fazasini nuqtadan nuqtaga o‘zgartirib boradi, ya’ni tushuvchi va qaytuvchi to‘lqinlarning interferensiyasi sodir bo‘ladi. Bu ikki to‘lqinning interferensiyasi liniyada maydonning (λ/2 davrli) strukturasini yaratadi, va bu kuchlanishning maydonning yig‘ilish nuqtalarida $U_{max.}$ va tugunlarida $U_{nin.}$ Qiymatlari tavsiflanadi. Kuchlanishning maydonning yig‘ilish va tugunlaridagi qiymatlari Yuklama qarshiligidan bog‘liq bo‘lib, quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$U_{min} = U_{tush..} - U_{qaytuv.},$$
$$U_{max} = U_{tush.} + U_{qaytuv.},$$

Amaliy muammolarning yechimi ko‘p hollarda uzatish liniyasini turli xil Yuklamalar bilan moslashtirishni talab qiladi. Moslashtiruvchi meyo‘r sifatida kuchlanish bo‘yicha turuvchi to‘lqin koeffitsiyenti (KTTK)qo‘llaniladi:

$$KTTK = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \qquad (6.4)$$

Ba’zi hollarda KTTK o‘rnida boshqa, yugurma to‘lqin koeffitsiyenti (YuTK) qo‘llaniladi:

$$YuTK = \frac{1}{\text{KTTK}} = \frac{U_{\min}}{U_{\max}}. \qquad (6.5)$$

O‘lchash liniyasi yordamida yuqorida keltirilgan koeffitsiyentlaridan birini aniqlab, qaytish koeffitsiyentining modulini |Γ| hisoblash mumkin:

$$|\Gamma| = \frac{1 - TTK}{1 + YuTK} \quad \text{va} \quad |\Gamma| = \frac{KTTK - 1}{\text{KTTK} + 1}. \qquad (6.6)$$

Shunday qilib, yo‘qotishsiz liniyada qaytish koeffitsiyentining moduli, *l* koordinata qiymatidan bog‘liq bo‘lmay balki, yuklama qarshiligi $Z_{\text{yukl.}}$dan to‘liq bog‘liqdir.

Yuklama ulangan liniya bo‘lagining (bir qismi) istalgan nuqtasi ko‘ndalang kesimining kirish qarshiligi, yuklamaning qarshiligi $Z_{\text{yukl.}}$, liniya to‘lqin qarshiligi $Z_{\text{l.}}$ va yuklama bilan o‘lchov olib borilayotgan nuqtagacha masofa *l*dan bog‘liq:

$$\underline{Z}_{kir.}(l) = \underline{Z}_0 \frac{\underline{Z}_{yuk.} + j\underline{Z}_0 tg(l\beta)}{\underline{Z}_0 + j\underline{Z}_{\text{yuk}} tg(l\beta)}, \qquad (6.7)$$

bu yerda: β- tarqalish koeffitsiyentining mavhum qismiga teng bo‘lgan, faza koeffitsiyenti

$$\gamma = \alpha + j\beta;$$

α- to‘lqinning so‘nish koeffitsiyenti;

$$\beta = \frac{\omega}{\nu_{\phi}} = \omega\sqrt{\varepsilon_a \mu_a} = \frac{2\pi}{\lambda};$$

ω-aylanma (siklik) chastota;

ν_f-fazaviy tezlik;

λ- liniyadagi to‘lqin uzunligi;

β·*l* liniyada elektrik to‘lqin uzunligi.

Liniyaning kirish qarshiligi (6.7) ifodadan ko‘rinib turibdiki, π/β=λ/2 davrli funksiyadir. Bundan shunday hulosa kelib chiqadiki, λ/2ga karrali bo‘lakka uzaytirilgan yoki qisqartirilgan liniyaning kirish qarshiligi o‘zgarmas qolar ekan.

$Z_{\text{kir.}}$ va $Z_{\text{yukl.}}$ aniqlash uchun ifodalarni yozishda Z_0 nisbatan normirovkani qo‘llaniladi:

$$\dot{\bar{Z}}_{\text{kir.}} = \frac{\underline{Z}_{\text{kir.}}}{\underline{Z}_0} \text{ yoki } \dot{\bar{Z}}_{\text{kir.}} = \frac{\underline{Z}_{\text{kir.}}}{\underline{Z}_0}.$$

Yo‘qotishlarsiz ideal liniyada yuklamaning asosiy hususiy hollar

uchun tok va kuchlanishn taqsimotlaring o‘ziga hos hususiyatlarini ko‘rib chiqamiz. Shuni ham inobatga olish kerakki, liniya bo‘ylab tok va kuchlanish taqsimotini aniqlash, tok va kuchlanishnining qayta o‘zgartirishi sodir bo‘ladigan detoktor golovkali (boshcha) o‘lchov liniyasi yorlamida amalga oshiriladi. Liniya bo‘ylab kuchlanishning taqsimoti buday holda bir qutbli bo‘ladi.

Umumiy holda, yuklamaning to‘liq qarshiligi $Z_{yukl.}$ (impedans) va uning o‘tkazuvchanligi $Y_{yukl.}$ (admitans) kompleks harakterga ega:

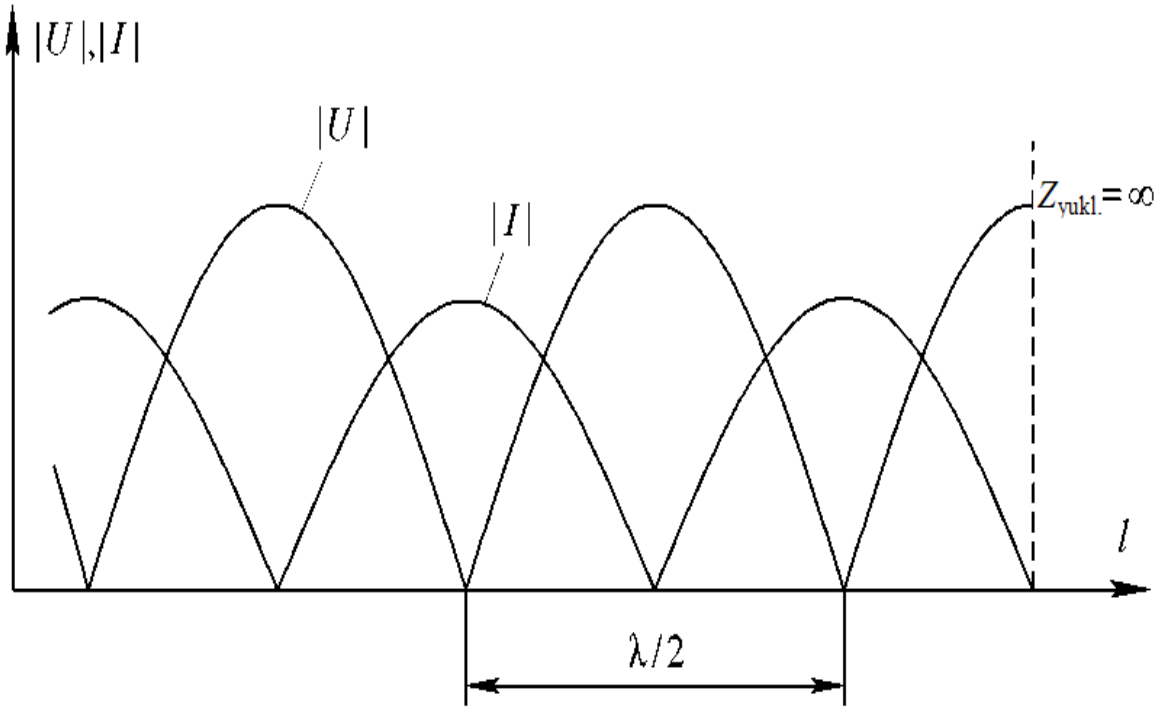
$$\underline{Z}_{yuk.} = R_{yuk} + jX_{yuk}$$

$$\underline{Y}_{yuk.} = G_{yuk.} + jB_{yuk}$$

bu yerda: $R_{yukl.}$ va $G_{yukl.}$ mos ravishda yuklama qarshiligi va o‘tkazuvchanligining haqiqiy qismlari (reaktiv qarshilik va reaktiv o‘tkazuvchanlik);

$H_{yukl.}$ va $V_{yukl.}$- yuklama qarshiligi va o‘tkazuvchanligining mavhum qismlari (aktiv qarshilik va aktiv o‘tkazuvchanlik).

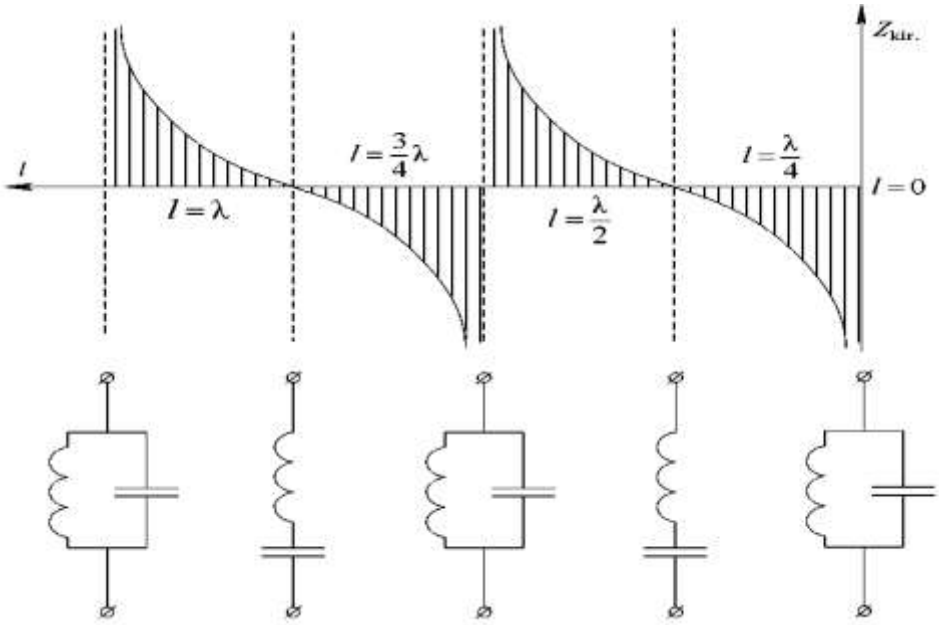
1. Uzib qo‘yilgan, ya’ni $Z_{yukl.}=\infty$ (ajratilgan) (salt yurish) liniya bo‘ylab maydon taqsimotini ko‘rib chiqamiz (6.2-rasm).



6.2-rasm. Uzib qo‘yilgan (ajratilgan) liniya.

Liniya oxiri uzilganligi sababli, shunday rejim sodir bo‘ladiki, liniya ohirida kuchlanishning maksimal, tokning esa nol qiymatlari hosil bo‘ladi. Maydonning bo‘rtgan nuqtalarida kuchlanish

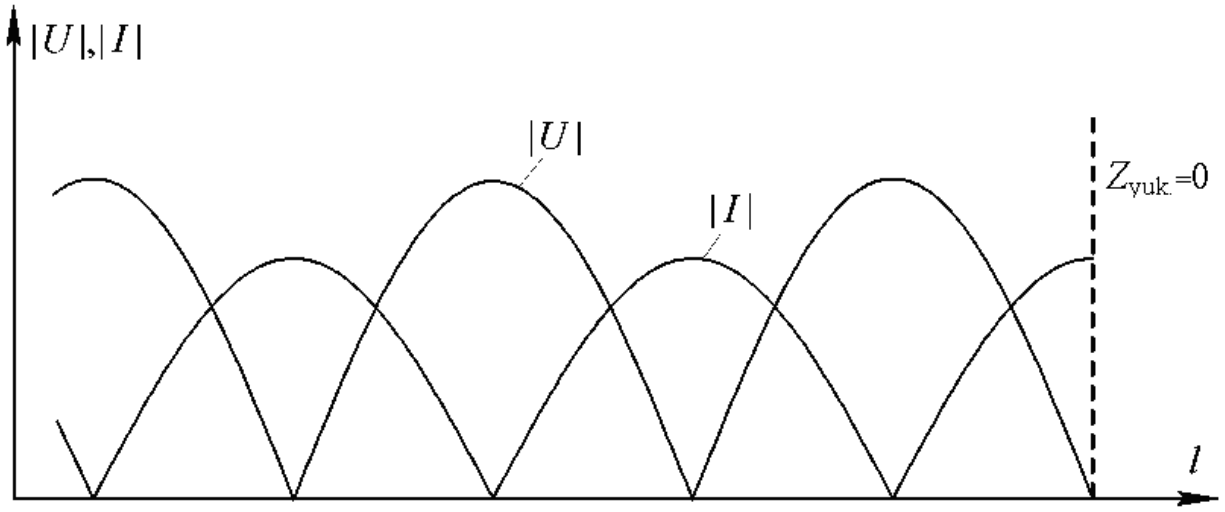
$U_{max}=U_{tush.}+U_{qayt.}=2U_{tush.}$, tok uchun esa $I_{max} = 2I_{tush.}$. Tugun nuqtalarida $U_{min}=U_{tush.}+U_{qayt.}=0$; $I_{min}=0$. Liniya ohiridan $l=\lambda/4$ga teng masofada kuchlanishning tugun iva tokning bo‘rtishi hosil bo‘ladi. Liniyaning bu kesimida bo‘lakning kirish qarshiligi nolga teng‘ ekvivalent shemasi esa ketma-ket tebranish konturi kabi tasavvur qilish mumkin. Liniya ohiridan $l=\lambda/2$ga teng masofada tok yana nolga, kuchlanish esa maksimal qiymatlarga ega. Bu holda bo‘lakning qarshiligi cheksiz katta bo‘lib, ekvivalent shemasini esa parallel tebranish konturi kabi tasavvur qilish mumkin. $\lambda/4$, $\lambda/2$, $(3/4)\lambda$ va h.k. nuqtalar oralig‘ida liniya qarshiligi uning ohirigacha masofadan bog‘liq bo‘lgan holda sig‘imli yoki induktivlikli harakterga ega bo‘lishi mumkin (6.3-rasm).



6.3-rasm. Uzilgan (ulanmagan, ochiq) liniya uchun kirish qarshiligining epyuralari.

