**5 -MA’RUZALAR. MAKSVELL TENGLAMALARI.**

**Reja:**

4.1. Maksvellning birinchi tenglamasi.

4.2. Maksvellning ikkinchi tenglamasi.

4.3. Maksvellning uchinchi tenglamasi.

4.4. Maksvellning to'rtinchi tenglamasi.

4.5. EMM operatorlari.

**4.1. Maksvelning birinchi tenglamasi**

To‘liq tok qonuniga asosan

. (4.1)

Bu tenglama Stoks teoremasi asosida o‘zgartirilgach, quyidagi ko‘rinishga keladi

 . (4.2)



Natijada



yoki



Ushbu tenglamaning fizik ma’nosi shundaki, uyurmali magnit maydoni xam o‘tkazuvchanlik toklari tufayli, xam vaqt mobaynida o‘zgaruvchan elektr maydonlari tufayli yuzaga keladi.





Ideal dielektriklar uchun solishtirma elektr o‘tkazuvchanlik σ = 0 ga teng.

u holda to‘liq dielektrik singdiruvchanlik muhiti ε=const uchun Maksvelning birinchi tenglamasini vaqt davomida o‘zgaruvchan elektr maydoni va magnit maydoni kuchlanganligining fazoda o‘zgarishi o‘rtasidagi bog‘liqlikni o‘rnatadi va elektromagnit maydon doimo xarakatda ekanligini isbotlaydi.

**4.2. Maksvelning ikkinchi tenglamasi**

Bu tenglama konturda xosil qilingan elektromagnit induksiya qonunining differensial ko‘rinishi bo‘lib, quyidagicha aniqlanadi

. (4.3)

S yuza hamda L kontur ko‘zg‘almas va shaklan o‘zgarmas deb tasavvur qilatslik. U xolda, Stoks teoremasiga ko‘ra

, (4.4)

Shunday ekan,

 (4.5)

yoki

. (4.6)

Bu tenglamaning fizik ma’nosi shundan iboratki, uyurmali elektr maydoni o‘zgaruvchan magnit maydonini qo‘zg‘atadi. rotE≠0 bo‘lganligi uchun, E vektorining kuch chiziqlari yopiq bo‘lishi mumkin va ular **V** vektori chiziqlarini qamrab olishi kerak.

Magnit singdiruvchanlik μ=const bo‘lgan muhitlar uchun esa

. (4.7)

Shunday qilib, Maksvelning ikkinchi tenglamasi N vektorining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi bilan E vektorining fazoda o‘zgarishi o‘rtasidagi bog‘liqlikni o‘rnatadi.

**4.3. Maksvellning uchinchi tenglamasi**

Maksvellning uchinchi tenglamasi Gauss qonunining o‘zgaruvchan jarayonlar xolati uchun umumlashtirilgan ko‘rinishi xisoblanadi. Gauss qonuni ixtiyoriy yopiq S yuza orqali elektr siljishi vektori oqimining shu yuzada jamlangan Q zaryad bilan bog‘laydi

, (4.8)

Maksvellgacha bu tenglama faqatgina o‘zgarmas maydonlarga nisbatan qo‘llanilar edi. Maksvell esa bu tenglamani o‘zgaruvchan maydonlarda xam qo‘llash mumkin degan fikr bilan chiqdi. Q zaryad S yuzada ixtiyoriy taqsimlangan bo‘lishi mumkin. shuning uchun, umumiy xolda



bu yerda V- S yuzada joylashgan xajm;

ρ – zaryadning xajmiy zichligi.

Zaryadning xajmiy zichligi esa



Yuqoridagilarni xisobga olgan xolda, quyidagi tenglamani xosil qilamiz

 (4.9)

Bu tenglamani Maksvellning integral shakldagi uchinchi tenglamasi deb atashadi. Ostragradskiy teoremasiga asosan bu tenglamani differensial shakli quyidagicha

 (4.10)

Maksvellning uchinchi tenglamasidan quyidagi fizik ma’no kelib chiqadi; Elektr siljish vektorining yopiq yuza bo‘yicha oqimi shu yuzada taqsimlangan zaryadlarning xajmiy zichligiga teng va elektr maydoni kuch chiziqlari musbat zaryadlardan manfiy zaryadlar tomonga yo‘nalgan bo‘ladi.

