

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT  
TEKNOLOGIYALARI VA KOMMUNIKATSIYALARINI  
RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI**

**TOSHKENT AXBOROT TEKNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

Teleradioeshittirish  
tizimlari kafedrası

**ELEKTROMAGNETIZM**

amaliy mashg'ulotlar uchun uslubiy ko'rsatmalar va mustaqil ish  
shaxsiy topshiriqlari

5350100 – Telekommunikatsiya texnologiyalari  
yo'nalishi talabalari uchun

Toshkent - 2015

## **QISQACHA MA'LUMOT**

Ushbu to'plam «Elektromagnetizm» faniga oid mavzular bo'yicha masalalarni o'z ichiga oladi va talabalarning guruh mashg'ulotlarida hamda mustaqil ravishda foydalanishlari uchun mo'ljallangan. Har bir vazifa mavzu nomi, mashg'ulotning maqsadi, qisqacha uslubiy ko'rsatmalar, masalani yechish bo'yicha ko'rsatmalar va albatta nazorat savollaridan iboratdir. Har bir mavzuni o'zlashtirish bo'yicha uslubiy ko'rsatmalar, qisqacha nazariy ma'lumot va darsliklardagi tegishli bo'limlar bilan mustaqil ravishda ishlash uchun tavsiyalarni o'z ichiga oladi. Variantlar bo'yicha ma'lumotlar masalalarga mos jadvallarda keltirilgan.

Topshiriqlardagi nazorat savollari o'quv qo'llanmalaridan foydalangan holda masalalarni yechish va himoya qilishda yordam beradi. Masalalar tarkibiga elektrodinamika fanini o'zlashtirishda yordam beruvchi savollar kiritilgan.

Har bir topshiriqning hisob natijalari bo'yicha talaba ularni taxlil qilishi va xulosa chiqarishi lozimdir.

# 1-TOPSHIRIQ

## Mavzu: Maksvell tenglamalari

### Mashg'ulotning maqsadi

Berilgan mashg'ulot mavzusi bo'yicha topshiriqni bajarish natijasida talaba **E**, **D**, **H**, **B** vektorlarning fizik ma'nolarini, elektromagnit maydonlar nazariyasida ishlatiladigan matematik operatorlarni, ikki muhitlar chegarasidagi vektorlarning chegaraviy shartlarini bilishi shart.

### Uslubiy ko'rsatmalar

Topshiriqni bajarishdan avval quyidagi manbalarda keltirilgan ma'lumotlarni o'rganib chiqish maqsadga muvofiq bo'ladi: ([1] §§ 1.2.1, 1.2.2, 1.3.3, 1.2.8, 1.7.1; [2] §§ 1.2, 2.3, 3.1; [3] §§ 2.2, 2.3, 2.8; [4] §§ 2.3, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8, 3.9).

Elektromagnit maydon ikki xil ko'rinishda namoyon bo'ladi: elektr va magnit maydonlari. Elektr maydoni sof ko'rinishda, qo'zg'almas elektr zaryadlariga xos, magnit maydoni esa – faqat zaryadlar harakatlanganida namoyon bo'ladi. Shunindek, zaryadlarning vaqt bo'yicha o'zgaruvchan oqimi elektr va magnit maydonlarning ajralmas birligi bilan tavsiflanadi. Maydonlar yo'nalgan ta'sirga ega bo'lganligi uchun, ular vektor kattaliklar bilan tavsiflanadi. Vektorli maydonlarni

o'rganishda ustma-ust qo'yish va vektorlar taxlili usullaridan foydalaniladi.

Elektromagnit maydon vaqtning har bir laxzasida, muhitning ixtiyoriy nuqtasida to'rtta vektor bilan tavsiflanadi:

**E** - elektr maydon kuchlanganligi vektori, [V/m],

**D** - elektr siljish vektori, [Kl/m<sup>2</sup>],

**H** - magnit maydon kuchlanganligi vektori, [A/m],

**B** - magnit induksiyasi vektori, [Tl].

Maydonlarni taxliliy ifodalash va grafik ko'rinishda tasvirlash uchun fazo-vaqt koordinatalar tizimi qo'llaniladi. Har bir ortogonal koordinatalar tizimiga uchta birlik vektorlari to'g'ri kelib, bunda (**x, y, z, t**) – dekart koordinatalar tizimini, (**r, θ, φ, t**) – sferik koordinatalar tizimini va (**r, φ, z, t**) – silindrik koordinatalar tizimini anglatadi.

Tabiatda kuzatiladigan va radiotexnika sohasida qo'llaniladigan elektromagnit maydon Maksvell tenglamalariga bo'ysinadi. Maksvell tenglamalari tizimining differensial ko'rinishi quyidagicha

$$\begin{aligned} \text{rot } \mathbf{H} &= \mathbf{J}_{\text{otk}} + \mathbf{J}_{\text{sil}} = \sigma \mathbf{E} + (\partial \mathbf{D} / \partial t), \\ \text{rot } \mathbf{E} &= - (\partial \mathbf{B} / \partial t), \\ \text{div } \mathbf{D} &= \rho, \\ \text{div } \mathbf{B} &= 0. \end{aligned} \tag{1.1}$$

Maksvell tenglamalari tizimi elektromagnit maydonning quyidagi asosiy xususiyatlarini ta'riflaydi:

- har qanday ko'rinishdagi elektr toki uyurmali magnit maydonini hosil qiladi;

- o'zgaruvchan magnit maydon uyurmali elektr maydonni vujudga keltiradi;
- zaryadlar elektr maydon manbaidir;
- elektr maydon uyurmali hamda potensial xarakterga ega bo'lishi mumkin;
- uyurmali maydonning kuch chiziqlari uzluksizdir, potensial maydon kuch chiziqlari esa boshi va oxiriga ("istok" va "stok") ega.

Differensial shakldagi Maksvell tenglamalari faqat chiziqli muhitlarda kuchga ega bo'lib, bunda  $\epsilon_a$ ,  $\mu_a$ ,  $\sigma$ , parametrlari yoki koordinataga bog'liq emas, yoki uzluksiz koordinata funksiyasidir. Biroq, amalda, o'rganilayotgan soha ikki (yoki undan ko'p) turdagi muhitlardan tashkil topgan bo'lishi mumkin. Ikki turli muhitlarning ajralish chegarasida  $\epsilon_a$ ,  $\mu_a$ ,  $\sigma$  parametrlari noaniq bo'lganida, differensial shakldagi Maksvell tenglamalari bunda o'z mohiyatini yo'qotadi. Shuning uchun, bir muhitdan ikkinchi muhitga o'tayotgan elektromagnit maydon vektorlarining harakatini o'rganish uchun integral shakldagi Maksvell tenglamalaridan foydalanish lozim. EMM vektorlari tashkil etuvchilarining har xil muhitlar chegarasidagi qiymatlari orasidagi bog'liqlikni ko'rsatuvchi munosabatlar chegaraviy shartlar deyiladi.

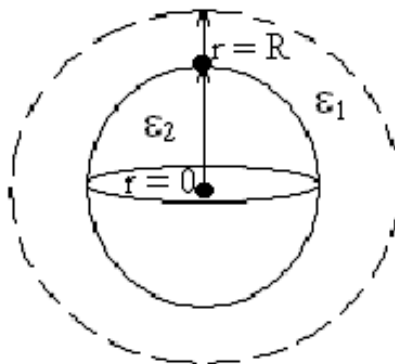
## 1.1 - masala

### Mavzu: Maksvellning uchinchi tenglamasi

Elektr zaryadi notekis taqsimlangan  $R$  radiusli zaryadlangan sharning (1.1 rasm)  $\mathbf{E} = f(r)$  va  $\mathbf{D} = f(r)$  funksiya ko'rinishidagi elektr maydonini toping. Shardagi zaryadlar zichligi uning markazidan ( $r = 0$ ) sirtigacha ( $r = R$ ) chiziqli ortib boradi, ya'ni  $\rho = kr$ . Bu yerda  $k$  – haqiqiy son.

Shar materialining nisbiy dielektrik singdiruvchanligi  $\epsilon_2$  ga teng. Sharni o'rab turuvchi muhit birjinsli va izotrop, hamda  $\epsilon_1$  parametriga ega.

Sharning ichi va tashqarisidagi bir qator nuqtalar uchun vektorlarning qiymatlarini hisoblang, funksiyalarning bog'liqlik grafiklarini chizing va vektorlarning ixtiyoriy nuqtadagi yo'nalishlarini ko'rsating.



1.1-rasm. Zaryadlangan shar

**Ko'rsatma:** Masalani differensial yoki integral shakldagi Gauss teoremasi (Maksvellning III tenglamasi) yordamida yeching.

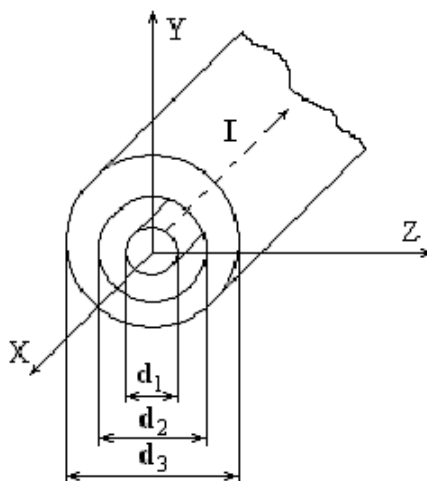
Tenglamalarni ichki va tashqi muhitlar uchun alohida hisoblang va sharning yuzasida chegaraviy shartlarning bajarilishini tekshiring.

Masala variantlari ilovadagi 1.1- jadvalda keltirilgan.

## 1.2 - masala

### Mavzu: “Maksvellning birinchi tenglamasi”

CHeksiz uzunlikka ega bo'lgan koaksial ko'rinishdagi uzatish liniyasi bo'ylab (1.2-rasm)  $I$  qiymatli tok oqib o'tmoqda. Uzatish liniyasi havo muhitida joylashgan. Koaksial liniyaning o'tkazgichlari misdan tayyorlangan. Liniyaning ichki qismi absolyut magnit singdiruvchanligi  $\mu_a = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$  ga teng bo'lgan izolyatsiyalovchi material bilan to'ldirilgan.