2. Qisqa tutashtirilgan liniya ($Z_{yuk.}=0$).

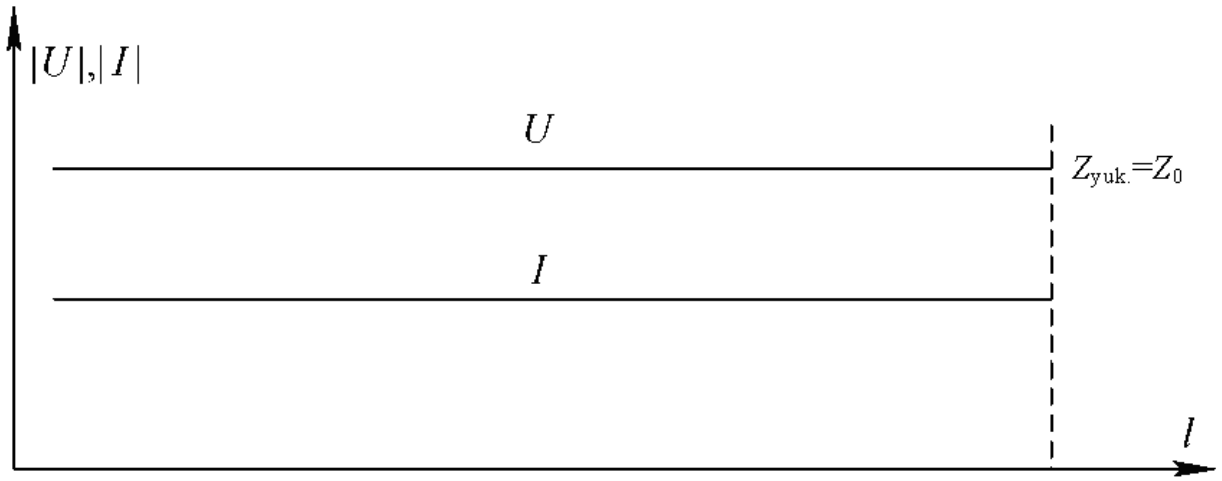
Bu holda liniya ohirida tok maksimal qiymatga ega bo‘lib, kuchlanish nolga teng. Tok va kuchlanishning taqsimotlari salt yurish (uzilgan liniya) holatiga monan bo‘lib, faqat faza bo‘yicha $\lambda/4$ga siljiydi (4-rasm).



6.4-rasm. Qisqa tutashtirilgan liniya.

3. Liniya to‘lqin qarshiligiga, ya’ni $Z_{yuk.}=R_{yuk.}=Z_0$ ga teng bo‘lgan aktiv qarshilikka yuklangan.

Bu holda liniya cheksiz uzun liniyaga o‘hshash bo‘ladi. Uzatiladigan (olib kelinadigan, beriladigan) energiya liniya bo‘ylab yugurma to‘lqin ko‘rinishida taqsimlanadi va uning ohirida ulangan yuklamada to‘liq yutiladi. Kuchlanish va tok amplitudalari liniyaning barcha nuqtalarida doimiy qoladi (5-rasm).

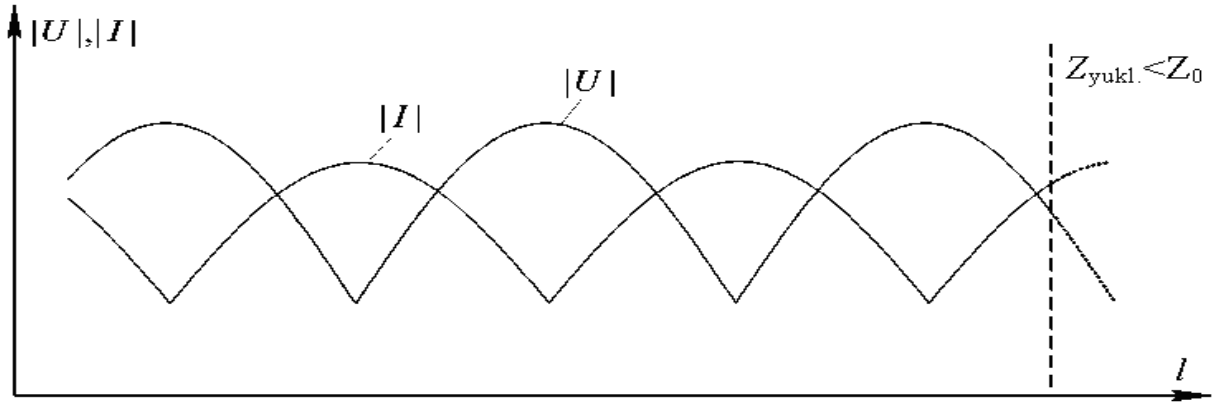


6.5-rasm. Moslashtirilgan liniya.

4. Liniya uning to‘lqin qarshiligiga teng bo‘lmagan, ya’ni $Z_{yukl.} = R_{yukl.} \neq Z_0$ sof aktiv qarshilikka yuklangan.

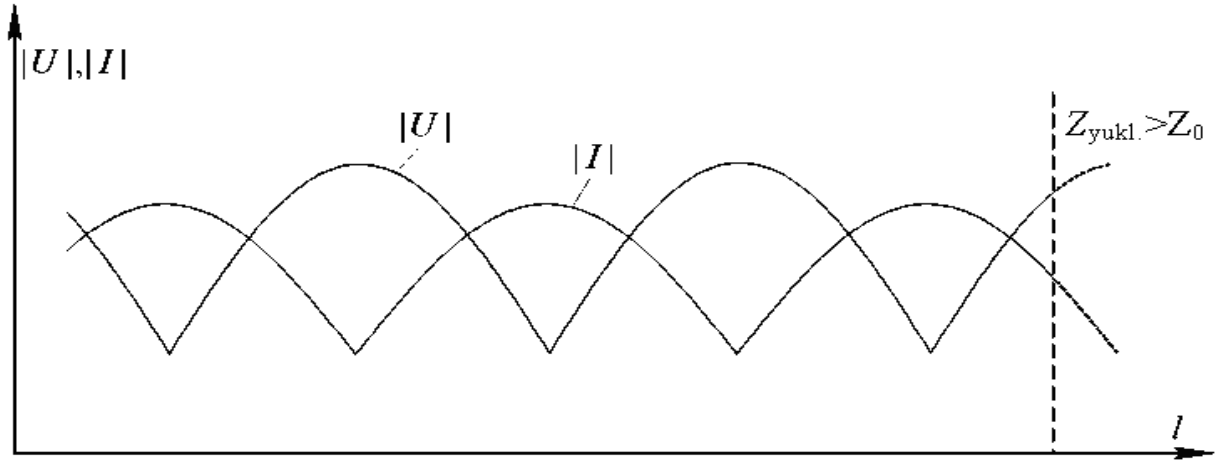
Bunday holda energiyaning bir qismi yuklamadan qaytadi va

liniyada tushuvchi va qaytuvchi to‘lqinlar mavjud bo‘ladi. Maksimum va minimumning qiymati va o‘rni (koordinatasi) liniya to‘lqin qarshiligi va yuklama qarshiligi orasidagi munosobat bilan aniqlanadi. $Z_{yukl.}<Z_0$ bo‘lganda, va hususan Z_{yukl} haddan tashqari Z_0 dan kam (kichik) bo‘lsa, kuchlanish va tok taqsimoti qisqa tutashuv holatini namoyon etadi. Liniya ohirida tok maksimumi va kuchlanish minimumi kuzatiladi (6-rasm).



6.6-rasm. Liniya, uning to‘lqin qarshiligidan juda kichik bo‘lgan sof aktiv qarshilikka yuklangan.

$Z_{yukl.}>Z_0$ bo‘lganda, kuchlanish taqsimoti ma’lum darajada salt yurishdagi holatini namoyon etadi, ya’ni liniya ohirida kuchlanish maksimumi va tok minimumi kuzatiladi (7-rasm).

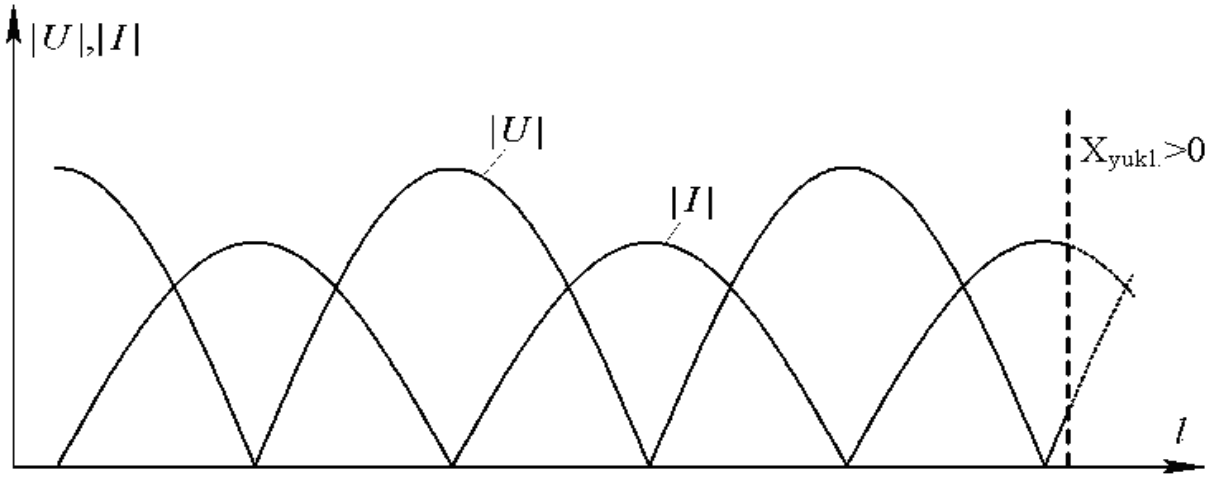


6.7-rasm. Liniya, uning to‘lqin qarshiligidan juda katta bo‘lgan sof aktiv qarshilikka yuklangan.

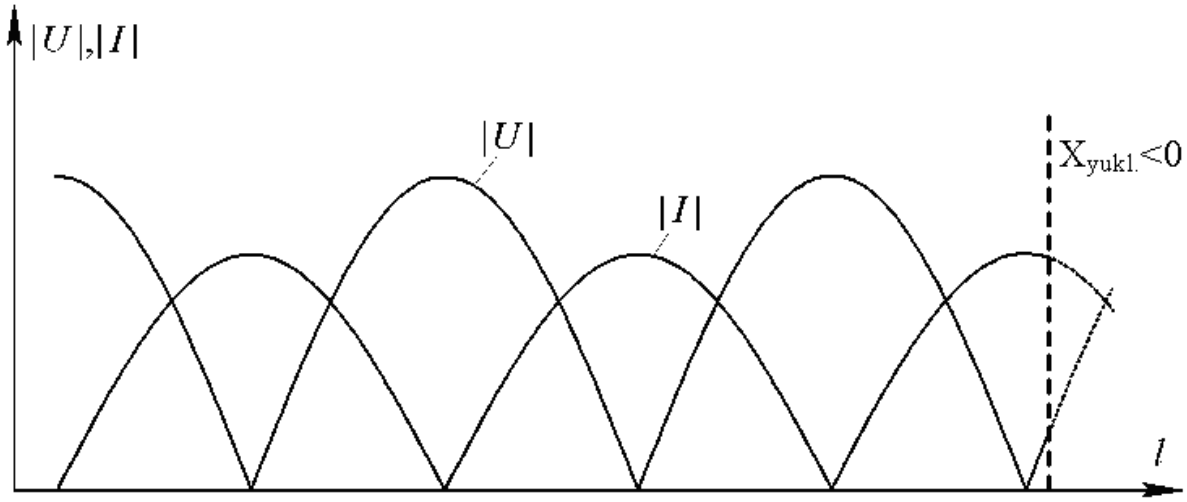
5. Liniya kompleks, ya’ni $Z_{yukl.}=R_{yukl.} + jX_{yukl.}$ qarshilikka yuklangan.

Liniyada tushuvchi va qaytuvchi to‘lqinlar mavjud bo‘ladi. Turgan to‘lqinning tugunlari va bo‘rtmalari reaktiv qarishilikning hususiyatidan bog‘liq holda, liniya ohiriga nisbatan istalgan yo‘nalishda siljigan bo‘ladi.

6.8 va 6.9-rasmlarda mos ravishda induktiv ($X_{yukl.}>0$) va sig‘im ($X_{yukl.}<0$) harakterli yuklamasi bor bo‘lgan liniya bo‘ylab kuchlanish va tokning taqsimotlari ko‘rsatilgan.



6.8-rasm. Liniya induktiv harakterli kompleks qarshilikka yuklangan.



6.9-rasm. Liniya sig‘im harakterli kompleks qarshilikka yuklangan.

Yuqorida keltirilgan ma’lumotlardan kelib chiqadiki, o‘lchov liniyasida kuchlanish va tokning taqsimotilari, reaktiv qarshilikning qiymati va harakteri bilan to‘liq aniqlanadi. Uzun liniyalarning bunday

hususiyatiga o‘lchov liniyasi yordamida to‘la qarshilikni o‘lchash usuli asoslangan.

To‘la qarshiliklarni o‘lchash usuli

O‘lchov liniyasi yordamida U_{max} va U_{min} aniqlanadi, keyin esa (6.4) yoki (6.5) ifodalardan KTTK va YUTK hisoblab chiqiladi.

Qaytish koeffitsiyentining fazasi φ_G ni aniqlash uchun, yuklama joylashgan liniya ohiridan, turuvchi to‘lqinning yaqin minimumgacha bo‘lgan masofa, ya’ni Δx_{min} o‘lchanadi:

$$\varphi_G = \frac{4\pi}{\lambda}\Delta x_{min}. \qquad (6.8)$$

Liniyada Δx_{min}ni aniqlash o‘ziga hos hususiyatlarga ega, chunki zond o‘rnatilgan tirqish liniya ohirigacha yetmaydi. Bundan tashqari, yuklama o‘lchov liniyasiga qo‘shimcha to‘lqin uzatgich orqali ulanadi. Bunda yuklamadan kuchlanishning birinchi minimumigacha bo‘lgan masofani aniqlab bo‘lmaydi. Vaziyatdan chiqib fazani o‘lchash uchun qo‘yidagi holatdan foydaniladi, yani bir jinsli yo‘qotishlarsiz liniyada turuvchi to‘lqinlarning manzarasi va qarshilik qiymati har yarim to‘lqin o‘lchami masofasida takrorlanib boradi. Shu sababdan yuklama ulanishi nuqtasining shartli kesimi, yuklamadan o‘lchangan istalgan butun songa karrali yarim to‘lqin uzunligidagi masofani qabul qilish mumkin. Amalda yuklamaning shartli kesimi quyidagicha aniqlanadi. Yuklama ulangan kesimda liniya qisqa tutashtiriladi. O‘lchov liniyasida kuchlanishning biron bir tuguni koordinatasi (o‘rni, holati) belgilanadi. Bo‘ylama koordinata x bilan aniqlanadigan kuchlanishning ushbu tuguni joylashgan kesim, yuklamaning shartli kesimi hisoblanadi.