**4.4. Maksvellning to‘rtinchi tenglamasi**

Maksvellning integral shakldagi to‘rtinchi tenglamasi magnit maydoni uchun Gauss qonuni bilan mos keladi. Unga ko‘ra, B vektorining ixtiyoriy S yuza orqali oqimi nolga teng

. (4.11)

Bu esa, V vektorining faqatgina yuzaga kiruvchi yoki yuzadan chiquvchi kuch chiziqlari mavjud emas, ular doimo yuzani yorib o‘tishini ifodalaydi.

Ushbu tenglama Maksvellning integral shakldagi to‘rtinchi tenglamasi nomi bilan yuritiladi. Uning differensial shakliga Maksvellning uchinchi tenglamasidagi kabi, Ostragradskiy-Gauss teoremasini qo‘llagan xolda o‘tish mumkin. Natijada

div **B** = 0. (4.12)

Bu tenglama esa Maksvellning to‘rtinchi tenglamasini differensial shakli. Unga ko‘ra, tabiatda magnit zaryadlari mavjud emas va V vektorining (magnit maydonining) kuch chiziqlari doimo o‘ziga-o‘zi tutashgan.

**4.5. Elektromagnit maydonning to‘liq tenglamalar tizimi**

Elektromagnit maydonni to‘rtta **D,E,B,H** vektor kattaliklar bilan tavsiflanadi. Doimiy singdiruvchanlikka ega bo‘lgan muhitlar uchun

D=εε0E, B=μ0μH (4.13)

Shuning uchun xam, hisoblashlarda ikki vektorni aniqlash kifoya qiladi. Odatda,‾**E** va ‾**N** vektorlari Maksvel tenglamalaridan aniqlanadi

‾E va‾N ni aniqlash uchun yuqoridagi tenglamalarning o‘zi yetarli emas. Shuning uchun, vektorlarning divergensiyalarini ham aniqlash kerak. Gaussning differensial shakldagi teoremasiga ko‘ra div‾D=ρ.

ε doimiy qiymatga ega bo‘lganda

 (4.14)

Magnit maydonning asosiy hususiyati bu uning solenoidalligi (div‾B=0). Agar μ doimiy bo‘lsa, div‾H=0.

Aniq masalalarni yechishda boshlang‘ich chegaraviy shartlari inobatga olish lozim.

Ikki muhitlar chegarasida ε, μ va σ ning qiymatlari sakrab, keskin o‘zgaradi. Demakki, chegara yuzasida magnit maydon vektori uzluksizligining uzilishi o‘rin tutadi. Vaqt bo‘yicha doimiy maydon uchun olingan chegaraviy shartlar elektromagnit maydon vektorlarining oniy qiymatlari uchun ham axamiyatini yo‘qotmaydi.

 (4.15)

Elektromagnit maydonning asosiy tenglamalaridan quyidagi fizik ma’no kelib chiqadi:

* magnit maydoni doimo uyurmalidir va u harakatlanayotgan zaryadlar bilan xam, vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan elektr maydoni bilan xam qo‘zg‘aladi.

Elektr va magnit maydonlari doimiy o‘zaro bir-biri bilan almashib turuvchi jarayon bo‘lib, yagona elektromagnit maydoning ikki tomoni sifatida namoyon bo‘ladi. Elektromagnit maydon doimo xarakatda va o‘zi bilan energiya zahirasini olib yuradi.

 (4.16)

Vaqt bo‘yicha doimiy jarayonlarda maydon tenglamasi ikki bir-biridan mustaqil tizimlarga ajraladi

elektr maydon uchun rotE=0, divε0εE=ρ

magnitostatistik maydon uchun rotH=J, divμ0μ‾H=0.