1.2-rasm. Koaksial liniya

Uzatish liniyasining ko'ndalang kesimida  $\mathbf{H} = f(r)$  va  $\mathbf{B} = f(r)$  funksiya ko'rinishidagi magnit maydon kuchlanganligi va magnit induksiya vektorlarining o'zgarish qonuniyatlarini aniqlang va ularning

qiymatlarini bir nechta nuqtalar uchun hisoblang. Funktsiyalarning o'zgarish qonuniyatini tasvirlovchi grafiklarni chizing va liniyaning ko'ndalang kesimidagi ixtiyoriy nuqtada vektorlarning yo'nalishlarini ko'rsating.

**Ko'rsatma:** Ushbu masalani to'liq tok qonunining integral shakli (Maksvellning I tenglamasi) yordamida hisoblang. Tenglamalar har bir muhit uchun alohida hisoblansin, bunda 1, 2, 3, va 4-muhitlar  $0 \leq r \leq r_1$ ;  $r_1 \leq r \leq r_2$ ;  $r_2 \leq r \leq r_3$ ;  $r_3 \leq r \leq \infty$  chegaralarga ega deb qabul qilinsin.

Masala variantlari ilovadagi 1.2 - jadvalda keltirilgan.

### **1 – topshiriq uchun nazorat savollari**

1. Elektr maydon vektorlari. Ularning ta'rifi, belgilanishi, birligi va grafik tasviri.
2. Magnit maydon vektorlari. Ularning ta'rifi, belgilanishi, birligi va grafik tasviri.
3. Elektromagnit maydon tushunchasi va uning xususiyatlari.
4. Muhitning makroskopik xususiyatlari, moddiy tenglamalar, muhitlarning sinflanishi.
5. Muhit parametrlari, birliklari, ularning elektromagnit maydon vektorlari bilan bog'liqligi.  $\epsilon_a$ ,  $\mu_a$  va  $\sigma$  parametrlarining fizik ma'nolari.
6. Om qonunining differensial shakli.
7. Potensial va uyurmali maydonlar, ularning ta'rifi, farqi va grafik tasviri.



8. O'tkazuvchanlik va siljish toklari zichliklari tushunchasi. Ularning ta'rifi va fizik ma'nolari.
9. Maksvell birinchi va ikkinchi tenglamalarining integral va differensial shakllari.
10. Maksvell uchinchi va to'rtinchi tenglamalarining integral va differensial shakllari.
11. Vektorlarning normal tashkil etuvchilari uchun chegaraviy shartlar.
12. Vektorlarning urunma tashkil etuvchilari uchun chegaraviy shartlar.
13. Ideal o'tkazgich sirtidagi chegaraviy shartlar.
14. Monoxromatik maydon uchun Maksvell tenglamalari tizimi.
15. Kompleks dielektrik singdiruvchanlik, uning chastotaga bog'liqligi va hisoblash formulalari.

## **2 - TOPSHIRIQ**

### **Mavzu: Yassi elektromagnit to'liqlar**

#### **Mashg'ulotning maqsadi**

Ushbu mashg'ulot mavzusi bo'yicha ishni bajarish natijasida talaba yassi birjinsli to'liqlar tushunchasini, uning matematik tavsifi, erkin fazodagi elektromagnit to'liqlarning (EMT) qutblanishi va yassi EMT ning o'tkazgich, yarimo'tkazgich hamda dielektrik muhitlardagi parametrlarini o'zlashtirishi lozim.

$\tan \delta$  ni hisoblash va shu parametr orqali muhit turini va yassi to'liqlar parametrlarini aniqlash, qutblanish turini (chiziqli, aylanalik yoki ellipsimon) grafik tasvirlash hamda fazoning turli nuqtalarida  $\mathbf{E}$  vektorining xolatini aniqlashni bilishi kerak.

#### **Uslubiy ko'rsatmalar**

Topshiriqni bajarishdan avval quyidagi mavzularni o'rganib chiqish foydali bo'ladi: ([1] §§ 1.62, 6.1-6.16, 6.2; [2] §§ 4.4, 9.1-9.3; [3] §§ 3.2, 3.5-3.8; [4] §§ 11.1-12.2).

Tarqalish muhiti parametri  $\tan \delta$  - dielektrik yo'qotishlar burchagining tangensi deb ataladi

$$\tan \delta = \sigma / (\omega \epsilon_a). \quad (2.1)$$

Ushbu burchak qiymati, berilgan materialdagi erkin zaryadlarning harakati va moddaning qutblanishi oqibatida elektromagnit maydon energiyasining yo'qotishlar darajasini hisoblash imkonini yaratadi.  $\sigma$  parametri qanchalik katta qiymatga ega bo'lsa,  $\operatorname{tg}\delta$  ham shuncha katta bo'ladi, demak yo'qotishlar ham katta bo'ladi. Agar maydon chastotasi  $\omega$  ortsa,  $\operatorname{tg}\delta$  kamayadi hamda yo'qotishlar ham kamayib, muhit o'z xossalari bo'yicha dielektrikka yaqinlashadi. Agar maydonning tebranish chastotasi kamaysa,  $\operatorname{tg}\delta$  ortadi va albatta yo'qotishlarning ortishi muhit xossasini o'tkazgichga yaqinlashtiradi. (2.1) ko'rinib turibdiki, yo'qotishlar darajasi maydonning tebranish chastotasiga bog'liq va bir muhit, turli chastotalarda dielektrik yoki o'tkazgich xossasiga ega bo'lishi mumkin.

To'lqin yoki to'lqin tarqalish jarayoni tushunchasi elektromagnit to'lqinning tarqalishi natijasida fazoda energiya uzatilishini anglatadi. Agar  $\mathbf{E}$  va  $\mathbf{H}$  vektorlarning amplitudasi ko'ndalang koordinataga bog'liq bo'lmasa, to'lqin birjinsli deb ataladi.

Fazoda  $c$  ( $s$  – yorug'lik tezligi,  $3 \cdot 10^8$  m/s ga teng) tezlik bilan harakatlanuvchi garmonik maydon yugurma to'lqin deb ataladi. Tarqalish o'qi bo'ylab fazaning

$$\psi = \omega t - kz \quad (2.2)$$

ko'rinishdagi chiziqli o'zgarishi yugurma to'lqinga xosdir, bunda

$$k = \omega \cdot \sqrt{\epsilon_a \cdot \mu_a} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad - \text{ to'lqin soni yoki chegarasiz muhitda to'lqin}$$

tarqalish doimiysi;  $\omega = 2\pi f$  – siklik chastota.

To'lqin tarqalishining yana bir turi turg'un to'lqin hisoblanadi, u qarama – qarshi yo'nalishda tarqalayotgan ikki to'lqinning ustma-ust tushishi, ya'ni  $\psi_1 = \omega t - kz$  va  $\psi_2 = \omega t + kz$  fazalar farqi bilan birlashishi natijasida hosil bo'ladi.

Bu to'lqinlarning maydonlari yig'indisi quyidagicha hisoblanadi

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = E_{01} \cos (\omega t - kz - \varphi_1) + E_{02} \cos (\omega t + kz - \varphi_2). \quad (2.3)$$

Agar  $E_{01} = E_{02} = E_0$  va  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$  bo'lsa, u holda quyidagi ifoda o'rinli

$$\mathbf{E} = E_0 \cos kz \cdot \cos(\omega t + \varphi). \quad (2.4)$$

(2.4) orqali ifodalangan maydon vaqtning har bir laxzasida va fazoning istalgan nuqtasida garmonik taqsimot o'zgarmasligicha qolishi bilan tavsiflanadi va bu jarayon turg'un to'lqin deb ataladi.

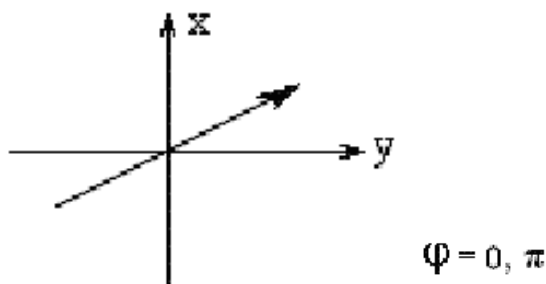
Qutblanish deganda - fazoning kuzatilayotgan nuqtasida  $\mathbf{E}$  yoki  $\mathbf{H}$  vektorlarining uzunligi va yo'nalishining o'zgarishi tushuniladi. Qutblanish tushunchasi qutblanish tekisligi tushunchasi bilan bog'liqdir.  $\mathbf{E}$  vektorining tarqalish yo'nalishi bo'ylab hosil qiladigan tekisligi qutblanish tekisligi deb ataladi.



2.1-rasm. Qutblanish tekisligi

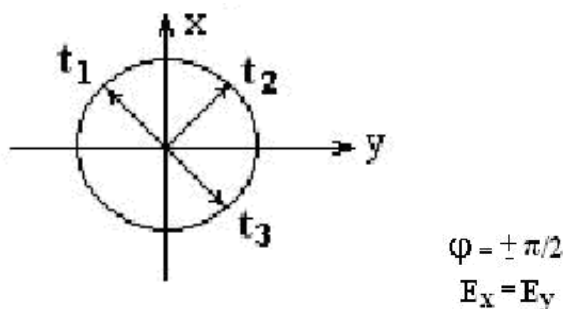
Qutblanish turlarini (2.3) va (2.4) formulalar orqali ifodalangan maydonlar misolida ko'rib chiqish qulaydir.

1. Chiziqli qutblangan to'lqin deb fazoning istalgan nuqtasida vaqt o'tishi bilan  $\mathbf{E}$  yoki  $\mathbf{H}$  vektorlarining tebranish yo'nalishi o'zgarmas bo'lib qolishiga aytiladi.



