

Povzetek enačb elektromagnetnega polja

(zapisi označeni z (*) so neobvezni)

S študijem električnih in magnetnih pojavov smo prišli do osnovnih zvez, ki opisujejo lastnosti elektromagnetnega polja. Električno polje smo razložili in v matematični obliki popisali z električno poljsko jakostjo E , magnetno polje pa z gostoto magnetnega pretoka B .

V osnovi ob poznavanju teh dveh veličin določimo silo na naelkren delec kot $\vec{F} = Q\vec{E} + Q\vec{v} \times \vec{B}$.

Ta enačba je znana kot Lorentzova sila.

Ker sta ti dve količini primerni za obravnavo le v vakuumu (v snovi nista narobe, pač pa je nabojev preveč, da bi računali vpliv vsakega z vsakim), smo vpeljali še dve veličini, gostoto električnega pretoka D in jakost magnetnega polja H , ki omogočata obravnavo elektromagnetnih pojavov tako v vakuumu kot v snoveh. Zgodovinsko gledano so se zapisi enačb dopolnjevali in spreminjali, v obliki, v kakršni jih danes poznamo, pa jih je združil J.C. Maxwell (Pravzaprav njegovi nasledniki, predvsem Heaviside. Maxwell jih je zapisal nekoliko manj pregledno). Osnovne zveze predstavljajo štiri t.i. Maxwellove enačbe:

1. Maxwellova enačba = razširjen Amperov zakon:

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = i_{kond} + i_c = \int_A \left(\vec{J}_{kond} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{A}$$

Integral H -ja po zaključeni poti je enak oklenjenemu toku, ta pa je enak vsoti konduktivnega in poljskega (premikalnega) toka. Ta dva pa lahko izrazimo z gostoto konduktivnega toka in z odvodom gostote električnega pretoka po času. To je zapis v t.i. integralni obliki, pogosto ga zasledimo tudi v t.i. diferencialni obliki: $\text{rot} \vec{H} = \vec{J}_{kond} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$. Rot je oznaka za operator, ki ga imenujemo rotor. Znanja o teh zapisih presegajo domet predmeta, podajamo jih le zato, da bi pri morebitni kasnejši zasleditvi izraza lažje našli povezavo z že slišanim.

2. Maxwellova enačba = Faradayev zakon indukcije

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_A \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{A}$$

Integral E -ja po zaključeni poti je enak inducirani napetosti oziroma negativni časovni spremembi fluksa skozi zanko L . V primeru gibanja zanke, je potrebno členu na desni dodati še t.i. gibalno napetost, člen $\oint_L (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$. V diferencialni obliki je enačba oblike:

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (*)$$

3. Maxwellova enačba = Gaussov zakon za magnetni polje

$$\oint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Integral B-ja po zaključeni površini je enak nič, oziroma magnetni pretok skozi zaključeno površino je enak nič. Rečemo tudi, da magnetno polje ni izvorno, oz., da je rotacijsko. V diferencialni obliki: $\text{div} \vec{B} = 0$ (*).

4. Maxwellova enačba = Gaussov zakon za električno polje.

$$\oint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = \int \rho dV$$

Integral D-ja po zaključeni površini je enak zaobjetemu prostemu naboju. V diferencialni obliki je zapis oblike $\text{div} \vec{D} = \rho$ (*) in če upoštevamo, da je $\vec{E} = \epsilon \vec{D}$ in $\vec{E} = -\text{grad}V$ dobimo enačbo, ki je znana kot **Poissonova enačba** $\text{div} \epsilon \text{grad}V = -\rho$ (*). V primeru, da v snovi ni prostih nabojev, pogosto to enačbo zapišemo kot $\text{div} \epsilon \text{grad}V = 0$ (*) in je znana kot **Laplaceova enačba**.

Štiri osnovne enačbe opisujejo zvezo med električnim in magnetnim poljem. Vidimo, da sta ta dva med seboj povezana, da časovna sprememba električnega polja povzroči nastanek magnetnega polja (1 enačba), in da časovna sprememba magnetnega polja rezultira v nastanku magnetnega polja.

Poleg teh štirih enačb moramo še upoštevati **zakon o ohranitvi naboja**, ki ga zapišemo v obliki t.i. **kontinuitetne enačbe**:

$$\oint_A \vec{J} \cdot d\vec{A} = -\int \frac{\partial \rho}{\partial t} dV$$

Snovne lastnosti upoštevamo z zvezo med E-jem in D-jem v obliki

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

in med B-jem in H-jem

$$\vec{B} = \mu \vec{H}, \text{ ter med J-jem in E-jem}$$

$$\vec{J} = \gamma \vec{E}.$$

V primeru bolj kompleksnih materialov (izotropnih) je lahko permeabilnost ali dielektričnost različna v različnih smereh in jo je potrebno zapisati v obliki tenzorja. Poleg tega so zveze lahko nelinearne, recimo v primeru feromagnetnih materialov. (Poznamo tudi feroelektrične materiale, za katere je značilno, da imajo tudi histerezno povezavo med E in D.)