

ELEKTRODÜNAAMIKA2

| | |
|--|---|
| 1.1 ELEKTRIVÄLJA PARAMEETRID: | 2 |
| 1.2 MAGNETVÄLJA PARAMEETRID: | 2 |
| 1.3 ÜLDISTATUD OHMI SEADUS | 2 |
| 1.4 KESKKONDADE TÜÜBID: | 3 |
| 1.5 SKALAARSED JA VEKTORVÄLJAD..... | 3 |
| 2.1 ELEKTROMAGNETILISE VÄLJA VÖRRANDID INTEGRAALSEL KUJUL..... | 3 |
| 2.2 MAXWELLI VÖRRANDID DIFERENTSIAALKUJUL..... | 4 |
| 2.3 PIDEVUSE VÖRRAND..... | 4 |
| 2.4 MAXWELLI VÖRRANDID KOMPLEKSKUJUL | 4 |
| 3.1 ELEKTRIVÄLJA VEKTORITE PIIRITINGIMUSED | 4 |
| 3.2 MAGNETVÄLJA VEKTORITE PIIRITINGIMUSED..... | 4 |
| 3.4 PIIRITINGIMUSED IDEAALSE ELEKTRIJUHI PINNAL | 5 |
| 4.1 POYNTINGI TEOREEM..... | 5 |
| 4.4 KÕRVALISED VOOLUD | 5 |
| 4.5 MAXWELLI VÖRRANDISÜSTEEMI LAHENDI AINSUSE TEOREEM | 6 |
| 5.1 LAINEVÖRRAND..... | 6 |
| 5.2 ELEKTRODÜNAAMILISED POTENTSIAALID | 6 |
| 6.1 STAATILISED VÄLJAD | 7 |
| 6.2 STATIONAARSED VÄLJAD | 7 |
| 7.1 LAINEVÖRRANDI LAHENDAMINE ANTUD VOOLUDE JA LAENGUTE PÕHJAL | 7 |
| 7.2 ELEMENTAARNE ELEKTRILINE VIBRAATOR | 8 |
| 7.3 ELEMENTAARNE MAGNETILINE VIBRAATOR..... | 8 |

Elektrodünaamika

Elektrodünaamika — osa teoreetilisest füüsikast, mis käsitleb elektromagnetilise välja teooriat ja käsitleb suhteliselt kiiretoimelisi dünaamilisi protsesse elektromagnetilises väljas.

1.1 Elektrivälja parameetrid:

- Elektrivälja tugevus — jõud, mis mõjutab üht laenguühikut elektriväljas. Kinnisest pinnast väljuv elektrivälja voog on võrdeline piiratud laenguga.
- Elektriline induktsioon — selle voog läbi kinnise pinna võrdub selle pinna poolt ümbritsetud laenguga.

$$\text{Üldistatud Gaussi teoreem: } \int_s \vec{D} d\vec{s} = q$$

1.2 Magnetvälja parameetrid:

- Magnetiline induktsioon ja magnetvälja tugevus — looduses vabu laenguid ei ole. Magnetväli ei mõjuta liikumatut elektrilaengut. Liikuvale laengule magnetväljas mõjub Lorenzi jõud: $F=qvB$, kus B on magnetilise induktsiooni vektor. See määrab jõu, mis mõjutab üht liikuvat laenguühikut magnetväljas. Magnetilise induktsiooni vektor vaakumis on võrdeline magnetvälja tugevuse H .
- Koguvoolu seadus — analoogiliselt elektrilise induktsioonvektori voole läbi pinna võib välja arvutada ka magnetilise induktsioonivektori voo läbi pinna. See võrdub aga nulliga.
- Magnetvälja tsirkulatsioon mööda kinnist kontuuri on võrdne voolude summaga, mis läbivad selle kontuuri poolt ümbritsetud pinda.

1.3 Üldistatud Ohmi seadus diferentsiaalsel kujul — $\vec{j} = \sigma \vec{E}$, kus j on voolu ruumtihedus ja sigma keskkonna erijuhtivus. (Integraalsel kujul $U=IR$.)

Elektromagnetilise välja parameetrid:

- Väljatugevused $\vec{E} \left[\frac{V}{m} \right]; \vec{H} \left[\frac{A}{m} \right]$
- Induktsioonivektorid $\vec{D} \left[\frac{C}{m^2} \right]; \vec{B} \left[\frac{Wb}{m^2} \right]$

Väljatugevused ja induktsioonivektorid on seotud vaakumis elektrilise konstandi epsilon-null ja magnetilise konstandi müü-null abil.

