

**Маъруза: Электромагнит
майдон энергияси ва уни
бошка турдаги энергияга
айлантириш**

Э л е к т р о м а г н и т м а й д о н и - ўзаро боғлиқ ва бир-бирини хосил қилувчи электр ва магнит майдонларининг бирлиги билан ифодаланадиган материянинг бир кўринишидир. Электромагнит майдонининг тарқалиши электр ва магнит майдонлари бирлигидан иборат бўлган электромагнит энергиясининг харакати билан биргаликда кечади. Электр ва магнит майдонларининг ўзгаришига электр энергиясининг магнит, магнит энергиясининг электр энергиясига айланиши мос келади.

Электромагнит майдони турли хил кўринишларда мавжуд (намоён) бўлиши мумкин: электр майдони, магнит майдони, электромагнит тўлқинлари, электр токи ва бошқа электр ва магнит ходисалари. Ушбу кўринишлар эса ўзларига мос: электростатик, магнит, электромагнит, электродинамик ва бошқа энергия турларини етказиб беради. Электродинамик ёки электр энергиясининг кўпроқ қўлланилишига асосий сабаб уни хосил қилиш, узатиш ва бошқа электр, ноэлектр энергия турларига осон айлантирилишидир.

Харакатланмай диган бир жинсли ва изотроп мухитда ўзгарувчан электр майдони учун тўлиқ тенгламалар системаси қуйидаги кўринишга эга:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{J} ; \quad \operatorname{rot} \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial \tau ; \quad \vec{j} = \gamma \vec{E} + \partial \vec{D} / \partial \tau + \rho \vec{v} ; \\ \vec{D} &= \varepsilon_a \vec{E} ; \quad \vec{B} = \mu_a \vec{H} ; \quad \operatorname{div} \vec{D} = \rho ; \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0 \end{aligned}$$

бундан

\vec{H} - магнит майдон кучланганлиги, А/м;

\vec{J} - тўлиқ ток зичлиги, А/м²;

\vec{E} - магнит индукцияси, Тл; тҒвақт, с;

e - солиштирма электр ўтказувчанлиги, См/м;

D - электр индукцияси, Кл/м²;

v - эркин зарядлар ҳаракат тезлиги, м/с;

ε_a - модданинг абсолют диэлектрик сингдирувчанлиги, Ф/м;

μ_a - модданинг абсолют магнит сингдирувчанлиги, Гн/м.

Моддий мухитларда электр майдонининг асосий кўринишларидан биригэлектр токи. Тўла ток зичлиги (1.3) куйидагилардан иборат: ўтиш токи зичлиги

$$\vec{j}_{ум} = \gamma \vec{E}$$

электр майдон кучланганлиги \vec{E} га пропорционал;
электр силжиш токи зичлиги,

$$\vec{j}_{сил} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \epsilon_a \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

электр майдон кучланганлиги нинг ўзгариш тезлигига пропорционал; сийрак газли мухитда зарядларни ташиш токи зичлиги

$$\vec{j}_{таш} = \rho \vec{v}$$

зарядлар харакат тезлиги га пропорционал.

Ташиш токи электротермияда, электрон вакуумли ва бошқа лампаларда фойдаланиладиган электрон пушкаларда кузатилади. $\vec{j}_{ўт}$ ва $\vec{j}_{сил}$ токлари зичлиги асосий қийматларга эга бўлгани учун, улар кўпроқ ўрганилади.

Электр майдони энергиясининг хажмий зичлиги $\bar{D} = \epsilon_a \bar{E}$ нинг чизиқли боғлиқлигида) қуйидагича ифодаланади

$$W_{\epsilon} = \frac{1}{2} \epsilon_a E^2$$

Магнит майдони энергиясининг хажмий зичлиги (\bar{B} ва \bar{H} орасидаги чизиқли боғлиқликда) эса қуйидагича ифодаланади

$$W_M = \frac{1}{2} \mu_a H^2$$

Электромагнит майдони энергиясининг хажмий зичлиги

$$W = \frac{1}{2} (\epsilon_a E^2 + \mu_a H^2)$$

Электромагнит тўлқинлари кўринишида узатиладиган энергия Максвелл қонунига асосан моддий мухитларда қуйидаги тезликда тарқалади

$$v = 1/(\sqrt{\epsilon_o \mu_o} \sqrt{\epsilon \mu}) = c / \sqrt{\epsilon \mu}$$

бундан ϵ_o - электр доимийси ($8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); μ_o - $1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м га тенг бўлган магнит доимийси; ϵ - нисбий диэлектрик сингдирувчанлик; μ - модданинг нисбий магнит сингдирувчанлиги; c $1/\sqrt{\epsilon_o \mu_o}$ - тақрибан $3 \cdot 10^8$ м/с га тенг бўлган електромагнит тўлқинларининг вакуумдаги тезлиги.