Bu holda Δx_{min}ning qiymati, bu liniyaga yuklamani ulanganda genenrator tomonga x_0 kesimdan x_{min} kesimigacha va to‘lqin minimumi Shu tomonga siljiydi eng yaqin masofa hisoblanadi.

Liniyaning ishlash tamoili uning turli x_i kesimlarida indikator toki $I(x)$ni o‘lchashdan iboratdir. O‘lchov liniyasi bo‘ylab zondning holatini (koordinatasini) aniqlaydigan bo‘ylama x_i koordinata, noniusli o‘lchov shkalasidan sanaladi. Indikatorning $I(x)$ ko‘rsatgichi bo‘yicha liniyaning kesimida maydonning nisbiy kuchlanganligi aniqlanadi. Buning uchun liniyani graluirovka qilish kerak, chunki, kuchlanganlikning nisbiy $E(x)/E_0$ qiymati va unga mos keladigan to‘g‘rilangan $I(x)$ tok diodning nochiziqli harakteristikasi bilan bog‘liq. $I=I(E/E_0)$ detektorli

harakteristika graduirovka natijasi hisoblanadi. Odatda uni ohiri qisqa tutashtirilgan liniya bo‘ylab maydon kuchlanganligi $E(x)$ning sinussoidal taqsimotidan foydalanib turuvchi to‘lqin usulida yozib olinadi.

Ushbu laboratoriya ishining mohiyati, yuklamaning (normirlangan) keltirilgan kompleks qarshilikning aniqlash uchun zarur bo‘lgan kompleks o‘lchovlarni amalga oshirishni egallab olishdan iborat.

$$Z_{yukl.}=R_n + jX_n.$$

Ishni bajarish dasturi

1. Generator va o‘lchov liniyasini ishga tayyorlang. Qisqatutashturuvchi qurilmani liniyaning chiqish (tomoniga) uchiga ulang. Generator attenyuatorini maksimal so‘ndirishga olib chiqib, “Род работы”, “Ishlash rejimi” ruchkasini uzluksiz generasiya holatiga qo‘ying. Generatorni tarmoqqa ulang va 10-15 daqiqa davomida ishlab qizigandan keyin, “Qaytargich kuchlanishi” ruchkasi yordamida klistron generasiyalaydigan maksimal quvvatga sozlang. Liniya indikatori orqali detektor seksiyasini rezonansga sozlang.Liniya zondini turuvchi to‘lqin maksimumiga sijiting va attenyuatorni shunday sozlangki, indikator strelkasi shkala chegarasida bo‘lsin.

Diod va indikatorning ishdan chiqishini oldini olish maqsadida liniyasida o‘rnatilgan o‘lchov asbobining strelkasining shkaladan chiqib ketishiga yo‘l qo‘yilmasin. Tanlangan chastotada generatorni sozlagandan keyin buragichlarni o‘zgartirmaslik kerak.

2. To‘lqin uzatgichda to‘qinning uzunligi λni aniqlang va erkin fazoda to‘lqinning uzunligi λ_0 va generator sozlangan chastota $f_0$ni quyidagi ifoda orqali hisoblab chiqing:

$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{\sqrt{1+\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}}, \qquad (6.9)$$

bu yerda: $\lambda_{kr.} = 2a$;

a - to‘lqin uzatgichining keng tomoni o‘lchami.

Qisqa tutashtiruvchi qurilmani yechmasdan turib, turuvchi to‘lqinning ikkita yonma yon tugunlari (minimumlari) holatini x'_0 va x''_0ni aniqlang va yozib oling. Tabiiyki bu holda to‘lqin uzatgichida to‘lqinning uzunligi quyidagiga teng bo‘ladi: $\lambda = 2\,(x''_0 - x'_0)$.

Har bir tugun o‘rnini o‘lchash aniqligini oshirish uchun “vilka” usuli

bilan qo‘llaniladi. Bunday holda tugun koordinatasi, indikatorning uncha ko‘p bo‘lmagan, bir xil ko‘rsatgichlariga mos bo‘lgan tugun ikkala tomoni koordinatalarining o‘rtacha arifmetik qiymatiga teng.

3. Turuvchi to‘lqinlar usulida liniya detektorini graduirovkasini amalga oshiring. Buning uchun qisqa tutashtirgichni liniyadan uzmay turib, indikator toki $I(x)$ni, zond o‘rni $x$dan bog‘liqligini oling.

O‘lchovlarni ihtiyoriy tugundan boshlang va eng yaqin do‘nglika (bo‘rtmaga) yetgancha davom ettiring(ya’ni $\lambda/4$ oralig‘ida). $I(\Delta x)$ egriligini qurish uchun, 8-10 o‘lchovlarni amalga oshiring (bu yerda $\Delta x_i(x_i - x_0)$).

Liniyada turgan to‘lqin sodir bo‘lganda kuchlanganlikni harakterlaydigan $E(x_0)=E_0 \sin(\Delta x \cdot k)$ (bu yerda $k=2\pi/\lambda$-to‘lqin soni) ifodadan, x_i har bir qiymati uchun liniyada kuchlanganlikning nsbiy qiymatini aniqlang.

Detektorli harakteristika millimetrovka qog‘ozida, dekart koordinatalarida quriladi.Bu holda harakteristikaning har bir nuqtasining absissasi nisbiy kuchlanganlik $E(\Delta x_i)/E_0$ning hisoblab chiqilgan qiymatiga, ordinatasi esa mos keladigan $I(\Delta x_i)$ tokka teng. Harakteristikaning oraliq nuqtalari bir me’yorda o‘zgaradigan chiziq bilan tutashtiriladi.

4. Tadqiq qilinayotgan yuklama uchun KTTK va Δx_{min} o‘lchansin. Liniyaning chiqish qismiga yuklama ulansin. Zondni liniya ohirida qisqa tutashuv sodir bo‘lganda turuvchi to‘lqinlar tuguni hosil bo‘ladigan ixtiyoriy x_0 kesimga keltiring. Karetkani x_0 o‘rnidan generator yo‘nalishi tomonga siljitib, $x_0$ga yaqin minimumni toping. Indikator ko‘rsatgichining shu minimumdagi I_{min}ni qayt qiling va vilka usuli bilan uning koordinatasi x_{min}ni aniqlang. Izlangan qiymat $\Delta x_{min}=x_{min}- x_0$.

Bunda yuklama ulanganda turuvchi to‘lqin tuguni qaysi yo‘nalishda siljishini ham inobatga olish kerak. Boshqacha qilib aytganda Δx_{min} noldan katta va ham noldan kichik bo‘lishi mumkin.

KTTKni aniqlash uchun turuvchi to‘lqin maksimumida I_{max} tokni ham o‘lchash zarur va undan keyin detektorli harakteristikadan nisbiy kuchlanganliklar E_{max}/E_0 va E_{min}/E_0ni, mos bo‘lgan I_{max} va I_{min}ni aniqlash kerak. Shunda KTTK E_{max}/E_{min} E_0ga teng.

KTTKni aniqlash shunday bo‘lishi mumkinki, I_{min} qiymatini qulay qayt qilishda, tokning maksimal qiymati asbob strelkasini shkalasidan chiqarib yuborishi, I_{max} qiymatini qulay qayt qilishda esa tokning minimal qiymati asbob strelkasi shkalaning noliga yaqin bo‘lishi mumkin (KTTK>8 holat). Bu holda KTTK “ikkilangan kuchlanish

usulida” aniqlanadi. Bunday usulning mohiyati qo‘yidagicha: zond I_{min}ga mos bo‘lgan Z_0 holatga (o‘ringa) keltiriladi,keyin Z_0 holatdan ikki tomonga indikatorning minimum ko‘rsatgichiga nisbatan ikki marta ortiq bo‘lganda zondning o‘rni aniqlanadi va shu nuqtalar orasidagi l masofa topiladi. KTTK quyidagi ifodadan topiladi:

$$\text{KTTK} = \frac{1}{\sin\left(\frac{\pi l}{\lambda}\right)}\sqrt{1+\sin^2\left(\frac{\pi l}{\lambda}\right)} \ . \qquad (6.10)$$

KTTK va yuklamaning faza burchagini o‘lchash jarayonida olingan ma’lumotlardan yuklamaning to‘la qarshiligi topilsin:

$$Z = \frac{\text{KTTK} - 0{,}5j(KCBH^2 - 1)\sin\varphi_\Gamma}{\text{KTTK}^2\sin\left(\frac{\varphi_\Gamma}{2}\right) + \cos^2\left(\frac{\varphi_\Gamma}{2}\right)}, \qquad (6.11)$$

bu yerda: $\varphi_G = (4\pi/\lambda)\cdot\Delta x_{min}$, [rad].

Yuklama qarshiligining qiymati quyidacha ko‘rinishda yozilsin: $Z_{yukl.} = R_{yukl.} + jX_{yukl.}$, ya’ni yuklamaning haqiqiy va mavhum qismlarini ajrating va reaktivlik harakterini ko‘rsating.

Hisobotni shakllantirish (tuzish)

Laboratoriya bo‘yicha hisobot quyidagilardan tuzilishi kerak:

1. Laboratoriya qurilmasining shemasi;
2. To‘lqin uzatgichida to‘lqin uzunligini o‘lchash natijalari, to‘lqin uzatgichida to‘lqin uzunligini hisoblash natijalari va generator sozlangan chastota;
3. Detektorning graduirovkalangan harakteristikasi;
4. Yuklamaning to‘liq qarshiligi hisob-kitobi;
5. O‘lchov va hisob-kitob natijalari;
6. Olingan ma’lumotlar bo‘yicha hulosalar.

Nazorat savollari

1. O‘lchov liniyasining tuzilishi va ishlash tamoili.
2. O‘lchov liniyasini sozlash.
3. O‘lchov liniyasinining ekvivalent shemasi.
4. To‘g‘ri burchakli to‘lqin uzatgichlarida H_{10} turdagt to‘lqinlar, $\vec{E}$ va

$\vec{H}$ vektorlar, sirt toklari.

5. Turli xil yuklamalarda liniyada turuvchi to‘lqinlar.

6. KTTK va YUTKni aniqlash, va ularni o‘lchov liniyasi yordamida o‘lchash.

7. KTTK, $|\Gamma|$ va $Z_{yukl.}$ orasidagi bog‘liqlik.

8. Liniyani graduirovkalashdan belgilangan maqsad.

9. Nima sababdan o‘lchov liniyasida tirqish uning keng tomonida joylashadi.

10. Turgan to‘lqin minimumi joylashgan kesimdagi meyorlangan qarshilik KTTKga tengligini isbotlang.

11. O‘lchov liniyasida o‘lchashlarda asosiy hatoliklar manbalari.

12. O‘lchov liniyasini graduirovkalash qanday va nima maqsadlarda amalga oshiriladi.

13. Yuklamaning faza burchagi qanday aniqlanadi.

14. O‘lchov liniyasi yordamida KTTK, YUTK va $Z_{yukl.}$ qanday aniqlanadi.

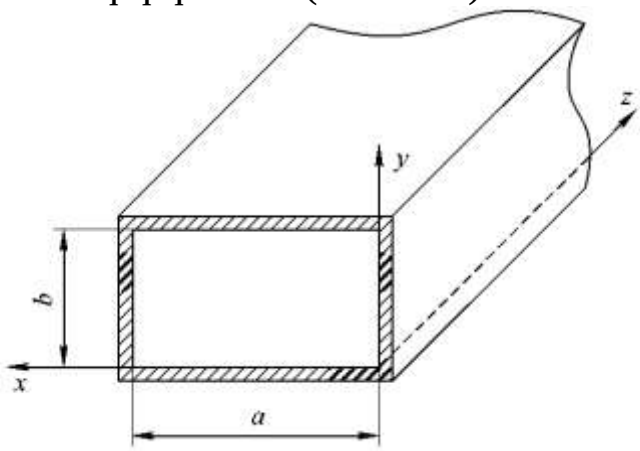
7-laboratoriya ishi. To‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichining tavsiflarini tadqiq qilish

Ishdan maqsad

To‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichida H_{10} to‘lqini maydonini tadqiq qilish.

Ishni bajarish bo‘yicha qisqacha ko‘rsatmalar

Laboratoriya ishida to‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichida H_{10} to‘lqinining maydoni tadqiq qilinadi (7.1-rasm).



7. 1-rasm. To‘g‘riburchakli metali to‘lqinuzatgichi.

1. To‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichida to‘lqin uzligini va uning ishchi diapazonini aniqlash.

Sof holda H_{10} turdagi to‘lqinni ishlatishda to‘lqinuzatgichini qo‘llash mumkin bo‘lgan to‘lqinlar diapazonini baholash uchun, bu turdagi to‘lqinning mavjud bo‘ishi yagona shartidan **:** $2a>\lambda>a$; $\lambda>2b$ foydalanish kerak. Bu shart quyidagi: H_{10}ning kritik to‘lqin uzunligi $\lambda_{kr}=2a$ va maydonning to‘lqinuzatgich tizimida $\lambda<\lambda_{kr}$ bo‘lganda tarqalishi mumkin ekanligini bilgan holatdan keltirib chiqartiriladi.

2. To‘lqin uzatgichida maydon taqsimotini tadqiq qilish.

To‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichida maydon manzarasini [1] adabiyotda taklif etilgan (150–158 betlar) usulda qurish mumkin.

To‘lqin uzatgichining ko‘ndalang kesimida maydon taqsimotini tadqiq qilish uchun maydonni tashkil etuvchilarini aniqlash kerak. Ularni [1] adabiyotda keltirilgan (139–146 betlar) H_{mn} turdagi magnit to‘lqin maydoni uchun ifodalardan keltirib chiqarish mumkin.