2.2-rasm. Chiziqli qutblanish

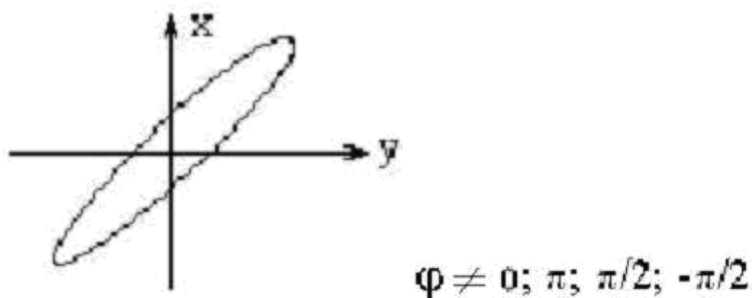
2. Aylana bo'yicha qutblangan to'lqin deb fazoning istalgan nuqtasida  $\mathbf{E}$  yoki  $\mathbf{H}$  vektorlarining bir tekis aylanishiga aytiladi, ya'ni vektor bir  $T$  davr mobaynida o'z uchi bilan aylana hosil qiladi.



2.3-rasm. Aylanali qutblanish

3. Ellipssimon qutblangan to'lqin deb fazoning istalgan nuqtasida  $\mathbf{E}$  yoki  $\mathbf{H}$  vektorlarining o'zgaruvchan amplituda bilan aylanishiga aytiladi, ya'ni vektor bir  $T$  davr mobaynida o'z uchi bilan ellips hosil

qiladi. Ellipssimon qutblanishda ortogonal tashkil etuvchi vektorlarning fazalar farqi  $\varphi = 0, \pi, \pi/2, -\pi/2$  qiymatlardan tashqari istalgan qiymatlarni qabul qilishi mumkin. Ellipsning o'lchamlari va o'qlari yo'nalishlari  $\varphi$  kattalikka bog'liqdir.



2.4-rasm. Ellipssimon qutblanish

Bundan tashqari, vektorning aylanish yo'nalishi aylanali qutblanishning ikki ko'rinishini aniqlaydi: chapga aylanuvchi (inglizcha qisqartmasi - LZ), o'ngga aylanuvchi (inglizcha qisqartmasi - RZ). Aylanish yo'nalishi soat millari yo'nalishi bo'yicha, uzatuvchi antennadan qabul qiluvchiga harakatlanayotgan maydonni kuzatish orqali aniqlanadi.

Ellipssimon qutblanish (EQ) atayin yuzaga keltirilmaydi, chunki EQ da signal qabul qilish quvvati aylanasion qutblanishdagi (AQ) signal qabul qilish quvvatidan kam. Shuni esda tutish kerakki, AQ li antenna (nurlatgich) maydonning shu turli qutblanishini nurlatgich o'qi yo'nalishidagina hosil qiladi. Boshqa yo'nalishlarda bu maydon ellipssimon qutblanish sifatida qabul qilinadi. Yana shuni esda tutish kerakki, bir turdagi qutblanishga ega bo'lgan antenna ideal xolatda boshqa turdagi qutblanish signalini qabul qilmasligi lozim, real sharoitda esa maydon susaygan holda qabul qiladi.

AQ li to'liqlar radiotexnika va aloqada keng qo'llaniladi. AQ li to'liqlarni vujudga keltirishda shuni nazarda tutish kerakki, bunday to'liqin  $E$  ( $H$ ) vektorning fazoda ortogonal bo'lgan, bir xil amplitudali va tebranish fazalarining farqi  $90^0$  ni tashkil qilgan ikki chiziqli qutblangan to'liqlarning qo'shilishi natijasidir.

O'z navbatida, chiziqli qutblangan to'liqinni ikki aylanali qutblangan to'liqlar superpozitsiyasi sifatida ifodalash mumkin, ya'ni harakatlanish yo'nalishlari qarama-qarshi bo'lgan va bir xil amplitudali  $E$  ( $H$ ) vektori qiymatiga ega bo'lgan ikki aylanasimon qutblangan to'liqlar chiziqli qutblangan to'liqinni yuzaga keltiradi.

## 2 - masala

YAssi garmonik elektromagnit to'liqin chegarasiz fazoda tarqalmoqda. Maydon turi quyidagicha ifodalangan:

$$\vec{E}_m = (\vec{1}_x E_{xm} + \vec{1}_y E_{ym} \cdot e^{-\varphi}) \cdot e^{-j \cdot \tilde{k} \cdot z}$$

Tarqalish muhiti birjinsli va  $\varepsilon$ ,  $\sigma$ ,  $\mu_0$  parametrlarga ega. Tebranish chastotasi  $f$  orqali berilgan.

Talab qilinadi:

1. Muhitda dielektrik yo'qotishlar burchagining tangensini ( $\text{tg}\delta$ ) va to'liqin tarqalishining kompleks koefitsiyentini  $\gamma = j \cdot \tilde{k} = \alpha + j\beta$  ni hisoblang (bunda  $\alpha$  - so'nish koefitsiyenti,  $\beta$  - faza koefitsiyenti).

Hosil bo'lgan natijaga ko'ra muhit turini aniqlang (o'tkazgich, yarimo'tkazgich yoki dielektrik).

2. To'lqinning tavsifiy qarshiligi  $Z_c$  ni va  $H_{xm}$ ,  $H_{ym}$  vektorlari tashkil etuvchilarining kompleks amplitudalarini hisoblang.
3. 1 va 2 bandlarda hisoblangan parametrlarning son qiymatlarini qo'llagan holda  $\mathbf{E}$  va  $\mathbf{H}$  vektorlarning oniy qiymatlari ifodasini yozing.
4. Muhit turini hisobga olgan holda  $v_f$ ,  $\lambda$ ,  $v_{gur}$  to'lqin parametrlarini hisoblang.
5. To'lqinning qutblanish turini aniqlang (chiziqli, aylanali yoki ellipssimon).  $\mathbf{E}$  vektori moduli va yo'nalishining o'zgarish qonunini tarqalish o'qi bo'ylab  $z_n \in \{0; \lambda/8; \lambda/4; \dots; \lambda\}$  koordinatali 8-10 ta nuqtada, vaqtning har qanday  $t_n \in \{0; T/8; T/4; \dots; T\}$  belgilangan onida aniqlang va grafik ko'rinishida tasvirlang.

**Ko'rsatma:** 3-bandni bajarishda maydon vektorining oniy qiymatining quyidagi ko'rinishidan foydalaning

$$\vec{E}_{(t,z)} = \vec{1}_x E_{xm} \cdot e^{-\alpha z} \cdot \cos(\omega t - \beta z) + \vec{1}_y E_{ym} \cdot e^{-\alpha z} \cdot \cos(\omega t - \beta z - \varphi),$$

bunda tashkil etuvchilar tebranishining boshlang'ich fazalarini 0 ga, vaqtni esa tebranish davriga teng ( $t = T$ ) deb qabul qiling.

Masala variantlari ilovadagi 2 - jadvalda keltirilgan.



## 2 – topshiriq uchun nazorat savollari

1. Tushunchalar: to'ldin fronti, yassi to'ldin, birjinsli to'ldin, faza tezligi, guruhii tezlik. Ularning ta'rifi, fizik ma'nolari. YAssi to'ldindagi vektorlarning o'zaro joylashishi.
2. Yassi birjinsli to'ldin tarqalishining kompleks koeffitsiyenti: ta'rifi, tashkil etuvchilarining fizik ma'nosi, birliklari, hisoblash formulalari.
3. Yassi to'ldinning tavsifiy qarshiligi. Turli muhitlarda qarshilik tavsiflarini (xarakterlarini) solishtirish.
4. To'ldin uzunligi tushunchasi, turli muhitlar uchun hisoblash nisbatlari, ularni solishtirish.
5. Qaysi chastota diapazonida  $\epsilon = 80$ ,  $\sigma = 5 \text{ Sim/m}$  parametrli dengiz suvi o'tkazgich bo'lishi mumkin?
6. Tebranish chastotasi 10 GGs ga teng bo'lgan to'ldin uchun nam yer qanday muhit turiga misol bo'la oladi (o'tkazgich yoki dielektrik)?
7. Qor qoplamasi ( $\epsilon = 1,3$ ,  $\sigma = 0,000001 \text{ Sim/m}$ ) o'tkazgich sifatida qaralishi mumkinmi?
8. Dielektrik yo'qotishlar burchagining tangensi. Muhitlarning dielektrik va o'tkazgichlarga bo'linishi.
9. Elektromagnit maydonning quvvatlar muvozanati. Umov – Poyting teoremasi, formula tashkil etuvchilarining fizik ma'nolari.

### **3 - TOPSHIRIQ**

#### **Mavzu: Elementar elektr nurlatgich**

##### **Mashg'ulotning maqsadi**

Berilgan mashg'ulot mavzusi bo'yicha topshiriqni bajarish natijasida talaba quyidagi tushunchalarni o'zlashtirishi kerak:

- elektr nurlatgich;
- elektr nurlatgichning maydon zonalari;
- nurlatgich parametrlari va nurlanish quvvati orasidagi bog'liqlik;
- yo'nalganlik diagrammasi va tavsifi;

Quyidagilarni hisoblay olishi kerak:

- fazoning istalgan nuqtasida **E** va **H** vektorlari qiymatini;
- nurlanish quvvati va qarshiligini;
- yo'nalganlik tavsifini.

##### **Uslubiy ko'rsatmalar**

Topshiriqni bajarishdan avval quyidagilarni o'rganib chiqish foydali: ([1] §§ 5.1-5.5; [2] §§ 8.1-8.5; [3] §7.2; [4] §§ 9.1-9.6).

