**9-MA’RUZA. ELEKTROMAGNIT MAYDON ENERGIYASI VA QUVVATI.**

**Reja:**

9.1. Asosiy gipoteza

9.2. Elektromagnit maydon energiyasi va quvvati..

9.3. EMM energiya balansi..

9.4. Poynting teoremasi.

9.5. Magnit maydoni energiyasi.

**9.1. Asosiy gipoteza**

EMM - materiyaning o‘ziga xos turi sifatida ish bajarishga qodir. Masalan, u zaryadlangan zaryadlarni xarakatga keltira oladi. Makroskopik maydondagi energetik nisbatlarni ko‘rib chiqilayotganda, ularning orasida aloqa o‘rnatuvchi quyidagi ikki taxmindan foydalaniladi.

1. Elektromagnit energiya fazoda hajiy zichlik bilan taqsimlangan

ω=ωe+ωm=1/2 (Ye\*D+H\*B), Dj/m3

bu yerda ωe=(E\*D)/2 va ωm=(N\*V)/2 — elektr va magnit maydon energiyalarining hajmiy zichliklari.

1. Elektromagnit energiya oqimining zichligi elektr va magnit maydon kuchlanganliklarining vektor ko‘paytmasiga teng

P=[ExH], Bt/m2

Bu yerda P — energiya harakatining yo‘nalishini ko‘rsatuvchi va miqdori bo‘yicha uning oqimi zichligiga teng bo‘lgan Poynting vektori. Vektorning o‘lchov birligi uning quvvat zichligiga tengligini, ya’ni harakat yo‘nalishiga perpendikulyar joylashgan 1 m2 maydondan o‘tuvchi to‘lqin quvvatini ko‘rsatadi.

**9.2. Eneriya balansi**

EMM energiyaning saqlanish qonuniga bo‘ysunadi. Shuning uchun S yuza bilan chegaralangan har qanday V hajmda kelayotgan va undan chiqayotgan energiyalar tengligi sharti bajariladi. Berilgan vaqt laxzasida hajmdagi energiya qiymatini quyidagi tenglamani integrallash orqali aniqlash mumkin



Vaqt o‘tishi bilan energiya qiymati bir qator sabablarga ko‘ra o‘zgaradi:

— energiya boshqa turlarga aylanadi. Radioto‘lqinlarni qabul qiluvchi qurilmaning kirish zanjirida elektronlarning EMM ta’siri ostida issiqlik harakati hajmdagi (iste’molchi uchun foydali) energiya yo‘qotishlariga olib keladi. Energiyaning sarflanish tezligi uning yo‘qotishlar quvvati deb ataladi;

— chetki (begona) manba’larning energiyasi hisobiga to‘lib boradi. Masalan, berilgan hajmda joylashgan antennaning nurlashi xisobiga maydon energiyasi ko‘payadi. Bunda, energiya ko‘payishining tezligi chetki kuchlar quvvati Rchet ga teng;

* xajmdan nurlanadi yoki hajm tashqarisidagi manba’lar energiyasi hisobiga to‘ladi. Hajmdan chiquvchi elektromagnit oqimini nurlanish deb ataymiz. Nurlanish quvvati “oqim” operatori orqali aniqlanadi:

 (9.2)

Yodingizda bo‘lsa, elektromagnit maydon vektori dS shu yuzani o‘rab turuvchi hajmga tashqi normal bo‘yicha yo‘nalgan. Agar P va dS vektorlarining yo‘nalishlari qarama –qarshi (ya’ni quvvat oqimi hajm ichiga yo‘nalgan) bo‘lsa, u holda quvvatning manfiy qiymatiga ega bo‘lamiz. Unda PΣ miqdorni nurlanish quvvati deb emas, balki kirish quvvati deb atash lozim bo‘ladi. Lekin, bunday atama elektrodinamikada ishlatilmaydi, balki faqat nazarda tutiladi.

Biz berilgan hajmdagi energiyaning vaqt bo‘yicha o‘zgarish (*dW/dt*) sabablarining barchasini qo‘rib chiqdik. Demak

bu yerda Pchetki – chetki manba’ quvvati,

Py – yo‘qotishlar quvvati (iste’mol qilingan),

PΣ – nurlanish quvvati.

(9.3) ifoda berilgan hajmdagi EMM quvvati balansining umumiy fizik tenglamasi hisoblanadi.