H_{10} (m=1, n=0) elektromagnit maydon to‘lqini tashkil etuvchilari uchun ifodalar quyidagi ko‘rinishna ega:

$$\dot{E}_x = 0;$$
$$\dot{E}_y = -j\omega\mu_a \frac{a}{\pi} c_M \sin(\frac{\pi}{a}x)e^{-jhz};$$
$$\dot{E}_z = 0;$$
$$\dot{H}_y = jh \frac{a}{\pi} c_M \sin(\frac{\pi}{a}x)e^{-jhz};$$
$$\dot{H}_y = 0;$$
$$\dot{H}_z = c_M \cos(\frac{\pi}{a}x)e^{-jhz}, \qquad (7.1)$$

bu yerda: s_M – amplitudali koeffitsiyent;

h – bo‘ylama to‘lqin soni:

$$h = \frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}$$

To‘lqin uzatgichining kesimida maydon taqsimotini grafiklarini qurishda ordinata o‘qi bo‘ylab meyorlangan masshtabni qo‘llash kerak. Normirovkalash funksiyaning maksimal qiymati bo‘yicha amalga oshiriladi.

H_{10} elektr maydoni to‘lqini tashkil etuvchilarining x dan ($0 \le x \le a$) normirlangan bog‘liqligini olish misolini ko‘rib chiqamiz. (1) ifodadan foydalanib, quyidagi ko‘rinishda elektr maydoni kompleks amplitudasi moduli uchun ifodasini yozamiz:

$$\left|\dot{E}_y\right| = E_{ymax}\sin(\frac{\pi}{a}x),$$

bu yerda

$$E_{ymax} = \omega\mu_a \frac{\pi}{a} c_M.$$

Shu sababli normirlangan bog‘liqlik quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\frac{E_y}{E_{ymax}} = E_{ymax}\sin(\frac{\pi}{a}x).$$

Olingan bog‘liqlikni grafigini chizish qiyin emas.

3. To‘lqin uzatgichi devorlarida tok taqsimoti manzarasini chizish (hisob-kitob topshirig‘ining 3-bandi).

Buning uchun o‘tkazuvchanlik tokining sirt zichligi vektori $\dot{\bar{\nu}}_{o'tk}$ ni bilish kerak.

$\dot{\bar{\nu}}_{o'tk}$ vektorining qiymati va yo‘nalishi ideal metallda magnit

maydonining tangensial tashkil etuvchilari uchun chegaraviy shartlaridan kelib chiqib quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\dot{\bar{v}}_{\text{o'tk}} = \bar{J}_n, \dot{\bar{H}} \ ,$$

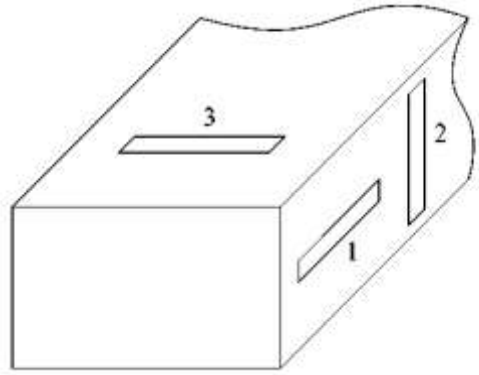
Bu yerda: $\dot{\bar{H}}$ – to‘lqin uzatgichi devorlarida magnit maydoni vektori;

$\bar{J}_n$ – metall sirtga yo‘nalgan normal.

4. Berilgan tur to‘lqinli to‘lqin uzatgichida tirqish turini (nurlanadigan va nurlanmaydigan) aniqlash.

Bu yerda [2-band bo‘yicha] to‘lqin uzatgichi devorida sirt toklarining taqsimotini tadqiq qilish kerak. To‘lqin uzatgichlari amaliyotida tirqish deb, uning devorida uzunligi enidan ancha uzun bo‘lgan to‘g‘riburchakli teshikka aytiladi. Agar tirqish tok liniyalari bilan kesishsa, unda bunday tirqish nurlanuvchi hisoblanadi. Agar tirqish tok chiziqlariga parallel hosil qilingan bo‘lsa unda bunday tirqish nurlanmaydigan hisobladi. ,

7.2-rasmda H_{10} to‘lqinli to‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichi devorlarida hosil qilingan nurlanuvchi (1,3) va nurlanmaydigan (2) tirqishlar tasvirlangan.



7.2-rasm. Nurlanuvchi va nurlanmaydigan tirqishlar

To‘lqin uzatgichida to‘lqinni quyidagicha qo‘zg‘atish mumkin:

a) Elektr maydoni kuchlanganligi vektori yo‘nalishining bo‘ylab shu maydon maksimal qiymatga ega bo‘lishi kerak bo‘lgan nuqtalarida tokli o‘tkazgichni (silindrik sterjen) joylashtirish orqali;

b) Magnit maydoni kuchlanganligi maksimal qiymatga ega bo‘lishi mumkin bo‘lgan nuqtalarga ramkani (halqa) joylashtirish orqali;

v) To‘lqin uzatgich devorlaridan oqib o‘tadigan tok kuch chiziqlariga perpendikulyar kesilgan tirqish yordamida. Tirqish ustida tashqi manba yordamida liniyalari tok liniyalarini davom ettirishi mumkin bo‘lgan elektr maydoni hosil qilish kerak.

Odatda to‘lqin uzatgichining istalgan bir chekkasi (ohiri) o‘tkazuvchan devor bilan (siljiydigan porshen) berkitiladi, va shu sababdan energiya faqat bir tomonga uzatiladi. Manba tomonidan to‘lqin uzatgichiga uzatiladigan quvvat qiymati (qo‘zg‘atish intensivligi) qo‘zg‘atuvchi element va porshen orasidagi z_0 masofadan bog‘liq.

Eng yuqori qo‘zg‘alish intensivligi masofa $z_0=(2m+1)\cdot(\lambda_t)_{H10}/4$ teng bo‘lganda sodir bo‘ladi, bunda *t*-ihtiyoriy butun son, shu jumladan nol ham. O‘zarolik teoremasiga asosan to‘lqin uzatgichidan energiyani olish va aksincha unga uzatish uchun qo‘llaniladigan qurilmalarining konstruksiyalar bir xil bo‘lishi kerak. Shu munosabat bilan silindrik sterjen, ramka yoki tirqish yordamida to‘lqin uzatgichidan energiyani chiqarib olish mumkin.

Shuni ham inobatga olish kerakki real to‘lqin uzatgichlarida maydon taqsimotini tahlil qilganda uning tashkil etuvchilari uchun ifodalarni tueganda, to‘lqin uzatgich devorlari ideal materiallardan yaratilgan deb hisoblanadi. Haqiqatan ham, devor materialining cheklangan o‘tkazuvchanlikka ega ekanligi, real to‘lqin uzatgichida maydon taqsimoti ideal holdagidan farq qiladi.

Real to‘lqin uzatgichlarda qo‘llaniladigan materiallarning o‘tkazuvchanligi yuqori bo‘lganligi ($\gamma\sim10^7$ Cm/m) sababli, real to‘lqin uzatgichida to‘lqinning elektromagnit maydoni strukturasi devorlari ideal metalldan yaratilgan uzatgich strukturasidan kam farq qiladi.

To‘lqin uzatgichi devorlarida omik qarshilik natijasidagi hosil bo‘ladigan yo‘qotishlar uncha yuqori emas. Ammo to‘lqin uzatgtchining uzunligi oshib borishi bilan to‘liq yo‘qotishlar sezilarli bo‘lishi mumkin va shu sababdan so‘nisht koeffitsiyenti qiymatini bilish zarur ([1], 208-213 betlarga qarang).

To‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichida H_{10} to‘lqin uchun masofa birligida maydon so‘nishini quyidagi ifodadan topish mumkin:

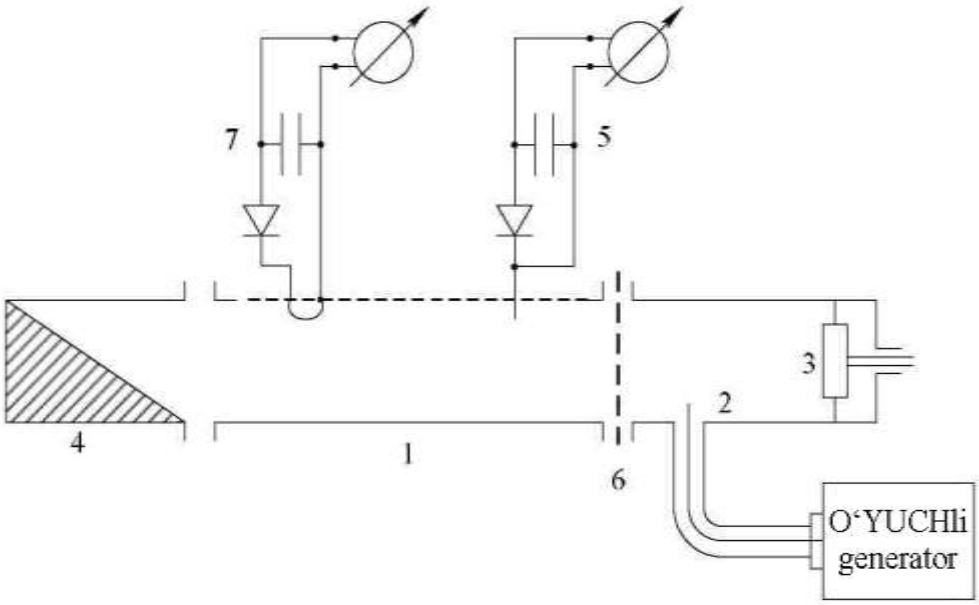
$$h' = \frac{\sqrt{\frac{\omega\mu_0}{2\sigma}\left[1+\frac{2b}{a}\left(\frac{\lambda}{2a}\right)\right]}}{120\pi b\sqrt{1-\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}}$$

Eksperimental qurilmaning tavsifi

7.3-rasmda to‘lqin uzatgichli o‘lchov liniya 1 va flaneslar bilan tutashtirilgan seksiyalardan tuzilgan, to‘g‘riburchakli kesimga ega

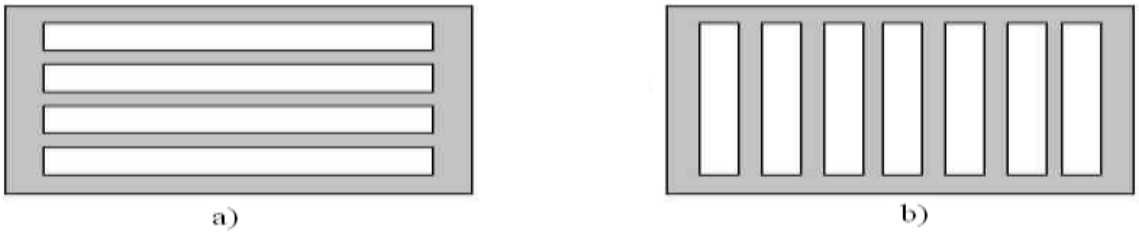
bo‘lgan 72×34 mm o‘lchamli to‘lqin uzatgichida, H_{10} to‘lqin maydonini tadqiq qilish qurilmasining shemasi keltirilgan.

Tebranishlar manbai bo‘lib 10-santimetrli to‘lqin diapazonida ishlaydigan generator xizmat qiladi. O‘YUCH-tebranishlar to‘lqin uzatgichda maydonni qo‘zg‘atuvchi silindrsimon sterjenga (2) koaksial kabel orqali kelib tushadi. Siljiydigan porshen 3 qo‘zg‘atuvchi qurilmaning chiqish k,arshiligini to‘lqin uzatgichi bilan moslashtirish uchun qo‘llaniladi. Moslashtirish to‘liq amalga oshirilsa to‘lqin uzatgichida yuqori intensivlikli maydon hosil bo‘ladi. To‘lqin uzatgichining ohiriga to‘lqin uzatgichining bo‘lagidan iborat va H_{10} turdagi to‘lqin maydonining elektr kuch chiziqlariga parallel joylashtirilgan bir nechta yutuvchi plastinalar joylashtirilgan yutuvchi yuklama 4 yoki qisqa tutashtiruvchi plastina ulanishi mumkin. Keng devorida bo‘ylama tirqishi bor to‘lqin uzatgichining bo‘lagidan iborat bo‘lgan va uning ichiga kirib turadigan silindrsimon sterjenli (5) o‘lchov karetkasi siljiydigan qurilma to‘lqin uzatgichli o‘lchov liniyasi hisoblanadi. Liniya zondi detektor orqali mikroampermetr bilan ulangan, shu sababdan to‘lqin uzatgichida elektr maydoni kuchlanganligining nisbiy qiymatlarini o‘lchash mumkin. Flanesli ulamalarning birida to‘lqin uzatgichili filtrlarni- tirqishlari keng devorga (7.4a-rasm) yoki tor devoriga (7.4b-rasm) parallel kesilgan metall panjaralarni kiritish uchun maxsus tirqish 6 yaratilgan.



7.3-rasm. To‘lqin uzatgichida elektromagnit maydonini tadqiq qilish qurilmasining elektr sxemasi.

To‘lqin uzatgichining ko‘ndalang kesimida magnit maydoni kuchlanagnligi taqsimotini o‘rganish uchun, halqa zondli 7 o‘lchov karetkasi (siljima mehanizm) xizmat qiladi. To‘g‘riburchakli H_{10} turdagi to‘lqinli to‘lqin uzatgichining enli (keng) devoriga maydon taqsimotini buzmasdan (o‘zgartirmasdan) ko‘ndalang tirqish ochib bo‘lmasliga sababli, o‘lchov liniyasida zond to‘lqin uzatgichining yuqori devoriga siqib tortilgan qopqog‘ bilan birga harakat qiladi.



7.4-rasm. Panjarali filtrlar: a)-gorizontal tirqishli;
b)-vertikal tirqishli.

Shunday qilib, elektr maydoni kuchlanganligini o‘lchash uchun zond sifatida to‘lqin uzatgichining ichiga kiritiladigan uncha katta bo‘lmagan silindrik sterjen, magnit maydon kuchlanganligini o‘lchash uchun esa uncha katta bo‘magan halqa qo‘llaniladi.

Boshlang‘ich hisob-kitoblar

1. O‘YUCH generator 3000MGs chastotada ishlaganda, to‘lqin uzatgichida H_{10} to‘lqinning uzunligini hisoblang. H_{10} turdagi to‘lqin uchun to‘lqin uzatgichini qo‘llash mumkin bo‘lgan to‘lqin uzunligi va chastota diapazonlarini baholang. H_{10} turdagi to‘lqinning mavjud bo‘lmaslik shartlari bajarilishini tekshiring.