Nurlanish deganda elektromagnit maydon (EMM) energiyasining manbadan fazoga o'tishi tushuniladi. Elektromagnit maydonning fazoda harakatlana olishi uning asosiy xususiyatlaridan biri hisoblanadi. Manbadan elektromagnit energiyaning tarqalishi dielektrik va vakuumda

mavjud bo'la oladigan siljish toki yordamida amalga oshiriladi. Shuning uchun, fazoda siljish tokini hosil qiluvchi har qanday chetki manba, elektromagnit to'lqin nurlatgichi hisoblanadi.

Elektr nurlatgichlar antenaning nurlanish maydonlarini taxlil etishda qulay model hisoblanadi. Chunki, maydonni hisoblashda sodda va mantiqiy uslubdan foydalanishga imkon yaratadi.

Elementar elektr nurlatgich (EEN) deb o'lchami to'lqin uzunligiga nisbatan kichik bo'lgan, o'zgaruvchan tok oquvchi chiziqli elementga, ya'ni  $I_{chet} = I_{chetm} \cos \omega t$  tok oqib o'tuvchi (amplitudasi va fazasi o'zgarmas)  $l$  uzunlikka ega bo'lgan sim bo'lagiga aytiladi. EEN ning nurlanish maydonini taxlil etishda sferik koordinata tizimidagi taqsimotdan foydalanish qulaydir. EEN ning EMM vektorlari uchta proyeksiyaga ega:

$$\left. \begin{aligned} E_r &= \frac{k l I_m}{2 \pi \omega \varepsilon_a r^2} \left[ \frac{1}{k r} \sin(\omega t - k r) + \cos(\omega t - k r) \right] \cos \theta, \\ E_\theta &= \frac{k^2 l I_m}{4 \pi \omega \varepsilon_a r} \left[ \frac{1}{k r} \cos(\omega t - k r) + \left( \frac{1}{k^2 r^2} - 1 \right) \sin(\omega t - k r) \right] \sin \theta, \\ H_\varphi &= \frac{k l I_m}{4 \pi r} \left[ \frac{1}{k r} \cos(\omega t - k r) - \sin(\omega t - k r) \right] \sin \theta, \\ E_\varphi &= H_r = H_\theta = 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

(3.1) formula radial (to'g'ri) yo'nalishda tarqalayotgan va murakkab fazoviy tuzilishga ega bo'lgan garmonik EMT ning maydonini tavsiflaydi. Agar yaqinlashishlardan foydalanib, maydonning tuzilishini turli masofalar uchun alohida ko'rib chiqilsa (3.1) formulalar tizimi bo'yicha maydonning taxlili soddalashadi. SHuning uchun maydonni o'rganishda fazo uch zonaga bo'linadi:

- yaqin zona –  $k r \ll 1$ ,
- oraliq zona –  $k r = 1$ ,
- uzoq zona –  $k r \gg 1$ .

Yaqin zonadagi maydon (3.2) formulada keltirilgan ifoda bilan tavsiflanadi:

$$\left. \begin{aligned} E_r &= \frac{I_m}{2\pi\omega\epsilon_a r^3} \sin \omega t \cos \theta \\ E_\theta &= \frac{I_m}{4\pi\omega\epsilon_a r^3} \sin \omega t \sin \theta \\ H_\varphi &= \frac{I_m}{4\pi r^2} \cos \omega t \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

(3.2) formulaning taxlili yaqin zonadagi maydon to'liqinli tavsifga ega emas degan xulosaga olib keladi (elektr va magnit maydonlarning kuchlanish fazasi ko'ndalang koordinatalarga bog'liq emas). **E** va **H** vektorlari faza bo'yicha  $90^0$  ga siljigan. Bundan kelib chiqadiki, energiya oqimining zichligi reaktiv tavsifga ega, oqimning o'rtacha energiyasi esa  $\vec{P}_{o'rt} = \text{Re} \vec{P} = 0$  bo'lganligi sababli, mavjud bo'lmaydi. Bu esa, yaqin zonada maydonning energiya zaxirasi hosil bo'lishini va u nurlanishdan kuchliroq ekanligini anglatadi. Bunda, maydon energiyasi albatta nurlanmaydi. Shuning uchun ham, yaqin zona - reaktiv maydon hududi deb ataladi.

Uzoq zonadagi maydon (3.3) formulada keltirilgan ifoda bilan tavsiflanadi:

$$\left. \begin{aligned} E_{\theta} &= \frac{k^2 I_m}{4\pi\omega\epsilon_a r} \sin(\omega t - kr) \sin \theta, \\ H_{\varphi} &= \frac{k I_m}{4\pi r} \sin(\omega t - kr) \sin \theta, \\ E_r &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

**E** vektorining uzoq zonadagi  $E_r$  tashkil etuvchisi  $E_{\theta}$  ga nisbatan bir necha marta kichik bo'lganligi tufayli ((3.1) ga qarang), uzoq zonadagi maydon sferik to'lqin sifatida namoyon bo'ladi, va u sferik frontga ega bo'ladi ( $r = \text{const}$ ).

(3.3) formulani taxlil qilish orqali EEN ning uzoq zonadagi sferik to'lqini xususiyatlarini aniqlash mumkin bo'ladi:

- **E** va **H** vektorlari o'zaro perpendikulyardir, chunki  $\vec{\mathbf{E}} = \vec{\theta} E_{\theta}$  va  $\vec{\mathbf{H}} = \vec{\varphi} H_{\varphi}$ ;
- **E** va **H** vektorlar sinfazdir;
- **E** va **H** vektorlari to'lqin tarqalishi yo'nalishiga ortogonal yo'nalgandirlar, chunki to'lqin radial yo'nalishda tarqaladi, vektorlar esa radial tashkil etuvchilarga ega emas ( $E_r = H_r = 0$ ).

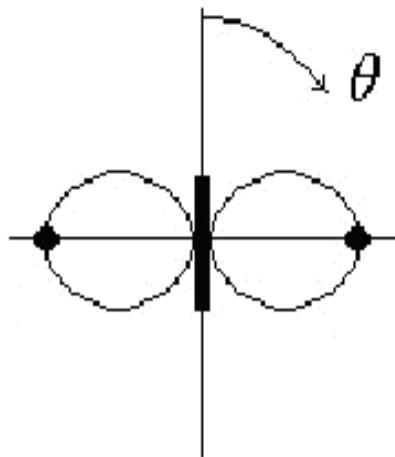
Yo'nalganlik tavsifi deb - **E** vektori kompleks amplitudalarining  $\theta$  va  $\varphi$  burchak koordinatalariga bog'liqligiga aytiladi. Yo'nalganlik tavsifining grafik ko'rinishi yo'nalganlik diagrammasi deyiladi

$$\left. \begin{aligned} E_{m\theta} &= j \frac{Il}{2\lambda r} Z_c \sin \theta, \\ f(\theta) &= \frac{Il}{2\lambda r} Z_c \sin \theta, \\ f(\theta)_{\max} &= \frac{Il}{2\lambda r} Z_c. \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

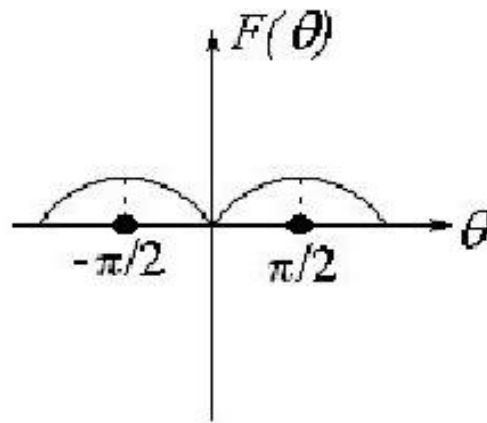
Me'yorlangan yo'nalganlik tavsifi quyidagicha hisoblanadi

$$F(\theta) = \frac{f(\theta)}{f(\theta)_{\max}} = |\sin \theta| \quad (3.5)$$

Garmonik tebranishning amplitudasi faqat musbat qiymatlarga ega, shuning uchun (3.5) formulada  $\sin \theta$  ning moduli ishlatilgan. Yo'nalganlik tavsifi qutbli yoki to'g'ri burchakli koordinatalar tizimida tasvirlanadi.

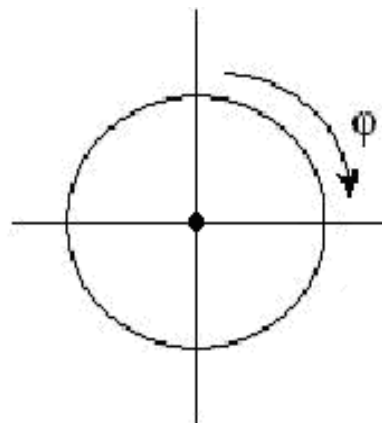


3.1-rasm. EEN ning qutbli koordinatalar tizimida tasvirlangan vertikal (meridional) tekislikdagi yo'nalganlik diagrammasi

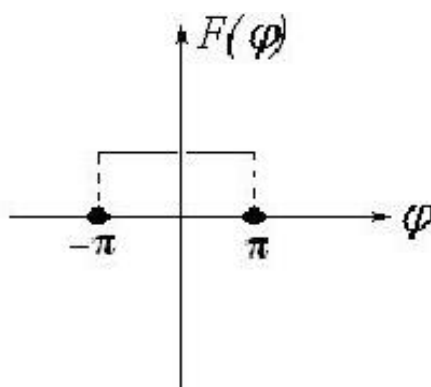


3.2-rasm. EEN ning to'g'ri burchakli koordinatalar tizimida tasvirlangan vertikal (meridional) tekislikdagi yo'nalganlik diagrammasi

(3.5) formuladan ko'rinib turibdiki, azimutal amplituda  $\varphi$  burchakka bog'liq emas, ya'ni nurlatgich  $\varphi$  burchak oralig'ida bir xil nurlatadi.