Электромагнит тўлқинларининг хавода тарқалиш тезлиги $v/c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с ($\epsilon \approx 1, \mu \approx 1$).

Электромагнит майдонида энергиянинг харакати Пойнтинг вектори билан ифодаланеди

$$\vec{P} = \left[\vec{E} \vec{H} \right]$$

яъни, вақт бирлигида энергия харакати йўналишига перпендикуляр майдон бирлигига мос келувчи електромагнит тўлқинлари етказиб берувчи энергия оқими ($\text{В} \cdot \text{А} / \text{м}^2$) ни ифодалайди. \vec{E} ва \vec{H} векторларига перпендикуляр векторнинг йўналиши энергиянинг харакат йўналишига электромагнит тўлқинлар тарқалишига мос тушади.

Электромагнит тўлқинлар оқими қисман қайтади, қисман ютилади ва ўтказиб юборилади. Ютилган энергия материал ичида електромагнит майдонини ўзгартиришга сарф бўлади.

Вақт бирлигида чегараланган A юзали қандайдир \mathbf{v} хажмга тушувчи энергия,

$$\bar{S} = -\oint_A \bar{P} d\bar{A} = -\oint_A \left[\bar{E} \bar{H} \right] d\bar{A}$$

Интеграл олдидаги минус белгиси жисм элементар юзаси (dA) га, нормалга қарамағқарши энергия оқими жисм ичига йўналганлигини ифодалайди. Умуман, энергия оқими мусбат миқдор, чунки скаляр кўпайтма $[\bar{P}d\bar{A}] < 0$. Қўйилган масаланинг конкрет шартлари учун мухитлар чегараси юзасида чегаравий шартларни ҳисобга олиб ва (1.17) тенгламадан фойдаланиб \vec{E} ва \vec{H} га нисбатан електромагнит майдони тенгламалар системасини ечиб, жисмга тушувчи энергия оқимини аниқлаш мумкин.

Электромагнит майдон энергиясининг бошқа турларга айланиши электромагнит тўлқинларнинг мухитларда ютилиши хисобига амалга ошади. Бошқа турга айлангириш йўналиши ва интенсивлиги мухитнинг электрофизик хоссалари ва майдон частотасига боғлиқ. Энергия ютилишининг асосий шартлиғмухитда “электромагнит энергиясини қабул қилувчи” - майдоннинг тебраниш частотасидан унчалик фарқ қилмайдиган тебраниш частотасига эга бўлган элементар эркин ёки боғлиқ электр зарядларининг бўлишидир. Бу икки частота қанчалик яқин бўлса энергия шунчалик кўп ютилади.

Ўтказгичларда майдоннинг нисбатан кичик частоталарида “эркин” электронлар ёки тоқлар харакатга келадилар, натижада электрон ёки ионли ўтказувчанлик тоқлари пайдо бўлади.

Металлар боғлиқ зарядларининг паст частоталарга нисбатан сезувчанлиги пастдир, частотаси 1 МГц дан юқори электромагнит тўлқинларини эса металлар қайтарадилар. Диэлектрикларда юқори частотали электромагнит тўлқинларини “қабул қилувчилар” - электр силжиш тоқларини хосил қилувчи боғлиқ зарядлардир.

Электромагнит тўлқинлари ютувчи мухитда тарқалиш йўналиши бўйлаб кучсизланиб боради. Пойнтинг вектори билан аниқланадиган энергия оқими мухит сиртидан “Z” масофанинг функцияси хисобланади ва экспоненциал қонунга асосан камаяди

$$S_z = S_e \exp(-2kz)$$

бунда S_e – мухит сиртидаги энергия оқими, В А/м²; k-тўлқиннинг сўниш коэффициентини, м⁻¹.

Демак, тўлқинларнинг сўниш интенсивлиги, яъни энергия ютилиши мухитнинг электрофизик хоссалари ва майдон частотасининг функцияси бўлган сўниш коэффициентини k билан аниқланади. Ютувчи мухит учун бу коэффициент қуйидаги формула ёрдамида ифодаланади

$$k = \omega \sqrt{\frac{\varepsilon_a \cdot \mu_a}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\gamma}{\omega E a} \right)^2} - 1 \right]}$$

бунда $\omega=2\pi f$ -майдоннинг бурчак тезлиги, рад/с.