2. To‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichida H_{10} turdagi to‘lqinning maydoni manzarasini tasvirlang.

To‘lqin uzatgichining ko‘ndalang kesimida H_{10} turdagi to‘lqinning tashkil etuvchilarini grafiklarini quring.

$$\frac{E_y}{E_{ymax}} = f_1(x); \qquad \frac{H_x}{H_{xmax}} = f_2(x); \qquad \frac{H_z}{H_{zmax}} = f_3(x).$$

3. H_{10} turdagi to‘lqin holati uchun to‘lqin uzatgichi devorlarida tok taqsimoti manzarasini chizing.

Rasmda ushbu turdagi to‘lqinlar mavjud bo‘lgan to‘lqin uzatgichlarida nurlanadigan va nurlanmaydigan tirqishlarni tasvirlang.

Ishni bajarish dasturi

1. O‘YUCH generatorni yoqing. To‘lqin uzatgichida maydon qo‘zg‘alishi intensivligining maksimalligiga erishing. Qo‘zg‘alishi intensivligi o‘lchov liniyasi indikatorining ko‘rsatgichiga qarab baholang.

2. To‘lqin uzatgichida maydon qo‘zg‘alishi intensivligining porshen joyidan bog‘liqligini oling. Qo‘zg‘alish intensivligining porshen joyiga bog‘liqligini o‘rganishni, ko‘ndalang o‘lchov ligiyasi orqali amalga oshiring. Ko‘ndalang o‘lchov ligiyasiga elektr zond-silindrik sterjenni joylashtiring va qopqog‘ni surib, uni keng (enli) devor markaziga o‘rnating. Ushbu bog‘liqni to‘lqin uzatgichli o‘lchov liniyasi indikatori yordamida ham olish mumkin. To‘lqin uzatgichli liniya ohiriga yutuvchi yuklamani ulang.

Vibrator va porshen orasidagi masofani bir me’yorda 0,5 dan 8 sm gacha o‘zgartiring. Minimal va maksimal qo‘zg‘alish intensivligi hosil bo‘ladigan masofalarga alohida e’tibor berish kerak.

Tajriba natijalaridan qo‘zg‘alish intensivligining porshen joyidan bog‘liqlik grafigini quring.

Laboratoriya vazifasining qolgan bandlarini bajarish jarayonida vibrator bilan porshen orasidagi masofani, to‘lqin uzatgichining qo‘zg‘alish intensivligi eng yuqori bo‘lganda tanlash kerak.

3. O‘lchov liniyasi yordamida to‘lqin uzatgichida to‘lqin uzunligini o‘lchang va uni hisob-kitoblar bilan solishtiring. To‘lqin uzunligini o‘lchash elektr maydoni kuchlanganligining ikkita ketma-ket minimumlari orasidagi masofa orqali amalga oshiriladi. Bu masofa to‘lqin uzatgichida to‘lqin uzunligining yarmiga teng bo‘ladi. To‘lqin uzunligini o‘lchash shunday sharoitlarda amalga oshirish kerakki, to‘lqin uzunligichida turuvchi to‘lqin sodir bo‘lishi kerak. Qaytaruvchi devor sifatida to‘lqin uzatgichining yon devorlariga parallel kesilgan tirqishli elektr filtrlar yoki qisqa tutashtiruvchi plastinani qo‘llash mumkin.

4. To‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichida H_{10} turdagi to‘llqinning elektr maydoni manzarasini o‘rganing. Buning uchun to‘lqin uzatgichiga ketma-ket ikkala filtrni kiriting va zond-silindrik sterjen yordamida filtr ortida to‘lqin uzatgichida maydon o‘zgarganligini aniqlang. Agar panjarali filtr (7.4a-rasm) to‘lqin uzatgichiga kiritilgandan keyin to‘lqin tarqalishiga ta’sir o‘tkazmasa, to‘lqin uzatgichida shunday elektromagnit to‘lqin tarqaladiki, unda elektr maydoni yon devorlarga parallel bo‘ladi.

Agar to‘lqin uzatgichiga ikkinchi filtrni kiritsak unda turuvchi to‘lqin shakllanishi kerak. Shunday qilib, to‘lqin uzatgichiga filtrlarni kiritib edektr maydoni kuchlanganligi orientatsiyasi va binobarin magnit maydoni haqida ham hulosa qilish mumkin.

5. To‘lqin uzatgichining ko‘ndalang kesimida maydonni tadqiq qilish. To‘lqin uzatgichining ko‘ndalang kesimida maydonini shunday sharoitlarda o‘rganish kerakki, bunda turuvchi to‘lqinlar mavjud bo‘lishi kerak. Buning uchun to‘lqin uzatgichining ohiriga harakatlanadigan qisqa tutashtiruvchi porshen ulash kerak.

To‘lqin uzatgichining ko‘ndalang kesimida elektr maydonini tadqiq qilish o‘lchov liniyasidagi zond-silindrik sterjen, magnit maydonini esa halqasimon zond yordamida amalga oshiriladi. Halqaga o‘rnashgan EYUK, to‘lqin uzatgichining keng (enli) devori yaqinidagi magnit maydoni kuchlangnligiga proporsionaldir.

Ko‘ndalang o‘lchov liniyasiga silindrik sterjen-zondni o‘rnating. O‘lchov karetkasining detektorli blokining 1-2-klemmalariga mikroampermetrni ulang (7.5a-rasm). To‘lqin uzatgichining keng (enli) devorining o‘rtasiga silindrik sterjen-zondni o‘rnating, harakatlanuvchi porshenning joyini o‘zgartirib, asbobning maksimal ko‘rsatkichiga erishing. Porshenning joyini o‘zgartirmasdan quyidagi bog‘liqlikni oling:

$$\frac{E_y}{E_{ymax}} = f(z) \quad y = \text{const bo‘lganda.} \qquad (7.2)$$

Zondni o‘lchov liniyasining bir uchidan keyingi uchiga 0,5 sm dan siljitigan holda o‘lchovlarni amalga oshiring.

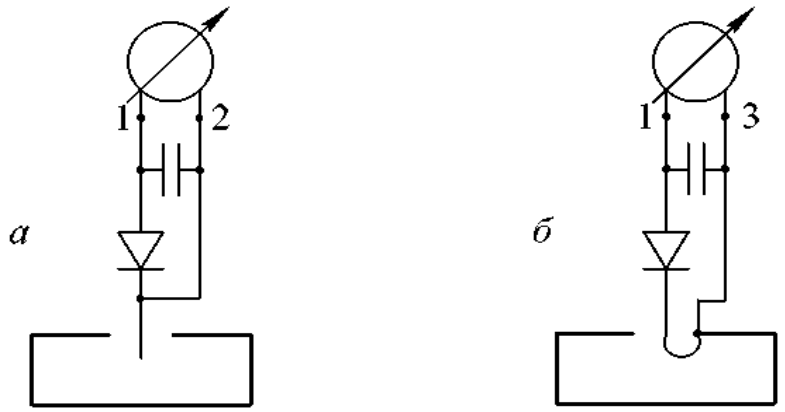
Shunga o‘hshash magnit maydonini tadqiq qilish uchun ko‘ndalang o‘lchov liniyasiga halqa-zondni o‘rnating. O‘lchov karetkasining detektorli blokining 1-3-klemmalariga mikroampermetrni ulang (7.5b-rasm). Maydonini tadqiq qilishda H_h o‘lchash uchun halqa tekisligini to‘g‘ri o‘rnatish kerak. Halqa-zondni to‘lqin uzatgichining keng (enli) devorining o‘rtasiga o‘rnatgandan keyin, harakatlanuvchi porshenning joyini o‘zgartirib, asbobning maksimal ko‘rsatgichiga erishing. Porshenni shu holatida kontrgayka orqali qotiring.

Keyin, harakatlanuvchi porshenning joyini o‘zgartirmasdan, quyidagi bog‘liqlikni oling:

$$\frac{H_y}{H_{zmax}} = f(z), \quad y = \text{const bo‘lganda.} \qquad (7.3)$$

Halqa-zondning ma’lum bir joylarida $\dot{\bar{H}} = 0$ ekanligiga ishonch hosil qiling.

O‘lchovlardan keyin (2) va (3) bog‘liqliklarning grafiklarini chizing. Grafiklarni qurishda quyidagi holatni inobatga olish kerak, zondni o‘lchov liniyasining chekkalariga taqab o‘rnatib bo‘lmaydi



7.5-rasm. Bo‘ylama (a) va ko‘ndalang (b) zondlar.

7. To‘qin uzatgichida H_{10} to‘qin mavjud bo‘lganda qanday tirqishlar nurlanuvchi, qaysilar esa nurlanmaydigan ekanligini tadqiq qiling, Buning uchun to‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichining chiqish uchiga galma–gal turli xil tirqishlar kesilgan to‘lqin uzatgichlarining to‘rtta bo‘lagini ulab, galma-gal yugurma to‘lqin koeffitsiyentini o‘lchashni amalga oshiring. To‘lqin uzatgichlarining bo‘laklarini o‘lchov liniyasining 1 chiqish qismiga yutuvchi yuklama 4 yoki qisqatu tashtiruvchi plastina o‘rniga ulash kerak. To‘lqin uzatgichining tadqiq qilinayotgan bo‘lagining chiqish uchini qisqatutashtiruvchi plastina bilan tutashtiring. Yugurma to‘lqin koeffitsiyentini o‘lchashni o‘lchov liniyasi orqali amalga oshiring. To‘lqin minimumi va maksimumida maydon kuchlanganligini o‘lchang. Yugurma to‘lqin koeffitsiyentini quyidagi ifoda orqali aniqlang:
8.

$$YUTK = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}$$

Yugurma to‘lqin koeffitsiyentini bila turib, qaytish koeffitsiyentini aniqlang va to‘lqin

$$\Gamma = \frac{E_{qayt}}{Etush} = \frac{1 - YUTK}{1 + \mathrm{YUTK}}$$

uzatgichida qaysi tirqish elektromagnit energiyasini nurlantiradi va qaysi nurlantirmaydi.

Oldindan ohiri (uchida) qisqa tutashtirilgan tirqishsiz to‘lqin uzatgichida,to‘lqin uzatgichining devorlarida juda oz miqdorda yo‘qotishlar mavjud bshlishi mumkinligi tufayli, qaytish koeffitsiyenti birga teng ekanligiga ishonch hosil qilish kerak. To‘lqin uzatgichida kesilgan tirqish orqali elektromagnit maydoni energiyasining nurlanishi, qaytish koeffitsiyentining kamayishiga olib keladi.

7. Generatorning ta’minot manbasin o‘chiring.

Hisobot tuzilishi (mundarijasi)

Laboratoriya ishi bo‘yicha hisobot quyidagilardan iborat bo‘lishi kerak:

1. oldindan amalga oshirilgan hisob-kitoblar,
2. o‘lchovlar va hisoblab chiqilgan natijalar,
3. nazariy va eksperimental natijalarni qisqacha taqqoslashni o‘z ichiga olgan hulosa.

Nazorat savollari

1. H_{10} to‘lqinining elektromagnit maydoni elektr maydoning E_x komponentasiga ega bo‘lmasligini qandy ko‘rsatish mukin?

2. Nima sababdan koordinatali o‘qqa parallel, poloskali (tasmali, yo‘l-yo‘l) filtr to‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichida H_{10} turdagi to‘lqinni tarqalishiga to‘siqlik qiladi.

3. Nima sababdan to‘lqin uzatgichining shiddatli qo‘zg‘alishi porshen va silindrsimon sterjen orasidagi masofaning to‘lqin uzatgichidagi to‘lqin uzunligining chorak qismiga toq karra bo‘lgan soniga teng?

4. To‘lqin uzatgichining o‘lchamlari elektromagnit to‘lqinlarining o‘zgarmas chastotalarida to‘lqin uzatgichidagi to‘lqin uzunligiga qanday ta’sir qiladi?

5. H_{10} to‘lqini mavjud bo‘lgan holda to‘lqin uzatgichining a o‘lchamini va b o‘lchamini oshirsak undagi so‘nish qanday o‘zgaradi?

6. To‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichida elektr maydoni to‘lqinlari uchun qaysi to‘lqin va nima uchun asosiy hisoblanadi?

8-laboratoriya ishi. Hajmli rezonatorning tansiflarini aniqlash

Ishdan maqsad

Hajmiy rezonatorning rezonans hossalarini o‘rganish, rezanatorning o‘tkazish polosa kengligini va sahiyligini aniqlash.

Ish bo‘yicha qisqacha ko‘rsatmalar

O‘YU chastotalarda mujassamlashgan elementlardan tuzilgan yuqori saxiylikli tebranish konturlarini yaratish qiyin (va hatto mumkin emas). Shu sababdan bu diapazonlarda tebranish konturlari tarqoq parametrli elementlardan tuziladi (ikki simli, koaksial, poloskali liniyalar, to‘lqin uzatgichlari (kesmalari) va boshq.). Maksvell tenglamalaridan kelib chiqadiki, yo‘qotishlarsiz muhit bilan to‘ldirilgan tashqi fazodan izolyasiyalangan (ajratilgan) hajmda, (yo‘qotishlarsiz hajmli konturdagidek) so‘nmas tebranish jaryoni kechishi mumkin. Masalan, metall sitrt bilan hamma tomonidan cheklangan hajm, rezonator bo‘lishi mumkin (koaksial liniya yoki metall to‘lqin uzatgichining qisqa tutashtirilgan kesmasi).

Hajmli rezonatorlarning mujassamlashgan elementlardan tuzilgan rezonatorlardan asosiy afzalligi, rezonator devorlari ekranirovkasi tufayli nurlanishga sarflanadigan va dielektriklardagi yo‘qotishlarning yo‘qligidadir, chunki rezonator ichiga dielektrik materialning kiritish shart emas.

Yuqori chastotali toklarning katta ichki sirtlardan oqib o‘tishi sababli mujassamlashgan elementlardan tuzilgan oddiy rezonatorlar o‘tkazgichlardagi issiqlik yo‘qotishlar hajmli rezonatorlarning metall qobig‘laridagidan ancha yuqori.

Shuni ham inobatga olish kerakki, bitta chastotada rezonanslanadigan oddiy rezonatorlardan farqli o‘laroq, hajmli rezonatorlar cheksiz diskret chastotalarda rezonanslanadi. Rezonansning har bir chastotasiga rezonatorda maydonning aniq bir strukturasi mos keladi. Quyi tebranishlar deb, rezonatorning ma’lum bir o‘lchamlariga rezonansning minimal chastotasi mos keladigan tebranishlarga aytiladi. Agar ikki va bir necha tur tebranishlarning chastotalari o‘zaro teng bo‘lsa, bunday turdagi tebranishlar aynigan (boshqacha bo‘lib qolgan) deb ataladi.