3.3-rasm. EEN ning qutbli koordinatalar tizimida tasvirlangan gorizonttal (azimutal) tekislikdagi yo'nalganlik diagrammasi



3.4-rasm. EEN ning to'g'ri burchakli koordinatalar tizimida tasvirlangan gorizontaal (azimutal) tekislikdagi yo'nalganlik diagrammasi

Garmonik toklarning nurlatish quvvati quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$P_{\Sigma} = \oint_S \vec{\Pi} \cdot \vec{r} dS \quad (3.6)$$

SHunday qilib, antenna, sirtida quvvat oqimi zichligining taqsimlangan o'rtacha qiymatiga ega bo'lgan sfera bilan o'ralgan. U holda quvvat (3.6) formula o'zgartirilgandan so'ng quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$P_{\Sigma} = 40\pi^2 I^2 \left( \frac{l}{\lambda} \right)^2 \quad (3.7)$$

Demak, nurlatish quvvati nurlatgichning elektrik uzunligiga (nurlatgich uzunligining to'lqin uzunligiga nisbati) bog'liq.

### 3 - masala

Elementar elektr nurlatgich (EEN)  $\epsilon_0$  dielektrik singdiruvchalika va  $\sigma = 0$  solishtirma o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan cheksiz birjinsli muhitda joylashgan. Nurlatgichdagi tok amplitudasi  $I_0$  ga teng.



Tebratgich  $l$  uzunlikka ega. EEN  $f_1, f_2, f_3$  chastotali elektromagnit to'liqin nurlatmoqda.

Talab qilinadi:

1. Uzoq va yaqin zonalardagi  $\mathbf{E}$  va  $\mathbf{H}$  vektorlarining tashkil etuvchilari va ularning yo'nalishlarini ko'rsating, hosil bo'lgan maydon tuzilishini tushuntiring.
2. Berilgan chastotalar uchun uzoq zona chegaralarini aniqlang va EEN ning uzoq zonadagi  $\mathbf{E}$  va  $\mathbf{H}$  vektorlari ifodasini yozing.
3. Berilgan chastotalarda ekvatorial tekislikdagi  $r_0$  masofada joylashgan  $\mathbf{E}$  va  $\mathbf{H}$  vektorlarining qiymatlarini aniqlang.
4. O'rta chastotada nurlanish qarshiligi, nurlanish quvvati va antenaning FIK ini aniqlang.
5. EEN ning o'rta chastotada  $\mathbf{E}$  va  $\mathbf{H}$  tekisliklardagi me'yorlanmagan tavsiflarini hisoblang va grafiklarini chizing.
6. Hisoblab topilgan kattaliklarning chastotaga bog'liqligini taxlil qiling va xulosa chiqaring.

Masala variantlari ilovadagi 3 - jadvalda keltirilgan.

### **3 – topshiriq uchun nazorat savollari**

1. EEN tushunchasi. Gers dipoli.
2. EEN maydonining zonalarga bo'linishi.
3. EEN nurlatish maydonining umumiy xossalari.

4. Uzoq zonadagi elektr va magnit maydonlari kuchlanganliklarining tashkil etuvchilari.
5. Muhitning to'liq qarshiligi.
6. EEN ning yo'nalganlik tavsifi.
7. EEN ning yo'nalganlik diagrammasi.
8. EEN ning nurlanish quvvati.
9. EEN nurlanish qarshiligi.
10. Gyuygens elementi, elementning nurlatish maydoni.
11. Elementar magnit nurlatgich. Magnit va elektr nurlatkichlarning yo'nalganlik diagrammalaridagi farqi.
12. Ikki muhit ajralish chegarasida to'liqning akslanishi va sinishi.
13. Normal va parallel qutblangan to'liq tushunchasi.
14. To'liqning bir muhitdan ikkinchi muhitga to'liq o'tishi hodisasi.
15. To'liqning dielektrikdan o'tkazgichga o'tishi. Maydonning o'tkazgichga singish chuqurligi.
16. Snellius qonunlari.
17. Frenel koeffitsiyentlari.
18. To'liqning ikki muhit ajralish chegarasiga normal (perpendikulyar) tushishi.

## 4 - TOPSHIRIQ

### Mavzu: Bo'shliqli to'liqino'tkazgichlar

#### Mashg'ulotning maqsadi

Berilgan mashg'ulot mavzusi bo'yicha topshiriqni bajarish natijasida talaba quyidagi tushunchalarni o'zlashtirishi kerak:

- bo'sh to'liqino'tkazgichlarning konstruksiyasi va o'lchamlarining qabul qilingan belgilanishi;
- to'liqino'tkazgichlarda to'liqin tarqalishining geometrik konsepsiyasi;
- elektr va magnit maydonlarning to'liqino'tkazgich ichida tarqalishi,  $\lambda_{kr}$  va  $\gamma_2$  tushunchalari;
- to'liqino'tkazgichlarda asosiy to'liqin parametrlarini hisoblashni o'rganish;
- to'liqino'tkazgichning ko'ndalang va bo'ylama kesimidagi  $m$  va  $n$  indeksleri qiymatini kuch chiziqlari yordamida tasvirlashni o'rganish.

#### Uslubiy ko'rsatmalar

Topshiriqni bajarishdan avval quyidagilarni o'rganib chiqish foydali: ([1] §§ 10.1-10.1.5; 10.2-10.2.3; [2] §§ 14.1-14.3; [3] §§ 9.1-9.2; 9.5; [4] §§ 19.1-19.8; 19.10-19.17)

Elektromagnit tebranishlarning tarqalish hududini chegaralovchi va oqimni berilgan yo'nalishga yo'naltiruvchi qurilma uzatish liniyasi deb ataladi. Bu liniyalar energiyani manbadan qabul qilgichga uzatish uchun qo'llaniladi, masalan uzatkichdan antennaga, antennadan qabul qilgich kirishiga va hokazo. Masalan, yo'naltiruvchi tizimni ideal o'tkazuvchi sirt sifatida qaralsa, shu sirt orqali to'lqinlarning yo'nalish jarayonini o'tkazgichdagi tok va zaryadlarning o'tkazgichdan tashqaridagi maydon bilan bog'liqligi orqali tushuntirsa bo'ladi.

Uzatish liniyalarini ikki guruhga ajratish mumkin: ochiq turdagi uzatish liniyalari va yopiq turdagi uzatish liniyalari, ya'ni, to'lqino'tkazgichlar. To'lqino'tkazgich – bu bir yoki bir necha tutashtirilgan o'tkazgich kontur ko'rinishidagi ko'ndalang kesimli, o'tkazuvchi sirtlardan iborat uzatish liniyasidir. To'lqino'tkazgich maydoni tashqi qobiq bilan ekranlanadi.

Bo'sh to'lqino'tkazgichlardagi to'lqinlarni tadqiq qilish quyidagi shartlar bilan bajariladi:

- 1) to'lqino'tkazgichning ichki yuzasi ideal o'tkazuvchi ( $\sigma = \infty$ );
- 2) to'lqino'tkazgichning ichi vakuumdir.

Bu cheklovlar, masalaning mohiyatini o'zgartirmagan holda maydon taxlilini osonlashtiradi, chunki to'lqino'tkazgichlar yuqori solishtirma elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan metallardan tayyorlanadi, to'lqino'tkazgichning ichini to'ldirib turuvchi havo esa o'zining parametrlari bo'yicha vakuumga o'xshashdir.

**E** va **H** to'lqinlar to'g'ri burchakli to'lqino'tkazgichlarda  $E_{mn}$  va  $H_{mn}$  kabi belgilanadi. To'lqino'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasidagi maydon tuzilishi turg'un to'lqinlarga muvofiqdir.  $m$  – keng  $a$

devordagi turg'un yarimto'lqinlar soni,  $n$  – tor  $b$  devordagi turg'un yarimto'lqinlar soni (4.1-rasm).  $m$  va  $n$  sonlarining qiymatiga qarab  $\gamma_{\perp}$ ,  $\lambda_{kr}$  va qolgan barcha parametrlar o'zgaradi. SHuning uchun  $m$  va  $n$  sonlari to'lqino'tkazgich turini aniqlab beradi.

$$\gamma_{\perp} = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}, \quad (4.1)$$

bunda  $\gamma_{\perp}$  - ko'ndalang to'lqin soni.

$$\lambda_{kr} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}, \quad (4.2)$$

$\lambda_{kr}$  – kritik to'lqin uzunligi.

To'g'ri burchakli to'lqino'tkazgichda maydon tuzilishi, kritik to'lqin uzunligi va boshqa parametrlar bo'yicha ajralib turuvchi turli xil to'lqinlar tarqalishi mumkin.

Turli to'lqinlarda maydon tuzilishi turlicha bo'lganligi sababli, ko'p to'lqinli rejimda qutblanishning talab qilingan ko'rinishiga erishib bo'lmaydi. SHuning uchun, bir to'lqinli rejimdan foydalaniladi. Bir to'lqinli rejimni maksimal kritik to'lqin uzunligiga ega bo'lgan to'lqindan foydalangan holda amalga oshirish qulaydir. Eng katta kritik uzunlikka ega bo'lgan to'lqin *asosiy to'lqin* hisoblanadi (quyi tartibli to'lqin), to'lqinning boshqa turlari esa yuqori tartibli to'lqin deb ataladi. To'g'ri burchakli to'lqino'tkazgichning asosiy to'lqini  $H_{10}$  hisoblanadi. Uning kritik to'lqin uzunligi  $\lambda_{kr}^{H_{10}} = 2a$  ga teng (bunda  $m=1, n=0$ ).

$H_{10}$  to'lqin eng katta kritik to'lqin uzunligiga ega, shuning uchun berilgan chastotada to'lqino'tkazgichning ko'ndalang kesim o'lchamlari

eng kichik bo'ladi. Umuman, to'liqino'tkazgichlarda ishchi to'liqin sifatida quyi tartibli to'liqindan foydalanish ijobiy natija beradi va to'liqino'tkazgichning o'lchamlari hamda massasini, va albatta uning tannarxini kamaytirilishiga sabab bo'ladi.