**9.3. Elektromagnit maydon vektorlarining oniy qiymatlari uchun Poyting teoremasi**

(9.3) tenglamaga (9.2) va (9.1) ifodalarni qo‘ysak quyidagi tenglamani xosil qilamiz



Pchetki bilan Py  ning tarkibini taxlil qilaylik. EMM ning energiya yo‘qotishlari zaryadlarning maydon ta’siri ostidagi harakatiga bog‘liq. Shu bilan birga, qo‘zg‘almas zaryadlar yo‘qotishlarga olib kelmaydi. Zaryadlarning harakatini elektromagnit maydon ro‘yobga chiqaradi, ya’ni magnit maydoni bu xarakatga ta’sir ko‘rsatmaydi. Chunki, uning ta’sir etish kuchi



xarakatning tezligi vektori V ga perpendikulyar, yo‘qotishlar quvvati esa skalyar ko‘paytma xisoblanadi



Bu tenglikning to‘g‘riligi olingan miqdorning o‘lchov birligi ([(Kl\*V/m)\*m/s]=[(A\*s\*V/m)\*m/s]=A\*V=Vt) bilan xam tasdiqlanadi. Hajmning har bir nuqtasidagi energiya balansini ko‘rib chiqish uchun ham yo‘qotishlar quvvatining hajmiy zichligi va chetki kuchlar tushunchalari kiritiladi



(9.5) formulada yo‘qotishlarning hajmiy zichligini xosil qilinadi



Bu yerda ρ\*V elektr tokining zichligi vektorini ifodalaydi. Shuning uchun yo‘qotishlar quyidagi miqdor bilan ta’riflanadi



(9.9) tenglamani quyidagi ko‘rinishga xam keltirish mumkin



(9.7) tenglama Joul-Lens qonunining diferensial shakli xisoblanadi.

(9.9) skalyar ko‘paytma musbat hamda manfiy miqdor bo‘lishi mumkinligi sababli, Ry>0 holati maydon energiyasining zaryadlar harakatini hosil qilishiga sarflanishini ifodalaydi. J va Ye qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘lsa, EMM chetki manba’lardan energiya oladi. Shuning uchun



Unda (9.4) ifodadan integral shakldagi EMM energiyasining saqlanish qonuni xosil qilish mumkin

 (9.9)

Hajmning kamaytirilishi, ya’ni fazodagi nuqtachalik kichik o‘lchamga o‘tkazilishi yo‘li bilan qonunning differensial shaklini xosil qilinadi

 (9.10)

Bunda ED=, NV= ko‘paytmalari ochib berilgan va Ostragradskiy – Gauss teoremasi qo‘llanilgan.

=

Poyting teoremasi shuni isbotlaydiki, hajmda to‘plangan EMM quvvati foydali ish bajarish uchun sarflangan xamda tashqaridan oqim ko‘rinishida olingan chetki manbalar quvvatlarning algebraik yig‘indisiga teng. Quvvat balansi tenglamasi EMM nazariyasida katta ahamiyatga ega. Xususan, bu tenglama elektrodinamik masalalar javoblarining to‘g‘riligini tekshiruvchi universal apparat hisoblanadi. (9.9) va (9.10) tenglamalari vektorlarining oniy qiymatlari uchun yozilgan. Shuning uchun xam ular har qanday o‘zgaruvchi maydon uchun o‘rinli. Garmonik maydonlar uchun esa ular ancha soddaroq ko‘rinishga ega.

**9.4. Elektromagnit maydonning kompleks vektorlari uchun Poynting teoremasi**

Garmonik jarayonlarning fizik mohiyati davr davomidagi o‘rtacha energetik xarakteristikalarni aniqlash imkonini beradi. O‘zgaruvi tok zanjirida  tenglik qo‘llanilgani kabi, EMM nazariyasida kompleks yo‘qotishlar va nurlanish quvvatlari tushunchalari kiritiladi. Shu bilan birga, shuni ham nazarda tutish kerakki, quvvatning xarakteri fazalar yig‘indisiga emas, balki tebranishlar fazasining o‘lchov birligiga bog‘liq. Skalyar ko‘paytmadagi ikkinchi ko‘paytma kompleks xolda bog‘langan miqdor sifatida olinadi



Shuning uchun, EMM elektr va magnit energiyalarining o‘rtacha zichligi mos ravishda quyidagilarga teng



Yo‘qotishlar quvvatining o‘rtacha xajmiiy zichligi esa



Chetki kuchlar quvvatining o‘rtacha zichligi



Bunda  — chetki kuchlar quvvatining kopleks hajmiy zichligi.