**4.6. To‘liq tokning uzluksizligi tenglamasi**

Bu tenglama Maksvellning birinchi tenglamasidan xosil qilinadi. Buning uchun tenglamaning ikkalal tomoniga nisbatan divergensiya amalini qo‘llash lozim, ya’ni

 (4.17)

vektorlar taxliliga ko‘ra, rotordan olingan divergensiya nolga teng degan ayniyat mavjud. Shuning uchun

 (4.18)

vektor divergensiyasining nolga tengligi, uning kuch chiziqlari yopiq ekanligini anglatadi. Shunday ekan, to‘liq tokning kuch chiziqlari uzluksiz. Bu xolat aloxida ikki yoki undan ko‘p simlardan tashkil topgan antennalarda nima uchun tok oqib o‘tishi va yopiq zanjir xosil bo‘lishini tushuntiradi. Bunday tizimda, o‘tkazuvchanlik tokining kuch chiziqlari fazo orqali siljish tokining kuch chiziqlari yordamida tutashadi va antennada tok oqishi uchun sharoit yaratadi. Xuddi shunday xodisa mobil va radiotelefonlarda xam kuzatiladi.

**4.7. EMM operatorlari**

**Muxitlar ikki sinfga bo‘linadi**

* Chiziqli
* Chiziqli bo‘lmagan
* **Chiziqli muxitlarning xossalari:**
* - birjinsli
* - birjinsli bo‘lmagan
* - izotrop
* - anizotrop

EMM ni taxlil qilishda 4 ta matematik operatordan foydalaniladi:

- Yopiq sirt bo‘yicha oqim;

- Yopiq kontur bo‘yicha sirkulyatsiya;

* Divergensiya;
* Rotor.

Yopiq sirt bo‘yicha oqim va divergensiya o‘rtasidagi bog‘liqlik quyidagicha:



Yopiq kontur bo‘yicha sirkulyatsiya va rotor amali orasidagi bog‘liqlik quyidagicha:



Ostrogradskiy teoremasi – vektorli maydonning yopiq sirt orqali oqimini shu maydon divergensiyasidan xajm bo‘yicha olingan integral yordamida ifodalaydi, ya’ni, maydon vektorining divergensiyasidan xajm bo‘yicha oligan integral shu vektorning yopiq sirt orqali oqimiga teng



Stoks teoremasi - vektorli maydonning yopiq kontur orqali integralini shu maydon rotoridan sirt orqali olingan integral yordamida ifodalaydi, ya’ni, maydon vektorining rotoridan sirt bo‘yicha olingan integral shu vektorning yopiq kontur bo‘ylab sirkulyatsiyasiga teng



**Nazorat savollari**

1. Garmonik tebranishlar deb nimaga aytiladi?

2. Qanday harakat tebranish deyiladi?

4. Tebranish davri nima?

4. Tebranish chastotasi nima?

5. Davr va tebranish chastotasi o'rtasida qanday bog'liqlik bor?

6. Prujinali mayatnikning tebranish davri qanday formula bilan aniqlanadi?

7. Matematik mayatnikning tebranish davri qaysi formula bilan aniqlanadi?

8. Elastik tebranishlar energiyasi qanday formula bilan aniqlanadi?

9. Majburiy tebranishlar nima?

10. Majburiy tebranishlar qanday chastotada sodir bo'ladi?

**Foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati:**

1. Пименов Ю.В, Вольман В.И. , Техническая электродинамика, - М: Радио и Связь, 2002 г.

2. Витевский В. И., Павловская Э. А. Электромагнитные волны в технике связи, - М: Радио и связь, 1995-125с.

3. Сборник упражнений и задач по электродинамическим дисциплинам: Учебное пособие для вузов. / Под ред. Э.А. Павловской. - М.; Радио и связь,1996- 197с.: ил.

4. Лебедев И.В. Техника и приборы сверх высоких частот в 2-х т., т. 1. - М.:Госэнергоиздат, 1970.

5. Сазонов Д.М., Гридин А.Н., Мишустин Б.А. Устройства СВЧ. / Под ред. Д.М. Сазонова. - М.: Высшая школа, 1981.

6. Вольман В.И., Пименов Ю.В, Техническая электродинамика, - М: Связь,1971.