Hajmli rezonatorning tuzilishi va ishlash tamoili

Hajmli rezonatorni tavsiflaydigan asosiy tansiflari quyidagilardir:

-rezonans to‘lqin uzunlik λ_{rez} (yoki rezonans chastota f_{rez});

-sahiylik Q;

- aktiv o‘tkazuvchanlik σ.

Hajmli rezonatorning sahiyligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$Q = 2\pi \frac{W_{o'rt}}{\Delta W}, \qquad (8.1)$$

bu yerda $W_{o'rt.}$- davr davomida rezonatorda yig‘ilgan energiyaning o‘rtacha qiymati;

ΔW – davr davomida rezonatorda energiyaning o‘zgarishi.

Rezonatordagi yo‘qotishlarni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\Delta W = \Delta W_{met} + \Delta W_{d} + \Delta W_{\Sigma} + \Delta W_{nurl.}, \qquad (8.2)$$

bu yerda: $\Delta W_{met.}$ - rezonator qobig‘ida bir davr tebranishlaridagi yo‘qotishlar energiyasi;

ΔW_{d} - rezonatorni to‘ldiruvchi muhitda bir davr tebranishlaridagi yo‘qotishlar energiyasi;

ΔW_{Σ} - rezonatorning tashqi qurilmalarga uzatadigan energiya;

$\Delta W_{nurl.}$ – nurlanish tufayli yo‘qoladigan energiya.

Hajmli rezonatorning to‘la sahiyligini quyidagi ifodalash mumkin:

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_{met}} + \frac{1}{Q_{d}} + \frac{1}{Q_{\Sigma}} + \frac{1}{Q_{nurl}}, \qquad (8.3)$$

bu yerda:

$$Q_{met} = 2\pi \frac{W_{o'rt}}{\Delta W_{met}}; \quad Q_{d} = 2\pi \frac{W_{o'rt}}{\Delta W_{d}}; \quad Q_{\Sigma} = 2\pi \frac{W_{o'rt}}{\Delta W_{\Sigma}}; \quad Q_{nurl} = 2\pi \frac{W_{o'rt}}{\Delta W_{nurl}}.$$

To‘la sahiylik Q ni rezonatorning yuklangan sahiyligi deb atashadi.

$Q_{nurl.}$ sahiylikni radiasion sahiylik deb atashadi.

Q_{Σ} sahiylikni tashqi sahiyliq yoki aloqa sahiyligi deb atashadi.

Hajmli rezonatorning uzunligi, uzluksiz uzatish liniyasida tarqalayotgan tebranishning yarim to‘lqinlarning butun soniga teng.

$$l = p\frac{\lambda}{2}, \qquad (8.4)$$

bu yerda r – rezonatorning bo‘ylama o‘qi bo‘lab shakllangan turuvchi to‘lqinnging yarimto‘lqinlari soni (r = 1, 2, 3 ...).

Bu ifodaga quyidagi

$$\lambda = \frac{\lambda_{rez}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_{rez}}{\lambda_{kr}}\right)^2}}$$

ifodani qo‘yib, tahlil qilinayotgan rezonatorning rezonansli to‘lqin uzunligini aniqlaymiz:

$$\lambda_{rez} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\left(\frac{p}{2l}\right)^2 + \frac{1}{\lambda_{kr}^2}}} \qquad (8.5)$$

bu yerda: λ_{kr} – liniyada tarqalayotgan ma’lum turdagi kritik to‘lqin uzunligi.

Bunday hajmli rezonatorlarda tebranishlarni klassifikasiyalash, turuvchi to‘lqinlari shakllangan (T, E_{mn} yoki H_{mn}), turdagi to‘lqinlar asosida amalga oshiriladi.

Uzatuvchi liniyalarda T, E_{mn} va H_{mn} turdagi to‘lqinlar tarqalishi mumkin, rezonatorlarda esa T_r, E_{mnr} va H_{mnr} ko‘rinish tebranishlari mavjud.

Rezonatorda kerakli bo‘lgan tebranishning strukturasini bilgan holda, ko‘zg‘atuvchi ramka yoki silindrik sterjenning orientasiyasini oson tanlash mumkin. Agar silindrik sterjenda paydo bo‘ladigan EYUKning qiymati

$$\varepsilon = \int_0^{l_1} (\vec{E}, d\vec{l})$$ ga teng bo‘lsa;

bu yerda l_1 – silindrik sterjenning uzunligi, bu holda maksimal EYUQ demak silindrik sterjenda eng yuqori qiymatdagi toklar shu holda oqib o‘tadiki, qachonki silindrik sterjen elektr maydonining bo‘rtgan (do‘nkliklarida) joylarida turgan va elektr maydoni bo‘ylab orientirlangan bo‘lsa. Ramkada paydo bo‘ladigan EYUK quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\varepsilon = -\frac{\partial}{\partial t} \int (\vec{B}, \vec{n} d\vec{S})$$

bu yerlda: $\vec{n}$ – ramka tekisligiga tushirilgan normal;
S – ramka yuzasi.

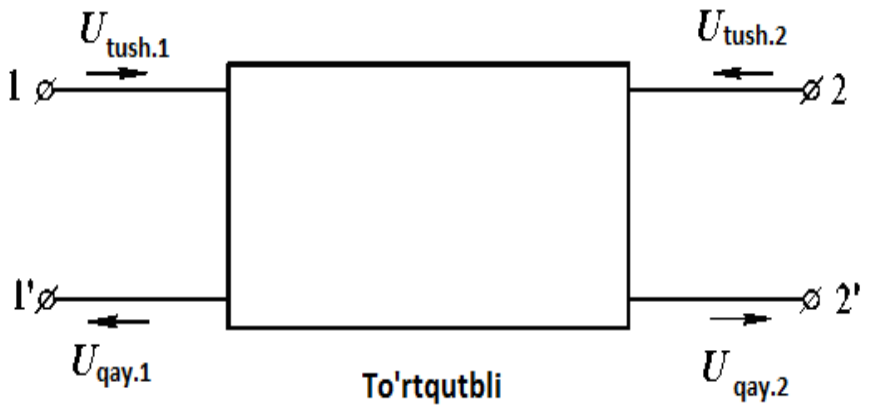
Bundan kelib chiqadiki, yuqori qiymatdagi EYUK ramka magnit maydonining bo‘rtgan (do‘nglikida) joyida tursa va ramka tekisligi magnit kuch chiziqlariga perpendikulyar bo‘lsa.

O‘tuvchi hajmli rezonator

To‘lqin uzatgichli polosali filtrlarning ko‘p turlarining asosiy elementlari bo‘lib bir biridan *l* masofada joylashgan ikkita yassi bir jinsli bo‘lmagan muhitlar bilan chegaralangan qurilmadan tashkil topgan asbob hajmli rezonator hisoblanadi.

Shunday qilib, bunday bir jinsli bo‘lmagan muhitlar g‘altaklarning va sig‘imlarning diafragmalari, reaktiv silindrsimon sterjenlar va boshq. bo‘lishi mumkin.

Rezonatorning chastotaviy harakteristikasini, ya’ni uning chiqish qismiga ulangan yuklamaga tushuvchi chastotadan bog‘liq quvvatini aniqlaymiz.



8.1-rasm. To‘rtqutblilikning klemmalarida tushuvchi va qaytuvchi to‘lqinlar.

To‘rtqutli uchun tushuvchi va qaytuvchi to‘lqinlar konsepsiyasini qo‘llaganda (hajmli rezonator ikkita kirish qutbiga ega bo‘lgan qurilma-to‘rtqutbdi hisoblanadi) 1-rasmdagi sxema uchun quyidagini yozish mumkin:

$$\left.\begin{aligned} U_{qay.1} &= S_{11}\, U_{tush.1} + S_{12}\, U_{tush.2} \\ U_{qay.2} &= S_{21}\, U_{tush.1} + S_{22}\, U_{tush.2} \end{aligned}\right\} . \qquad (8.7)$$

S_{ik} koeffitsiyentlarini sochilish matrisasi ko‘rinishida yozamiz:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} S_{12} \\ S_{21} S_{22} \end{bmatrix} . \qquad (8.8)$$

Umumiy holda S_{ik} ning baryaa elementlari –kompleks qiymatlardir:

$$S_{ik}=|S_{ik}|\cdot e^{j\varphi k},$$

bu yerda : S_{11}, S_{22}- mos ravishda chapdan elka 1 va o‘ngdan elka 2 uchun qaytish koeffitsiyentlari;

S_{12} -elka 1dan elka 2ga uzatish koeffitsienti;

S_{21} - elka 2dan elka 1ga uzatish koeffitsienti.

Kirish va chiqish qismlarida bir jinsli bo‘lmagan muhit mavjud deb faraz qilaylik (masalan, ikkita bir xil diafragmalar). Bir jinsli bo‘lmagan joylarida energiya yo‘qotishlarni inobatga olmagan holda quyidagini yozamiz:

$$|S_{21}|^2=1-|S_{11}|^2.$$

Rezonatorning kirish qismida $E_{\text{tush.}}$ amplitudali tushuvchi to‘lqin mavjud bo‘lsin. Bu holda tushuvchi to‘lqinning bir qismi birinchi bir jinslilidan qaytadi va bir qismi rezonatorga o‘tadi:

$$E_{1\text{qay.}}=S_{11}\cdot E_{tush.},$$
$$E_{1\text{o‘tuv.}}=S_{21}\cdot E_{tush.} \qquad (8.9)$$

$E_{1\text{o‘tuv.}}$ o‘tgan to‘lqin rezonatorda tarqalib, βl, faza siljiga erishib ikkinchi har xil turdagi qismiga (ikkinchi diafragma) etadi, unlan qisman qaytadi, va yana bir bor rezonatordan o‘tib, $2\beta l$ faza siljishi bilan birinchi har xil turdagi qismiga (birinchi diafragma) qaytib, undan qisman o‘tadi va rezonatorning kirish qismida ikkinchi qaytish to‘lqinini yaratadi:

$$E_{2\text{qay.}}=E_{\text{tush.}}\cdot S_{21}{}^2\cdot S_{11}\cdot e^{j2\beta l}.$$

Barcha qaytgan to‘lqinlarni qo‘shib:

$$E_{\text{qay.}}=E_{1\text{qay.}}+E_{2\text{qay.}}+\ldots=E_{\text{tush.}}\left[S_{11}+S_{21}^2S_{11}e^{-j2\beta l}\sum_{n=0}^{\infty}(S_{11}^2e^{-j2\beta l})^n\right]. \qquad (8.10)$$

ifodani olamiz.

Shunga o‘xshash rezonatorning chiqish qismida natijaviy maydon uchun quyidagini olamiz:

$$E_{\text{o‘t.}}=E_{\text{o‘t.1}}+E_{\text{o‘t.2}}+\ \ldots=E_{\text{tush.}}\left[S_{21}^2{}^{-j2\beta l}\sum_{n=0}^{\infty}(S_{11}^2e^{-j2\beta l})^n\right]. \qquad (8.11)$$

$|S_{n11}|<1$ bo‘lganda (8.10) va (8.11) qatorlar cheksiz kamayuvchi geometrik progressiyadan iborat bo‘ladi. Bu qatorlarni yig‘indisidan kirish qismida $\dot{\Gamma}$ natijaviy qaytish koeffitsiyenti va rezonatorning uzatish koeffitsiyenti $\dot{T}$ uchun ifodalarni olamiz:

$$\dot{\Gamma} = \frac{\dot{E}_{qayt}}{\dot{E}_{tush}} = S_{11} + \frac{S_{11}S_{21}^2 e^{-j2\beta l}}{1 - S_{11}^2 e^{-j2\beta l}};$$

$$\dot{T} = \frac{\dot{E}_{o't}}{\dot{E}_{tush}} = \frac{S_{21}^2 e^{-j2\beta l}}{1 - S_{11}^2 e^{-j2\beta l}}. \qquad (8.12)$$

Natijada quyidagini olamiz:

$$|T|^2 = \frac{(1 - |S_{11}|^2)^2}{\left|1 - |S_{11}|^2 e^{-j2(\beta l - \varphi_0)}\right|}, \qquad (8.13)$$

bu yerda: $S_{n11}=|S_{n11}|\cdot e^{j\varphi o}$.

(13)-ifodadan kelib chiqadiki, agar:

$$(2\beta l - \varphi_0) = 2p\pi, \qquad (8.14)$$

sharti bajarilsa, tushuvchi to‘lqinning hamma (butun) energiyasi rezonatorning kirish qismiga tushar ekan, ya’ni, $|\dot{T}|^2=1$.

bu yerda: p= 0, 1, 2, 3.

(14)-ifodaga $\beta=2\pi/\lambda$ni qo‘yib, rezonatorning uzunligini ya’ni $|\dot{T}|^2=1$ bo‘lgandagi uzunligi topamiz:

$$l = p\frac{\lambda_0}{2} + \frac{\varphi_0}{2\pi}\lambda_0, \qquad (8.15)$$

Faqat $f_{rez.}$–rezonatorning rezonans chastotasida, (14) ifoda bo‘yicha shart bajarilganda, $|\dot{T}|^2=1$ shart bajariladi.

O‘tkazish polosasining chegarasida $|\dot{T}|^2=0{,}5$ bo‘lgan rezonator uchun bajariladigan shartdan, o‘tkazish polosasining kengligini ($\Delta f = 2\Delta f_{0,5}$) topish va o‘tkazadigan rezonatorning yuklangan sahiyligini aniqlash mumkin:

$$Q = \frac{|S_{11}|}{\left|1 - |S_{11}|^2 e^{-j2\beta_0 l(\lambda/\lambda_0)^2}\right|}. \qquad (8.16)$$

(16) ifodani inobatga olib, (13)-tenglikni quyidagi ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$|T|^2 = \frac{1}{1 + Q^2\left(\frac{2\Delta f_{0,5}}{f_0}\right)^2}, \qquad (8.17)$$

bu yerda: $\Delta f_{0,5}$- tushuvchi quvvatning yarim o‘tish darajasida o‘lchanganda, rezonans chizig‘ining yarim balandligidagi kengligi.