$H_{10}$  to'liqinning qutblanishi kuchli diskretlangan va O'YuCH qurilmalari va tizimlarining ishlashi uchun ma'qul keladi. Masalan,  $H_{10}$  to'liqinli to'g'ri burchakli to'liqino'tkazgichlar radiorele, radiolokatsion va boshqa santimetrli diapazon tizimlarida fiderlar sifatida keng qo'llaniladi.

Doiraviy to'liqin o'tkazgich 4.2-rasmda keltirilgan. Doiraviy to'liqino'tkazgichlardagi to'liqinlar  $E_{mn}$  va  $H_{mn}$  kabi belgilanadi. Ularning maydonlari to'g'ri burchakli to'liqin o'tkazgichdagi to'liqinlarga nisbatan ko'ndalang koordinatalarga ko'proq bog'liq. Maydonning radial bog'liqligi Bessel funksiyasi  $J_m(\nu_{\perp}r)$  va ularning birinchi darajali hosilasi  $J'_m(\nu_{\perp}r)$  orqali tavsiflanadi.  $m$  va  $n$  indekslar quyidagilarni anglatadi:  $m$  – to'liqino'tkazgichda aylana bo'ylab joylashgan turg'un to'liqinlar soni, Bessel funksiyasining tartibi ham hisoblanadi,  $n$  – turg'un to'liqin maydonining to'liqin o'tkazgich radiusi bo'ylab taqsimlanishini ifodalaydi.

Doiraviy to'liqin o'tkazgichda asosiy to'liqin  $H_{11}$  hisoblanadi, chunki  $\lambda_{kr}^{H_{11}} = 3,41 \cdot R$ .

$H_{11}$  to'liqinli doiraviy to'liqino'tkazgichlardan uzatish traktlarida fider sifatida foydalanish ularning past qutblanish sifatiga ega bo'lganligi bilan cheklanadi.  $H_{11}$  to'liqinning bu xususiyati maydonning parazit ortogonal qutblanishli tashkil etuvchilarining paydo bo'lishi bilan tushuntiriladi. Bu esa, to'liqino'tkazgichni ishlab chiqarishda

yuzaga keladigan noaniqlik tufayli, ya'ni, ko'ndalang kesimning ellipssimon bo'lishi sababli kelib chiqadi. Lekin,  $H_{II}$  to'liqli to'liqino'tkazgichning kalta bo'laklaridan turli xil O'YuCH qurilmalar tayyorlanadi: qutblantirgich, faza aylantirgich, sirkulyator va boshqalar.

#### 4 - masala

To'g'ri burchakli yoki doiraviy to'liqino'tkazgichda  $f$  chastotali elektromagnit to'liqin tarqalmoqda. To'liqino'tkazgich turi va uning o'lchamlari variantlar jadvalida keltirilgan.

Talab qilinadi:

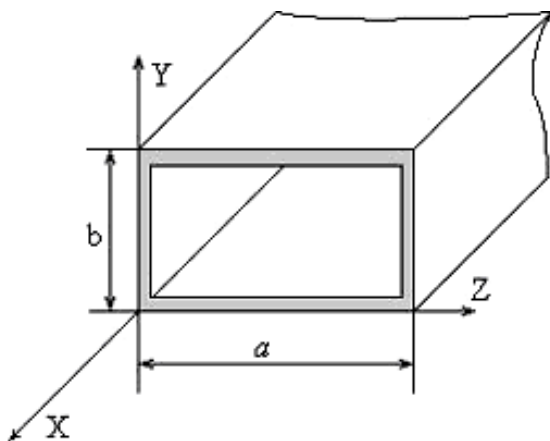
1. Berilgan to'liqino'tkazgich turi uchun asosiy to'liqin turini ko'rsating va ko'ndalang kesimda to'liqin tashkil etuvchilarining amplituda taqsimoti epyurlarini chizing. Asosiy to'liqinning kritik uzunligini aniqlang.
2. To'liqino'tkazgichda berilgan chastotada mavjud bo'lishi mumkin bo'lgan to'liqin turlarining miqdorini aniqlash va ularning shartli belgilarini yozing.
3. Berilgan to'liqino'tkazgich uchun bir to'liqinli rejimning chastota chegaralarini aniqlang va faqat asosiy to'liqin turi tarqaladigan ishchi chastotalarining yangi qiymatlarini tanlang.
4. Tanlangan chastotada havo to'ldirilgan to'liqino'tkazgichdagi asosiy to'liqinning quyidagi parametrlarini hisoblang:
  - to'liqino'tkazgichdagi to'liqin uzunligi ( $\lambda_t$ );
  - faza tezligi ( $v_f$ );

- guruhiy tezlik ( $v_{gur}$ );
- tavsifiy qarshilik ( $Z_c$ );
- faza koeffitsiyenti ( $\beta$ );
- so'nish koeffitsiyenti ( $\alpha$ ).

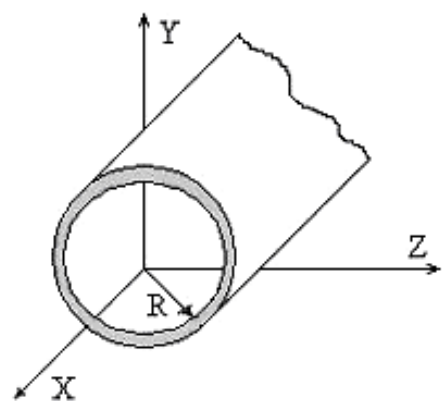
5. Nisbiy dielektrik singdiruvchanligi  $\varepsilon$  bo'lgan qattiq dielektrik bilan to'ldirilgan to'lqino'tkazgich uchun ham yuqoridagi parametrlarni hisoblang va natijalarni solishtiring.
6. Asosiy to'lqinning bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilari kompleks amplitudalari ifodalarini hisoblab topilgan kattaliklarni qo'llagan holda keltiring.
7. To'lqino'tkazgichning ko'ndalang va bo'ylama kesimlarida kuch chiziqlari yordamida asosiy to'lqinning tuzilishini tasvirlang.

**Ko'rsatma:** Juft variantlar to'g'riburchakli to'lqino'tkazgichni, toq variantlar esa doiraviy to'lqino'tkazgichni hisoblasinlar.

Masala variantlari ilovadagi 4 - jadvalda keltirilgan.



4.1-rasm. To'g'riburchakli to'lqino'tkazgich



4.2-rasm. Doiraviy to'lqino'tkazgich



#### 4 – topshiriq uchun nazorat savollari

1. Uzatish liniyalarining turlari, ularning xususiyatlari, uzatish liniyalariga qo'yiladigan talablar. Qo'llanish diapazonlari.
2. Yo'naltirilgan to'lqinlarning sinflanishi.  $T$ ,  $E$ , va  $H$  sinfi to'lqinlarining xususiyatlari va maydon tuzilishi. Ularning afzalliklari va kamchiliklari.
3. Brillyuen konsepsiyasidan foydalanib  $E$  va  $H$  sinfi to'lqinlarining maydon tuzilishidagi farqini tushuntiring.
4. Bir to'lqinli rejimda ishlovchi to'lqino'tkazgichlarda kritik chastota va kritik to'lqin uzunligi tushunchalari.
5. To'g'ri burchakli to'lqino'tkazgichning asosiy to'lqini, uning parametrlari.
6. Doiraviy to'lqino'tkazgichning asosiy to'lqini, uning parametrlari.
7. To'g'ri burchakli to'lqino'tkazgichdagi  $E$  va  $H$  sinfi to'lqinlarining tavsifiy qarshiliklari.
8. Doiraviy to'lqino'tkazgichdagi dispersiya turlari. Parametrlarning chastotaga bog'liqligi.
9. Doiraviy to'lqino'tkazgichlarda tarqalmaydigan elektromagnit maydonning mavjud bo'lish shartlari.
10. O'lchamlari  $22,95 \times 6,48$  mm,  $19,05 \times 9,521$  mm bo'lgan to'g'ri burchakli to'lqino'tkazgichlarning ishchi chastota diapazonini aniqlang.
11. Radiusi 6,3 mm bo'lgan doiraviy to'lqino'tkazgich qanday chastota diapazonida qo'llanilishi mumkin?

12. O'lchamlari  $15,8 \times 7,9$  mm bo'lgan to'g'ri burchakli to'lqino'tkazgich ko'p to'lqinli rejimda qanday chastota oraliqlarida ishlay oladi?
13. 4,12 mm radiusga ega bo'lgan doiraviy to'lqino'tkazgichda yuqori tartibli birinchi to'lqinning mavjud bo'lish chastotaviy diapazonini aniqlang.

## 5 - TOPSHIRIQ

### Mavzu: Koaksial to'liqin o'tkazgich

#### Mashg'ulotning maqsadi

Topshiriqni bajarish natijasida talaba quyidagilarni bilishi kerak:  $T$  sinfi to'liqlarining tarqalish xususiyatlari,  $\mathbf{E}$  va  $\mathbf{H}$  vektorlari amplitudalarining uzatish liniyasi parametrlari bilan bog'liqligi, to'liqin qarshiligi  $Z_t$ , chegaraviy quvvat va chegaraviy so'nishlarni hisoblash.

#### Uslubiy ko'rsatmalar

Topshiriqni bajarishdan avval quyidagilarni o'rganib chiqish foydali bo'ladi: ([1] §§ 10.4; 10.4.3; [2] §§ 14.4; [3] §§ 10.3; [4] §§ 19.19-19.22).