Kompleks Poynting vektori quyidagi ko‘rinishdagi ko‘paytma sifatida aniqlanadi



Kompleks vektor oqimi aktiv va mavxum qismlarni o‘z ichiga oladi.



Energiya oqimi zichligining bir davrdagi o‘rtacha qiymati kompleks vektorning moddiy qismiga teng, ya’ni



Cheklangan S yuzali fazoning hajmidan chiquvchi nurlanish quvvvati quyidagi integral ko‘rinishida aniqlanadi



EMM nazariyasi bo‘yicha o‘quv qo‘llanmalarida, (9.11) ifodadagi Ye va N lar ostida vektorlarning amplituda qiymatlari fahmlanadi. U holda (9.12) tenglama quyidagi ko‘rinishda yoziladi



Shunday qilib garmonik (monoxromatik) maydon uchun energiya balansi tenglamasi (5.9) ning moddiy qismi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi



(9.10) tenglamasi esa



(9.15) tenglamasi (9.10) ga parametrlarning kompleks qiymatlarini qo‘yish yo‘li kompleks tenglamaning moddiy qismi uchun yozilgan



Energiya balansi tenglamasi quvvatning mavxum qismi uchun ayrim hollarda (9.15) tenglamasiga o‘xshab yoziladi.

**9.5. Magnit maydoni energiyasi**

dl elementar maydonni kesib o‘tayotgan magnit oqimi dF=d ga teng. To‘la oqim esa

F=. (5.20)

d yuzani chegaralovchi konturda kuch naychalarini chizamiz.  vektorining magnit maydondagi chiziqlari doimo o‘zaro tutashgan bo‘lganligi uchun, kuch naychalari xam yopiq (tutashgan) bo‘ladi. Ular magnit maydoni bilan band bo‘lgan V hajmni to‘ldiradi. Agar nay o‘qini L bilan belgilasak, u holda



Maydon energiyasi esa

,

yoki

,

u holda

. (5.21)

Agar =rot ekanligini hisobga olsak

,

biroq,

div[]=rot-  rot.

Shunday ekan,



tenglamani yozish mumkin.

Ostrogradskiy teoremasiga ko‘ra

. (5.22)

Magnit maydoni cheksiz hajmni egallaganligi uchun S ni cheksiz katta R radiusli sharning yuzasi deb qarash mumkin. [] vektor masofa funksiyasi sifatida  dan tezroq, yuza esa R2 dan sekinroq o‘sib boradi. O‘unday ekan, R→∞ xolatida

.

U xolda, Maksvellning (rot=J) birinchi tenglamasiga ko‘ra

 (5.23)

tenglamani hosil qilamiz.

**9.6. Magnit maydonning hisoblash usullari**

Magnit maydonini hisoblash ko‘pincha **N** vektorni aniqlashga taqaladi.

Bunda, tok ыiymatlari va tok oqayotgan o‘tkazgichlarning joylashuvi berilishi shart. Agar maydon ferromagnitsiz muhitda ta’sir etayotgan bo‘lsa,

μμ0≈μ0=4π10-7 Gn/m . (5.24)

Agar **N** ni hisoblash katta matematik qiyinchiliklar tug‘dirsa, u holda vektor potensial tushunchasini kiritish qulay. Vektor potensialini aniqlash orqali maydon kuchlanganligini topish mumkin. Magnit maydonini hisoblashda quyidagi usullardan foydalanish mumkin:

* Integral ko‘rinishdagi to‘liq tok qonuni qo‘llash;
* Maksvelning birinchi tenglamasini qo‘llash;
* Vektor potensiali uchun Puasson – Laplas tenglamasini qo‘llash;
* Ko‘zguli tasvir usuli;
* Konform o‘zgarishlar usuli;
* grafik xisoblash usulini.

**Nazorat savollari**

1. Garmonik tebranishlar deb nimaga aytiladi?

2. Qanday harakat tebranish deyiladi?

3. Tebranish davri nima?

4. Tebranish chastotasi nima?

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

**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,1999- 197с.: ил.

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