To‘g‘riburchakli hajmli rezonatorda H_{101} tebranishlar mavjud bo‘lganda va unda dielektrik yo‘qotishlar bo‘lmaganda uning hususiy

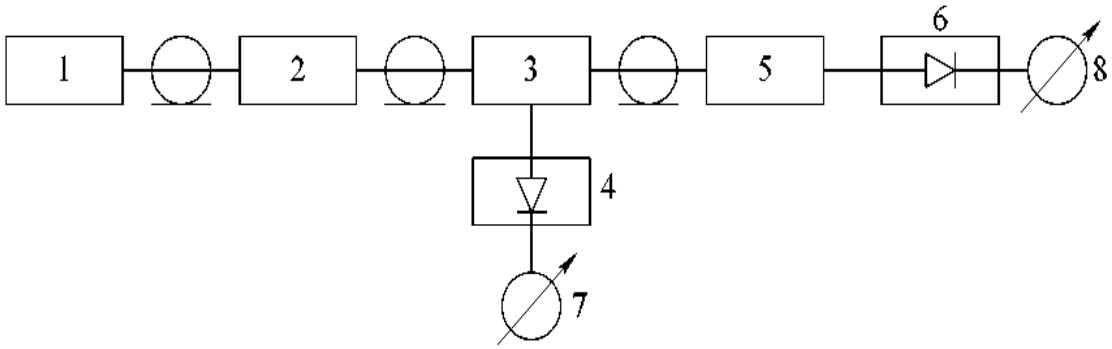
sahiyligini quyidagi ifodadan hisoblaymiz:

$$Q_0 = \frac{1}{\Delta^0}\frac{abl(a^2+b^2)}{al(a^2+l^2)+2b(a^3+b^3)}, \qquad (8.18)$$

bu yerda: *a*, *b* va *l*- rezonatorning bo‘shlig‘ining ichki o‘lchamlari;

$\Delta^0 = \frac{1}{\sqrt{\pi f_{rez}\sigma\mu_a}}$ - elektromagnit to‘lqinining metallga singish chuqurligi (ya’ni, skin qatlamining chuqurligi).

Qurilmaning tuzilish (strukturaviy) sxemasi



8.2-rasm. Qurilmaning tuzilish (strukturaviy) shemasi.

1 – generator;
2 – attenyuator;
3 – o‘chirib-yondirgich;
4, 6 – detektorli o‘lchagichlar;
5 – rezonator;
7,8 – strelkali indikatorlar.

Ishni bajarish tartibi

Laboratoriya ishi quyidagi tartibda bajariladi:

1. Generatorni manbaga ulang. 5-8 daqiqa qizigandan keyin “1” indikator strelkasining og‘ishiga qarab generasiya mavjudligini tekshiring. 3- o‘chirib-yondirgich “1” holatda bo‘lishi .kerak.

2. O‘chirib-yondirgichni “2” holatga o‘tkazib, generatorni sozlab, uni rezonans chatotaga moslang. Indikator strelkasi bu holda maksimal darajada og‘ishi kerak.

3. Generator chastotasini bir me’yorda o‘zgartirib, generatorning uzatish koeffitsiyentining chastotadan bog‘liqligini oling. Chastotani o‘zgartirganda, rezonatorning kirish qismida quvvatning bir xilligini ta’minlang. Quvvatni nazorat qilish o‘chirib-yondirgich va indikator “1” orqali amalga oshiriladi.

O‘lchash natijalari asosida rezonans egriligini quring va

rezonatorning reznans chastotasini, sahiyligini va o‘tkazish polosasi kengligini aniqlang.

Uyga vazifa

1.Rezonatorning $f_{rez.}$ rezonans chastotasini uning geometrik o‘lchamlariga qarab aniqlang.

2. Tebranish paytida rezonatorning hususiy sahiyligini aniqlang.

Nazorat savollari

1. Rezonatorning sahiyligi nimaga teng?
2. Parallel kontur ko‘rinishidagi ekvivalent sxema O‘YUChda qanday amalga oshiriladi?
3. Rezonatorning uzunligi qanday shartdan tanlanadi?
4. Ketma-ket kontur ko‘rishidagi ekvivalent sxema O‘YUChda qanday amalga oshiriladi?
5. Rezonator uchun qaysi parametrlar asosiy hisoblanadi?
6. Rezonatorda ma’lum turdagi to‘lqinlarning mavjudligi nima bilan aniqlanadi?
7. Rezonatorning $f_{rez.}$ nimadan bog‘liq?
8. Umumiy holda rezonans sharti nima?
9. To‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichida to‘lqin uzunligi nimaga teng?
10. To‘g‘riburchakli rezonatorda H_{101} maydonining strukturasini chizing.
11. Uzunligi $l = \lambda_{rez.}$ Ieng bo‘lgan ochiq koaksial rezonatorda maydon strukturasini chizing.
12. Rezonatorlarni qo‘zg‘atish shemasini chizing.
13. Rezonatorning uzatish koeffitsiyenti berilgan hususiy sahiyligida nimadan bog‘liq?
14. Rezonatorning hususiy sahiyligi nimaga bog‘liq?
15. Quyida keltirilgan (sharsimon, silindsimon, to‘g‘riburchakli, koaksial) rezonatorlardan qaysi biri bir xil hajmlarda va bir xil chastotalarda eng Yuqori hususiy sahiylikka ega?
16. Rezonatorda past turdagi tebranishlar deb nimaga aytiladi?
17. Rezonatorda qanday tebranishlar aynigan deb ataladi?
18. Qo‘zg‘atuvchi tirqish bilan rezonatorning aloqa darajasini qanday o‘zgartirsa bo‘ladi?

9-laboratoriya ishi. Elementar magnit vibratorini (tirqishli antenna) tadqiq qilish

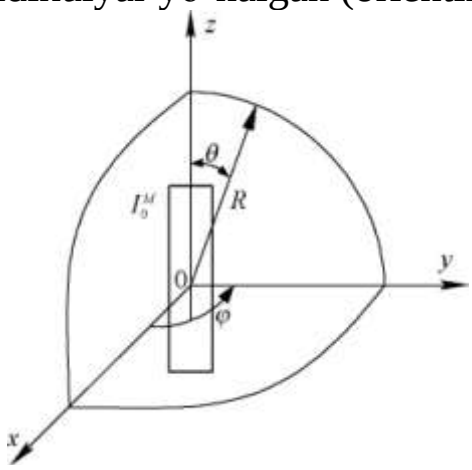
Ishdan maqsad

Elementar (oddiy) magnit vibratori hossalarini va uning yo‘nalish diagrammasini o‘rganish.

Umumiy ma’lumotlar

Elementar (oddiy) magnit vibrator deb, uzunligi qo‘zg,atuvchi maydon to‘lqining uzunligidan juda kichiq vibrator uzunligi bo‘yicha magnit tokining chiziqli zichligining moduli va fazasi bir me’yorda taqsimlangan tug,richiqli vibratorga aytiladi. Fiktiv magnit toki va zaryadlar vibratorda garmonik qonuniyatlar asosida o‘zgaradi.

Elementar magnit nurlantirgichining oddiy modeli sifatida o‘zi yaratadigan maydon to‘lqin uzunligidan perimetri juda kichiq elektrikli chiziqli garmonik tokli yassi o‘tkazuvchan ramka (simning bita o‘rami) hisoblanadi. Bunday nurlantirgichni elementar elektr ramka deb ataladi. Tabiiyki, bu ramkaga ekvivalent bo‘lgan elementar magnit nurlantirgich, ramka tekisligiga perpendikulyar yo‘nalgan (orientirlangan) bo‘ladi.



9.1-rasm. Magnit vibratorning sxemasi.

Magnit vibratorining nurlanishigi ko‘rib chiqamiz. Sferik sistemaning koordinata boshi (boshlanishi) vibratorning o‘rtasida joylashgan bo‘lib, Z o‘qiuning o‘qi bo‘ylab yo‘nalgan (9.1-rasm).

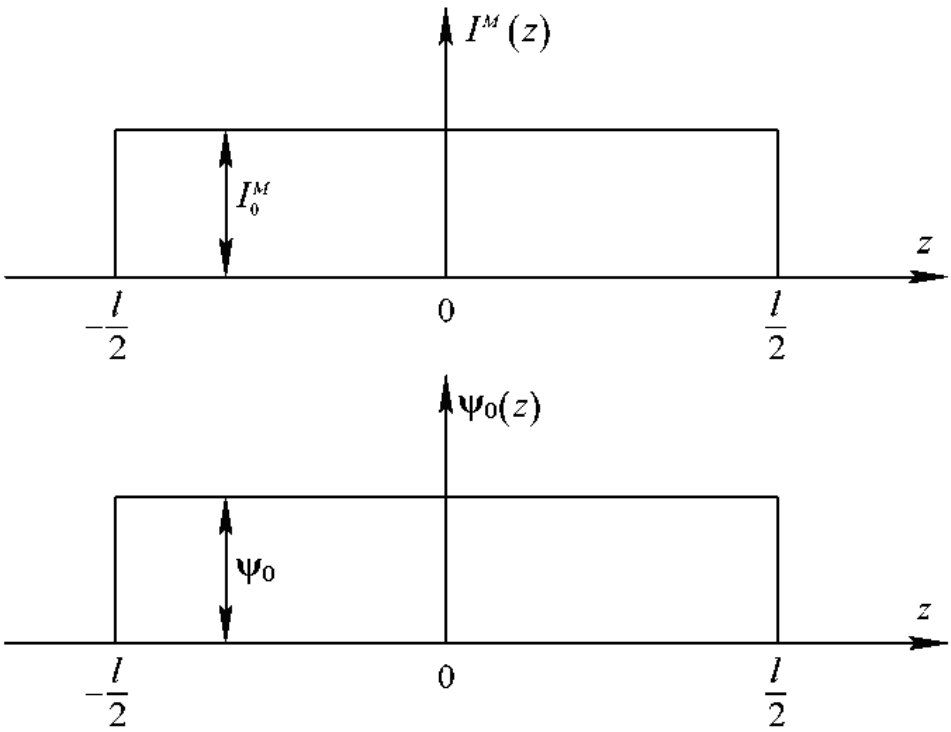
Vibratordagi chiziqli magnit tok quyidagiga teng:

$$I^M(x) = I_0^M = \left|I_0^M\right| e^{-j\Psi_0} \ , \qquad (9.1)$$

bunda: $|I_0{}^M|$ – amplituda;

ψ_0 – tok fazasi.

Ikkala qiymat ham *z* koordinatadan bog‘liq emas.



9.2-rasm. Tok va fazaning epyuralari.

Magnit toki yaratadigan vektorli magnit potensialini topamiz:

$$\vec{A}^M = \frac{\varepsilon_a}{4\pi}\int_V \vec{j}^M \frac{e^{-jkr}}{r} dV, \qquad (9.2)$$

bunda: $\vec{j}^M$ – magnit tokning zichligi;

r–kuzatish nuqtasi (potensial vektori qiymati aniqlanadigan nuqta) va integrallash nuqtasi (nurlantirgich yuzasida ayni shu daqiqada tok elementi joylashgan nuqta) orasidagi masofa.

Agar kuzatish va integrallash nuqtalari orasidagi masofani quyidagi

$$r = R +,$$

ko‘rinishda tasavvur etsak, u holda kuzatish nuqtasining har qanday holatida quyidagi

$$|\Delta r| \le l/2$$

munosabat bajariladi.

$k=2\pi/\lambda$ va $\le\lambda$, ekanligini inobatga olsak, quyidagi ifodaga kelamiz

$$k|\Delta r| \le \frac{\pi l}{\lambda} \le 1.$$

Bunda (9.2) ifodadagi eksponensial funksiyani quyidagi ko‘rinishda keltirish mumkin:

$$e^{-jkr} = e^{-jk(R+\Delta r)} \approx e^{-jkR}.$$

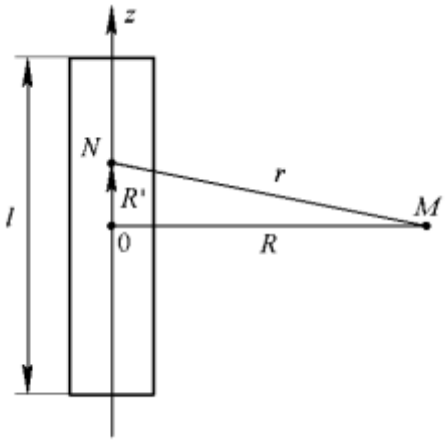
Agar bundan buyoniga $l \leq R$ tengsizlik bajariladigan nuqtalar bilan cheklansak, (9.2) ifoda mahrajidagi r masofani doimiy R qiymat bilan tahminan almashtirishimiz mumkin. Endi

$$\frac{e^{-jkR}}{R}$$

ko‘paytmani integraldan chiqaramiz va quyidagi ifodaga kelamiz:

$$\vec{A}^M = \frac{\varepsilon_a}{4\pi}\frac{e^{-jkR}}{R}\int_V \vec{j}^M dV . \qquad (9.3)$$

Hajm elementi dVni vibrator ko‘ndalang kesimining yuzasi $d\vec{S}$ elementining uning uzunlik $d\vec{l}$ elementiga skalyar ko‘paytmasi ko‘rinishida tasavvur qilamiz; $dV = (d\vec{S}, d\vec{l})$; $d\vec{S}$ $\vec{l}_z$ni dSga ko‘paytmasi bilan aniqlanadi, bunda $\vec{l}_z$ - z o‘qi bo‘ylab yo‘nalgan bir karrali ort



9.3-rasm. Vektorli magnit potensialini hisoblash uchun sxema.

M (r, θ, φ) – kuzatish nuqtasi;
N (r, θ, φ) – integrallash nuqtasi;
r – integrallash va kuzatish nuqtalari orasidagi masofa;
0 – koordinata markazi.

$\vec{j}^M$ va $d\vec{S}$ vektorlar yo‘nalishlari bilan mos tushadi, ularning skalyar ko‘paytmasi vibratordagi magnit toki I^Mga teng:

$$(\vec{j}^M, d\vec{S}) = I^M . ? \qquad (9.4)$$

Shu sababdan:

$$\vec{A}^M = \frac{\varepsilon_a}{4\pi}\frac{e^{-jkR}}{R} I^M \int_l d\vec{l} . \qquad (9.5)$$

$d\vec{l} = l \cdot \vec{l}_z$ ekanligini inobatga olib, vibratordagi vektorli magnit potnsiali uchun natijaviy (ohirgi) ifodani olamiz:

$$\vec{A}^M = \frac{\varepsilon_a}{4\pi}\frac{e^{-jkR}}{R} I^M l \vec{l}_z \ . \qquad (9.6)$$

(9.4-9.6) kelib chiqadiki, kuzatish nuqtasida elementar (oddiy) magnit vibratorining vektorli magnit potnsiali vibrator o‘qiga parallel yo‘nalgan bo‘lib, boshlanishi nurlantirgich markazi bilan mos tushadigan sferik koordinatalar sistemasidagi kuzatish nuqtasining radial koordinatasini namoish qiladigan masofa *R*dan bog‘liq .