Koaksial to'liqino'tkazgichning asosiy o'lchamlari 5.1-rasmda keltirilgan. Koaksial to'liqino'tkazgichda to'liqlar  $E_{mn}$  va  $H_{mn}$  bilan belgilanadi, bunda  $m$  va  $n$  indekslarning ma'nosi xuddi doiraviy to'liqino'tkazgichdagidek. Ichki o'tkazgichning mavjudligi  $T$  sinfi to'liqlarining paydo bo'lishiga sabab bo'ladi.  $T$  to'liqlar ikki o'tkazgichli liniyalarning asosiy to'liqini hisoblanadi.  $T$  to'liqin maydoni faqat ikki tashkil etuvchilariga ega -  $E_r$  va  $H_\varphi$ . 1.2-masala echimida ko'rganimizdek,  $\mathbf{E}$  va  $\mathbf{H}$  vektorlarning amplitudalari koaksial to'liqino'tkazgichdagi  $I_m$  toki kompleks amplitudasi orqali ifodaladi va quyidagicha aniqlanadi

$$\left. \begin{aligned} E_{rm} &= Z_c \cdot \frac{I_m}{2\pi r} \\ H_{\varphi m} &= \frac{I_m}{2\pi r} \end{aligned} \right\}, \quad (5.1)$$

bunda  $Z_c$  – erkin fazodagi yassi to'rlqinning tavsifiy qarshiligi.

Koaksial to'rlqino'tkazgichning asosiy parametrlaridan biri to'rlqin qarshiligi  $Z_t$  bo'lib, u yugurma to'rlqin rejimida kuchlanganlik  $U_m$  va tok  $I_m$  amplitudalarining nisbati yordamida aniqlanadi:

$$Z_t = \frac{U_m}{I_m}. \quad (5.2)$$

Parametrlarning  $U_m = \int_{d/2}^{D/2} E_{rm} dr$  ko'rinishdagi bog'liqligini hisobga olsak, to'rlqin qarshiligi to'rlqino'tkazgichning o'lchamlariga bog'liqligi kelib chiqadi. To'rlqino'tkazgich qattiq dielektrik bilan to'ldirilgan xolatda

$$Z_t = \frac{Z_c}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{d}\right). \quad (5.3)$$

Havo bilan to'ldirilgan xolatda esa

$$Z_t = 60 \ln\left(\frac{D}{d}\right). \quad (5.4)$$

Qolgan parametrlar quyidagi formulalar orqali aniqlanadi

$$P_{uez} = \frac{E_{uez}^2 \sqrt{\varepsilon} d^2 \ln\left(\frac{D}{d}\right)}{480}, \quad (5.5)$$

$$\alpha_{uez} = \frac{R_s}{Z_c \ln\left(\frac{D}{d}\right)} \left( \frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right), \quad (5.6)$$

bunda  $E_{cheg} = 30 \text{ kV/sm}$  – quruq havoning teshilish kuchlanishi;

$R_s = \sqrt{\frac{\pi f \mu_0}{\sigma}}$  -  $\sigma$  o'tkazuvchanlikka ega metall simning yuza qarshiligi.

Koaksial to'liqino'tkazgichning  $D$  va  $d$  o'lchamlarini tanlash bir to'liqinli rejim sharti va  $P_{cheg}$  va  $\alpha_{cheg}$  parametrlari orqali o'rnatiladi

$$\lambda = \lambda_{kp}^{H_{11}} \approx \frac{\pi(D+d)}{2}. \quad (5.7)$$

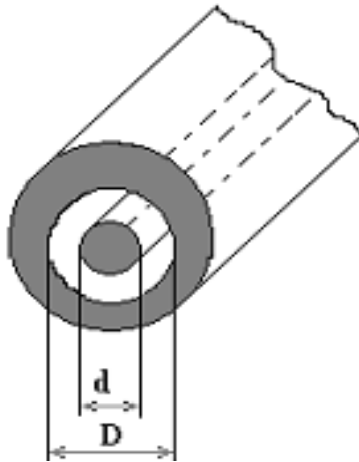
$P_{cheg}$  ning maksimal qiymati  $D/d = 1,65$  bo'lganda kuzatiladi.  $\alpha_{cheg}$  ning minimal bo'lishi uchun  $D/d \approx 3,59$  shart bajarilish lozim. Odatda,  $D/d \approx 3,59$  deb tanlanadi. Chunki, ana shunda quvvatning maksimal qiymati ancha yuqoriligicha qoladi.

Katta quvvatga bardoshli to'liqino'tkazgichlarni loyihalashda kabel o'lchamini  $D/d = 1,65$  nisbatiga mos qilib olinadi.

Koaksial kabel asosan UQT diapazonida ishlatiladi.  $\lambda < 10 \text{ sm}$  bo'lganda o'tkazgichdagi yo'qotishlar qiymati oshib ketadi va to'liqino'tkazgichlarga nisbatan ancha yuqori bo'ladi. Shuning uchun ham, santimetrli diapazonda koaksial kabelning faqat kalta bo'laklaridan foydalaniladi.

## 5 - masala

Koaksial to'liqino'tkazgichdan (5.1-rasm)  $f$  chastotali elektromagnit to'liqin energiyasi o'tkazilmoqda. Ko'ndalang kesim o'lchamlari variantlar jadvalida keltirilgan. To'liqino'tkazgichning o'tkazgichlari misdan ( $\sigma = 56,5 \text{ MSim/m}$ ) tayyorlangan, o'tkazgichlar orasida  $\varepsilon$  nisbiy singdiruvchanlikka ega dielektrik joylashtirilgan.



5.1-rasm. Koaksial to'liqino'tkazgich

Talab qilinadi:

1. Koaksial to'liqino'tkazgich uchun asosiy to'liqin turini aniqlang va asosiy to'liqinning to'liqino'tkazgichning ko'ndalang va bo'ylama kesimidagi tashkil etuvchilari maydon tuzilishini tasvirlang.
2. Bir to'liqinli rejimning chastotaviy chegaralarini aniqlang va ushbu rejimning afzalliklari va xossalari to'g'risida xulosa chiqaring.
3. Berilgan chastotada havo bilan to'ldirilgan to'liqino'tkazgichning quyidagi parametrlarni hisoblang: to'liqin uzunligi, faza tezligi, to'liqin qarshiligi, faza koeffitsiyenti.

4. Koaksial to'liqino'tkazgich uchun chegaraviy va ruxsat etilgan uzatish quvvatlarini ( $P_{cheg}$  va  $P_{re}$ ) va teshilish kuchlanishini aniqlang ( $U_{tesh}$ ).
5. Koaksial uzatish liniyasidagi induktivlikni aniqlang.
6. Koaksial liniyaning metall o'tkazgichlaridagi va uni to'ldiruvchi dielektrikdagi so'nishni aniqlang.
7. 3, 4, va 6 bo'limlardagi talablarni to'liqino'tkazgich  $\epsilon$  nisbiy dielektrik singdiruvchanlikka ega qattiq dielektrik bilan to'ldirilgan xolat uchun hisoblang va natijalarni solishtiring.

Masala variantlari 5 - jadvalda keltirilgan.

### **5 – topshiriq uchun nazorat savollari**

1. T sinfi to'liqini, uning afzalligi va kamchiliklari, T sinfi to'liqinining koaksial to'liqino'tkazgichning ko'ndalang kesimidagi maydon tuzilishi.
2. Koaksial uzatish liniyasining asosiy parametrlari, ularning o'tkazgichlar diametrlari nisbatiga bog'liqligi.
3. Koaksial to'liqino'tkazgich uchun kritik to'liqin uzunligi va kritik chastota tushunchasi.
4. Koaksial liniyaning ish rejimlari, qo'llanish diapazoni va ishlatishda o'ziga xos tomonlari.
5. Yo'naltiruvchi tizimlarda to'liqin so'nishining sabablari va miqdoriy qiymati.

6.  $R_1 = 2 \text{ mm}$  va  $R_2 = 6 \text{ mm}$  o'lchamlarga ega koaksial liniyada qaysi chastotalar diapazonida bir to'liqlinli rejim o'rnatiladi?
7. Koaksial to'liqino'tkazgichda katta quvvat uzatish va minimal so'nish ko'effitsiyentiga erishish uchun ko'ndalang kesim o'lchamlari qanday tanlanishi kerak?
8. Ikkita bir xil tashqi diametrga ega bo'lgan koaksial to'liqino'tkazgichning qaysi biri kengroq diapazonga ega?
9. Ikki xil qarshilikka ega bo'lgan koaksial to'liqino'tkazgichning qaysi biri tebranishlarni kamroq so'nish bilan o'tkazadi: 20 Omli to'liqino'tkazgichmi yoki 60 Omli? Nima uchun? Chastota oshishi bilan bu to'liqino'tkazgichdagi so'nish ko'effitsiyenti qanday o'zgaradi?



## **Mustaqil tayyorgarlik uchun topshiriqlar**

### **Mavzu: Chegaraviy shartlar**

#### **1 - topshiriq**

$\varepsilon_1$  parametrli muhitda elektr maydon kuch chiziqlari  $\varepsilon_2$  parametrli muhit chegarasi normallari bilan  $\theta_1$  burchak tashkil etmoqda. Ikkinchi muhitdagi kuch chiziqlarining yo'nalishini toping ( $\theta_2$  burchak).

#### **2 - topshiriq**

Bir xil taqsimlangan maydonning kuch chiziqlari havoda muhitlarning chegarasidagi sirtning normaliga nisbatan  $\alpha_1$  burchak tashkil etadi. Dielektrikda  $E_2$  qiymati berilgan. Dielektrik bilan chegaradosh bo'lgan havo muhitida  $D_1$  qiymatli maydon mavjud. Dielektrikning  $\varepsilon_2$  parametrini toping.

### **Mavzu: Elementar elektr nurlatgich**

#### **1 - topshiriq**

$l$  uzunlikka ega elementar elektr nurlatgichdagi tokni toping, Bunda  $r$  va  $\theta$  koordinatali nuqtalarda elektr maydon kuchlanganligi  $E_\theta$  ga, tebranishlar chastotasi esa  $f$  ga teng.

## 2 - topshiriq

$\lambda$  to'liqin uzunligida ishlayotgan  $l$  uzunlikka ega elementar elektr nurlatgichning qarshiligini toping va nurlatish quvvatini aniqlang. Nurlatgichdagi tok amplitudasi  $I$  ga teng.

### Mavzu: To'g'ri burchakli to'liqino'tkazgich

## 1 - topshiriq

$a \times b$  kesimga ega to'g'ri burchakli to'liqino'tkazgich  $\varepsilon$  nisbiy dielektrik singdiruvchanlikka ega dielektrik bilan to'ldirilgan. Tebranishlar chastotasi  $f$ , faza tezligi  $v_f$  va to'liqin o'tkazgichdagi to'liqin uzunligi  $\lambda_t$  ni toping.

## 2 - topshiriq

$E_{11}$  to'liqin turi uchun  $\lambda_{kr}$  (kritik to'liqin uzunligi),  $f_{kr}$  (kritik chastota) va  $\lambda_t$  (to'liqin o'tkazgichdagi to'liqin uzunligi) larni toping. Ko'ndalang kesim o'lchamlari  $a \times b$ . Tebranishlar chastotasi  $f$  ga teng.

## ADABIYOTLAR

1. Пименов Ю.В. Техническая электродинамика. – М.: Радио и Связь, 2000.
2. Вольман В.И., Пименов Ю.В. Техническая электродинамика. – М.: Связь, 1971.
3. Семенов Н.А. Техническая электродинамика. – М.: Связь, 1973.
4. Фальковский О.И. Техническая электродинамика. – М.: Связь, 1978.

## MASALALAR VARIANTLARI

1.1-jadval

Variant raqami	$R, sm$	$k$	$\varepsilon_2$	$\varepsilon_1$
1	11	3	2,3	1,6
2	10	2	4,2	4,9
3	13	4,5	2,4	1,3
4	15	2,2	2,6	2,9
5	17	5	2,5	1,3
6	18	6	4,4	6,3
7	22	1,8	3	1,3
8	24	2,2	4,1	6,2
9	26	5,3	4,7	3,2
10	10	4	2,3	4,7
11	18	3	5	3,1
12	24	3	3,6	6,3
13	32	6	6,2	3,6
14	26	8	4,4	2,7
15	34	6	2,6	7
16	36	9	3,8	1,5
17	38	2	3	5
18	34	10	2,7	3,9
19	40	1,4	2	5
20	22	10	5,2	3,1
21	26	11	1,9	4,2
22	28	12	3,2	1,6
23	36	17	5,3	2,9
24	34	16	4,7	3
25	44	9	3,3	6,5
26	41	15	4	8
27	44	21	7,3	6,8
28	48	12	5	2,7

## 1.2-jadval

Variant raqami	$I, A$	$d_1, mm$	$d_2, mm$	$d_3, mm$
1	2,5	8	10	28
2	2	6	14	36
3	1,4	10	20	70
4	2	18	26	57
5	2,4	12	23	48
6	2,5	16	26	54
7	2,2	14	28	56
8	2,9	12	29	68
9	1,9	10	24	58
10	2,7	16	32	64
11	2	18	30	60
12	4	22	44	82
13	3	14	26	84
14	6	26	54	90
15	2,3	6	16	34
16	2	8	28	54
17	1,8	10	20	43
18	4	9	18	36
19	1,6	12	24	50
20	3	13	28	74
21	2,3	17	22	66
22	4,1	14	26	76
23	2,7	10	22	54
24	7,2	6	12	50
25	3	10	22	78
26	1,2	11	22	46
27	4,3	2,7	5,6	13
28	1,5	3,2	6,8	13,3

$N_0$	$E_{xm}, V/m$	$E_{ym}, V/m$	$\varepsilon$	$f, MGs$	$\sigma, mSim/m$	$\psi$
1	15	25	5	50	8	$-\pi/2$
2	20	25	4	90	5	$\pi/2$
3	25	30	6	60	3	$3\pi/2$
4	30	30	2	80	9	$-3\pi/2$
5	34	20	6	130	3	$\pi/4$
6	35	33	8	170	10	$-\pi/4$
7	5	20	12	170	6	$3\pi/4$
8	10	45	9	240	8	$-3\pi/4$
9	17	26	4	180	9	$\pi/8$
10	20	10	4	260	12	$-\pi/8$
11	23	32	13	160	15	$\pi$
12	29	44	7	190	20	$-\pi$
13	43	27	4	140	20	$2\pi/3$
14	37	23	10	100	38	$-2\pi/3$
15	20	30	2	135	7	$7\pi/8$
16	30	20	7	170	7	$-7\pi/8$
17	27	42	7	200	3	$\pi/4$
18	33	24	6	260	17	$-\pi/4$
19	12	27	9	200	11	$\pi/2$
20	19	33	20	130	12	$-\pi/2$
21	20	23	10	90	4	$\pi$
22	29	32	9	60	3	$-\pi$
23	31	30	13	100	19	$3\pi/4$
24	33	25	3	200	23	$-3\pi/4$
25	37	20	8	160	16	$-\pi/2$
26	30	21	5	180	9	$\pi/2$
27	20	18	7	110	10	$-3\pi/2$
28	29	35	3	240	11	$\pi/2$

Variant raqami	$I_0, A$	$l, m$	$r_0, km$	$f_1, kGs$	$f_2, MGs$	$f_3, GGs$	$P_0, Vt$
1	15	3	40	20	20	4	6
2	20	2	50	30	30	2	8
3	18	4	60	40	40	2	10
4	20	5	70	50	50	2	12
5	26	4	75	80	100	3	9
6	22	2	80	90	80	4	8
7	16	10	90	100	90	3	7
8	18	8	100	70	60	7	5
9	20	10	120	60	50	5	6
10	16	15	50	30	40	8	8
11	26	18	60	40	60	2	10
12	20	10	70	50	70	4	12
13	21	8	80	60	30	10	6
14	36	2	40	30	100	2	8
15	34	6	60	40	120	3	13
16	30	4	140	110	60	1	10
17	24	8	100	80	100	2	8
18	18	6	60	40	70	3	6
19	30	4	70	60	20	4	3
20	28	10	50	50	90	5	7
21	10	12	110	90	30	6	12
22	15	7	90	30	50	7	10
23	20	6	60	40	70	9	19
24	22	9	90	60	90	8	13
25	16	8	130	80	110	3	17
26	24	17	45	90	55	8	11
27	19	4	135	70	45	7	7
28	27	8	65	65	80	10	3

## 4-jadval

Variant raqami	$f, GGs$	$\varepsilon$	$a, mm$	$b, mm$	$TO' turi$
1	3,0	2,5	220	-	doiraviy
2	3,5	2,8	119	59	to'g'riburchakli
3	3,8	3,0	120	-	doiraviy
4	4,0	3,4	117	58,5	to'g'riburchakli
5	4,5	3,6	116	-	doiraviy
6	4,8	3,8	114	57	to'g'riburchakli
7	5,0	4,0	112	-	doiraviy
8	5,2	4,2	110	55	to'g'riburchakli
9	5,6	4,4	108	-	doiraviy
10	6,0	4,6	102	51	to'g'riburchakli
11	6,2	4,8	100	-	doiraviy
12	6,8	5,0	98	49	to'g'riburchakli
13	7,0	5,2	94	-	doiraviy
14	7,5	5,4	92	46	to'g'riburchakli
15	7,8	5,6	80	-	doiraviy
16	8,0	5,8	76	38	to'g'riburchakli
17	8,2	6,0	72	-	doiraviy
18	8,6	6,5	70	35	to'g'riburchakli
19	9,0	7,0	68	-	doiraviy
20	9,2	7,4	66	33	to'g'riburchakli
21	9,6	8,0	64	-	doiraviy
22	9,8	8,8	62	31	to'g'riburchakli
23	10,0	9,2	60	-	doiraviy
24	10,3	9,8	58	29	to'g'riburchakli
25	10,6	10,2	56	-	doiraviy
26	11,0	10,6	54	27	to'g'riburchakli
27	11,3	11,0	52	-	doiraviy
28	11,6	12,0	50	25	to'g'riburchakli



5-jadval

Variant raqami	$f, MGs$	$\varepsilon$	$d, sm$	$D, sm$
1	80	2,25	0,6	2,2
2	90	4,5	0,9	3,6
3	100	8	1,5	4,6
4	125	2,5	2,5	7,0
5	300	6,0	3,4	10,0
6	432	4,8	1,7	2,6
7	527	20	2,1	6,3
8	740	6,7	2,0	7,5
9	238	7	1,6	3,8
10	444	6,4	4,2	8,3
11	734	5,45	4,4	11,0
12	846	5,7	6,5	13,7
13	953	7,2	3,5	6,7
14	467	8,0	4,3	15,2
15	775	7,9	4,5	14,4
16	168	10	5,4	16,3
17	270	12	8	19,2
18	579	3,3	4,6	12,2
19	680	3,7	5,4	10,7
20	495	2,6	3,4	6,7
21	210	2,0	4,3	10,2
22	350	3,5	5,0	10,0
23	856	4,3	6,2	12,3
24	400	5,2	5,3	10,8
25	550	9,7	8,2	15,0
26	620	8,4	6,4	11,3
27	700	7,0	4,4	10,4
28	850	9,2	3,6	8,4

**«Elektromagnetizm» fanidan amaliy  
mashg'ulotlar uchun uslubiy ko'rsatmalar va  
mustaqil ish shaxsiy topshiriqlari**

TRET kafedrası majlisida ko'rib chiqilgan va  
nashrga tavsiya etilgan. («\_5\_»\_05\_ 2015 y dagi  
№ 32 - bayonnoma).

TT fakulteti IUK majlisining «\_27\_» \_05\_ 2015 y.  
dagi № \_9\_- bayonnomasi asosida nashrga tavsiya  
etilgan.

Mualliflar: katta o'qituvchi A.Sh. Shaxobiddinov  
assistent A.R. Yusupova

Mas'ul muharrir dots. X.S. Soatov

Tahririy-musahhihlik hay'ati:

Muharrir R.I. Isayev

Musahhih Z. Radjabova

Ofset qog'ozi. Buyurtma № 26 Bosma 3,1

Tiraj 18 Nusxa 50

TATU bosmaxonasida nashr etildi

Toshkent sh. A. Temur ko'chasi 108 uy