Elementar magnit vibratori maydonining tashkil etuvchilarini topamiz. $\vec{A}^M$ uchun ifodadan quyidagi kelib chiqadi:

$$\vec{E} = -\frac{1}{\varepsilon_a} \mathrm{rot}\vec{A}^M . \qquad (9.7)$$

Ifoda (9.7)dan foydalanib magnit vibratorining elektr maydonini hisoblab chiqamiz. Sferik koordinatalarda vektorli magnit maydoni potensiali rotorining qiymatini hisoblab, quyidagi ifodani olamiz:

$$\vec{E} = l_\varphi \frac{I^M e^{-jkR} l \sin\theta}{4\pi R^2}(1 + jkR) . \qquad (9.8)$$

Vibratorning elektr (magnit) maydonini Maksvellning ikkinchi tenglamasi asosida aniqlaymiz:

Kuzatish nuqtasida *R*ning koordinatasidan maydonning bog‘liqligi, nurlantirgichni qamrab olgan fazoni yaqin, oraliq va uzoq uchta zonaga bo‘lish imkonini beradi. Induksiyaning yaqin zonasi shunday *R* masofalar bilan tavsiflanadiki, ular uchun quyidagi: $kR \leq 1$ tengsizlik adolatlidir. Shu munosabat bilan yaqin zona uchun (9.8) va (9.9) ifodalarda yuqori darajada $1/kR$ mavjud bo‘lgan faqat shu yig‘indilar qoladi. Bu zona uchun $e^{-jkR} \approx 1$ munosabat ham adolatlidir.

Oraliq zona yaqin va uzoq zonalar orasidagi o‘tish hisoblanadi va $kR \approx 1$ munosabat bilan tavsiflanadi. Bu holda (9.8), (9.9) ifodalardagi barcha yig‘indilar hisobga olinadi.

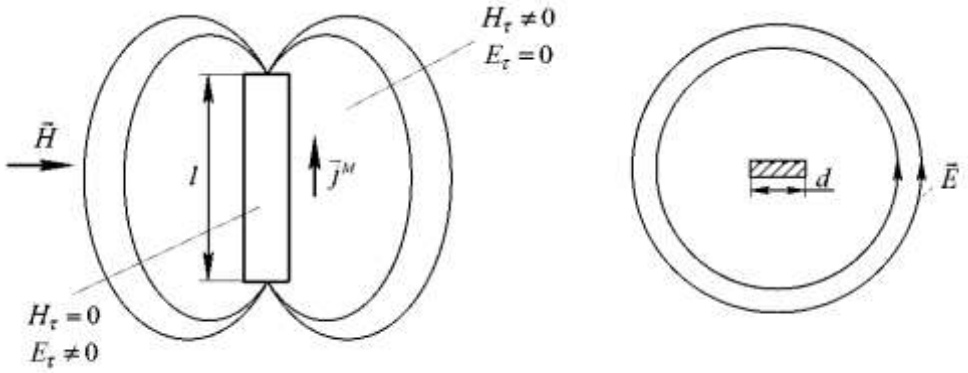
Uzoq zona shunday masofalar bilan tavsiflanadiki, ular uchun $kR \geq 1$ tengsizlik adolatlidir. Bu holda past darajadagi $1/kR$ qo‘shimcha ko‘paytmalar bor bo‘lgan yig‘indilar inobatga olinadi. Uzoq zonada maydonning deyarli ikkita tashkil etuvchilari mavjud bo‘lib, ular magnit vibratorining nurlanish maydoni hisoblanadi:

$$E_\varphi = j\frac{I^M e^{-jkR} l \sin\theta k}{4\pi R};$$

$$H_\theta = \frac{I^M e^{-jkR} l \sin\theta k^2}{j\omega\mu_a 4\pi R} .$$

Kengligi *d* va uzunligi *l*, va shu bilan $d<l$ shartni qanoatlantiruvchi plastina ko‘rinishidagi magnit vibratorining analogini ko‘rib chiqamiz.

Shu plastina bo‘ylab unig har ikki tomonidan yuzaviy zichligi plastini uzunligi bo‘ylab doimiy va $\vec{j}^M$ ga teng bo‘lgan chetki (begona) magnit tok oqib o‘tayapti deb faraz qilamiz. Plastinaning ikkala tomonidan oqib o‘tadigan va maydon hosil qiladigan magnit toki $I^M=2d\cdot\vec{j}^M$ ko‘rinishda aniqlanadi. I^M tok hosil qiladigan elektromagnit maydonini (9.8) va (9.9) ifodalarni qo‘llab hisoblash mumkin. 9.4-rasmda ushbu holatga mos bo‘lgan maydonning struturasi ko‘rsatilgan.



9.4-rasm. Chegaraviy shartlar.

Ushbu holatni qanoatlantiruvchi chegaraviy shartlarni ko‘rib chiqamiz. Plastina hududida (bevosita chegarasida) $E_\tau \neq 0$, $H_\tau = 0$. Plastinadan tashqarida aksincha $E_\tau = 0$, $H_\tau \neq 0$. Chegaraviy shartlarga mos ravishda: $E_{1\tau} = -\vec{j}^M$. Plastinadan oqib maydon hosil qiladigan magnit tokini quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$I^M = 2d\cdot\vec{j}^M = 2dE_{1\tau}. \qquad (9.10)$$

9.4-rasmda ko‘rsatilgan chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi fizik sistemani quramiz. Plastinadan tashqarida $E_\tau=0$, $H_\tau\neq0$. Bunga o‘hshash chegaraviy shartlar ideal metall sirti uchun adolatlidir. Agar ideal metall listini rasm tekisligidagi vibrator plastinalari perimetri tashqarisiga o‘rnatsak, u holda yuqorida yozilgan chegaraviy shartlar bajariladi. Boshqa $E_\tau\neq0$, $H_\tau=0$ chegaraviy shartlar juftligi bajarilishi uchun ideal metall listida plastina shakli va o‘lchamlari bilan mos tushadigan irqish yaratamiz. Tirqish chekkalariga generatordan kuchlanish beramiz. Unda $E_{1\tau}d=U_t$, bunda U_t-tirqish chekkalari orasidagi generator yaratadigan potensiallar farqi. Shunday qilib, magnit tokining amplitudasi $I^M=2U_t$ga teng.

Tirqishli vibrator deb nomlanadigan holat uchun magnit tokining analogi bo‘lib, tirqish chekkalari orasidagi potensiallarning ikkilangan farqi hisoblanadi.

Vibratorning nurlanish quvvati va qarshiliklari mos ravishda quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

$$P_{nurl} = \frac{\left|U_{tir}\right|^2}{2R_{nurl}};$$

$$P_{\text{nurl}} = \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}}\,\frac{3}{8\pi}\left(\frac{\lambda}{l}\right)^2. \qquad (9.11)$$

Magnit vibratorining polyar o‘qqa perpendikulyar bo‘lgan yo‘nalish diagrammasi, markazi koordinati boshi bilan mos tushadigan aylanani tashkil etadi. Meridional tekislikda yo‘nalish diagrammasi -gantel ko‘rinishda (bu koordinata boshi bilan mos tushadigan umumiy nuqtaga ega bo‘lgan ikkita bir xil yaqin joylashgan aylanalar). Shunday qilib, fazoda yo‘nalish diagrammasi simmetriya o‘qi polyar o‘qi bilan mos tushadigan toroidni tashkil etadi.

Ishni bajarish tartibi

1. Generatorni ishga tayyorlang.
2. Asboblarni elektr tarmog‘iga ulab, ular qizigandan keyin (10–15 daqiqa) “Подстройка” ва “Регулировка выхода ВЧ” dastalari yordamida (orqali) strelkali asbobning maksimal og‘ishini ta’minlang. Generasiya chastotasi bu holda 1100 MGs dan yuqori bo‘lmasligi kerak.
3. Qabul qiluvchi shleyfni (Pistolkors vibratori) tirqishli antenna markaziga o‘rnating.
4. Tirqishli antenna ekranini aylantirib yoki vibrator shleyfini o‘qi atrofida burab antennalarni polyarizasiyalarini moslashtiring.
5. Qabul qiluvchi vibratorni aylantiruvchi qurilma yordamida 0° dan 180° oralig‘ida har gal 10°ga siljitib, *E*-tekisligida tirqishli antennaning yo‘nalish diagrammasini o‘lchang (oling). Vibratorning har bir holati uchun indikatorning unga mos kelgan ko‘rsatgichini yozib boring (ossillograf qo‘llanilganda, amplituda qiymatini ekrandan nisbiy birliklarda hisoblang).
6. Tirqishli antennani gorizontal holatga o‘rnating, polyarizasiya bo‘yicha qabul qiluvchi antenna bilan moslashtiring va tirqishli antennaning meridional tekisligida yo‘nalish diagrammasini o‘lchang (oling).

Hisobot tuzilishi (mazmuni)

1. O‘lchov qurilmasining shemasi.

2. Pistolkors (Пистолькорс) vibratorida uning tirqishga nisbatan holatiga bog‘liq o‘lchangan tok qiymatlarining jadvali.

3. Polyar koordinatalar sistmasida qurilgan meridional va polyar tekisliklaridagi olingan yo‘nalish diagrammalari.

4. Ish (tajriba) natijalari.

5. Qisqacha xulosalar.

Nazorat savollari

1. Nima uchun tirqishli vibratorni fiktiv elementar magnit vibratori sifatida qabul qilish mumkin?

2. Qanday qilib tirqishli nurlantirgich oldida bir tomonlama nurlanish olish mumkin?

3. Tirqishli nurlantirgichning asosiy tansiflar, ular λ va l bilan qanday bog‘langan?

4. Tirqishli vibratorning yo‘nalish diagrammasi (Yo‘D), uning elementar magnit nurlantirgich (Yo‘D)dan farqi.

5. To‘lqin uzatgichlarida nurlanuvchi tirqishlar.

6. Yassi tirqishli nurlantirgichlar, ularning konstruksiyalari.

7. Metall ekranda sirt toklarining kuch chiziqlari, sirt zaryadlari.

8. Tirqishli vibratorda siljish toklarining yo‘nalishini ko‘rsating.

9. To‘lqin uzatgichi keng devori yo‘nalishida hosil qilingan (kesilgan) tirqishni qanday qilib uyg‘otish mumkin?

10. Tirqishli vibrator nurlanishining polyarizasiyasi.

Adabiyotlar ro‘yhati

1.Теоретические основы электротехники: в 3-х тт., 4-е изд. / Демирчян К.С., Нейман Л.Р. и др. – СПб.: "Питер", 2003.

2. Петров Б.М. “Электродинамика и распространение радиоволн” . М.: “Горячая Линия-Телеком”, 2007.-556с.

2. Нейман Л.Р., Демирчян К.С., Юринов В.М. Руководство к лаборатории электромагнитного поля /Под общей редакцией проф. К.С. Демирчяна. Издание 5-е, переработанное. – Санкт-Петербург: СПбГТУ. 2010.

3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. – М.: "Высш. шк. ", 1986. – 263 с.

4. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. – М. – Л-д: “Энергия”, ч.1.

5. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ: в 2-х ч. Ч. 1 /И.В. Лебедев. – М.: “Высш. шк.”, 1970.

6. Фрадин А.3. Измерение параметров антенно-фидерных устройств /А.3. Фрадин. – М.: “Связь”, 1972.

7. Стариков В.Д. Методы измерения на СВЧ с применением измерительных линий. – М.: “Сов. Радио”, 1972.

8. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи с распределёнными параметрами. – М.: “Высш. шк.”, 1980.

9. Ефимов И.Е. Радиочастотные линии передачи. – М.: “Сов. радио”, 1964.

10. Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей. – Л.: “Энергия”, 1973.

11. Попов А.Р., Пузиков Г.С., Волошин А.С. Волновые процессы в материальных средах. Методические указания по лабораторным работам. – Красноярск: Сиб. ФУ 2007.

12. Федоров Н.Н. Основы электродинамики. – М.: “Высш. шк.”, 1980. – с. 106 – 156.

13. Баскаков С.И. Основы электродинамики. – М.: “Высш. шк.”, 1973. – с. 111 – 123.

14. Гольдштейн М.Д., Зернов Н.В. Электромагнитные поля и волны. – М.: 1971.

15.Фальковский О.И. Техническая электродинамика. – М.: 1978.

18. Никольский В.В. Электродинамика и РРВ. – М.: 1979.

19. Марков Г.Т., Петров В.М. и др. Электродинамика и РРВ. – М.: 1979.

MUNDARIJA

1-laboratoriya ishi. Turli xil solishtirma o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan ikki muhit bo‘linish chegarasida elektr toki chiziqlarining sinishini tadqiq qilish…….. 4

2-laboratoriya ishi. Silindrsimon induktiv g‘altakning magnit maydonini tadqiq qilish……..... 11

3-laboratoriya ishi. Aylanasimon g‘altaklarning o‘zaro induktivligini tadqiq qilish……. 22

4-laboratoriya ishi. O‘tkazuvchan list toki maydoni orqali elektr mashinasinig magnit maydonini modellashtirish……. 32

5-laboratoriya ishi. Elektrostatik induksiya koeffitsiyentlarini, qisman sig‘imlarni va potensiallar koeffitsiyentlarini aniqlash…….. 45

6-Laboratoriya ishi. O‘lchov liniyasida elektromagnit to‘lqinlarini tadqiq qilish ……..... 60

7-laboratoriya ishi. To‘g‘riburchakli to‘lqin uzatgichining tavsiflarini tadqiq qilish…… 74

8-laboratoriya ishi. Hajmli rezonatorning tansiflarini aniqlash……. 84

9-laboratoriya ishi. Elementar magnit vibratorini (tirqishli antenna) tadqiq qilish..... 92
Adabiyotlar ro‘yxati…… 99

Muharrih: Sidiqova K.A.

Musahhih: Adilxodjaeva Sh.M.