Väljaallikate parameetrid:

- Voolu ruumtihedus $\vec{j} \left[\frac{A}{m^2} \right]$
- Voolu pindtihedus $\vec{j} \left[\frac{A}{m} \right]$

- Elektrilaeng $q [C]$
- Laengu ruumtihedus $\rho \left[\frac{C}{m^3} \right]$
- Laengu pindtihendus $\rho \left[\frac{C}{m^2} \right]$

Keskkondade parameetrid:

- Absoluutne või suhteline dielektriline läbitavus $\epsilon \left[\frac{F}{m} \right]; \epsilon'$
- Absoluutne või suhteline magnetiline läbitavus $\mu \left[\frac{H}{m} \right]; \mu'$

1.4 Keskkondade tüübid:

- Isotroopne keskkond — väljatugevuse ja induktsioonivektorid teineteisega paralleelsed
- Anisotroopne keskkond — keskkonna magnetilised või elektrilised omadused sõltuvad väljavektori orientatsioonist keskkonna suhtes -> keskkond ise omab justkui orientatsiooni.
- Lineaarne — keskkonna parameetrid ei sõltu väljavektorite amplituudist.
- Ebalineaarne — parameetrid sõltuvad väljavektorite suurusel.
- Homogeenne — keskkonna parameetrid ei sõltu koordinaatidest.
- Mittehomoogeenne — keskkonna omadused ruumi erinevates osades erinevad.

1.5 Skalaarsed ja vektorväljad

- Skalaarne väli on ruumi osa, mille iga punkti iseloomustab teatud skalaarse suuruse φ väärtus. Eksisteerivad nn. ekvipotentsiaalsed pinnad, kus see suurus on konstant.
- Gradient on skalaarse välja ruumiline tuletis.
- Vektorväli on ruumi osa, mille iga punkti iseloomustab teatud vektor, selle suurus ja suund. (Elektri- magnetväli, gravitatsiooniväli jne.)
- Jooned, millele väljavektorid igas punktis on puutujaks, on välja jõujooned.
- Vektori hoovus Ψ on seotud vektori normaalkomponendiga pinnale.
- Vektori tsirkulatsioon piki kontuuri L on seotud vektori puutujakomponendiga kontuurile L.
- Välja divergents ehk hajumine välja antud punktis on piir, mille saavutab vektori voog läbi kinnise pinna S sama pinnaga piiratud ruumis ΔV kui $\Delta V \rightarrow 0$. See on vektorvälja skalaarne ruumiline tuletis.
- Gaussi valem $\int_s \text{div} \vec{a} dV = \int_s \vec{a} d\vec{s}$. Vektori voog läbi kinnise pinna võrdub selle vektori divergentsi ruumintegraaliga üle selle pinna poolt piiratud ruumi.
- Vektorvälja rootor on piir, mille saavutab vektori tsirkulatsioon mööda suunaga \vec{n} perpendikulaarset pinda ΔS ümbritsevat kontuuri L, kui $\Delta S \rightarrow 0$. See on vektorvälja vektoriaalne ruumiline tuletis. Kui vektorvälja rootor võrdub nulliga, on väli keeristevaba.
- Kui vektor on mingi skalaarse funktsiooni gradient, on väli potentsiaalne. Potentsiaalne väli on keeristevaba. Rootorväljas allikad puuduvad. Kui mingi vektori divergents võrdub nulliga, võib seda vektorit kujutada mingi vektorvälja rootorina.

2.1 Elektromagnetilise välja võrrandid integraalsel kujul

Maxwelli võrrandid:

- Esimene võrrand on koguvoolu seaduse üldistus. Magnetvälja tsirkulatsioon mööda kinnist kontuuri võrdub elektrilise induktsiooni voo muutusega läbi selle kontuuriga piiratud pinna ja juhtivusvooluga läbi selle pinna.
- Teine võrrand on elektromagnetilise induktsiooni seaduse (Faraday seaduse) üldistus. Elektrivälja tsirkulatsioon mööda pinna kinnist kontuuri võrdub magnetilise induktsiooni voo muutusega läbi selle kontuuriga ümbritsetud pinna.
- Kolmas võrrand on üldistatud Gaussi teoreem.
- Neljas Maxwelli võrrand kinnitab, et looduses vabu magnetilisi laenguid ei ole ja et magnetvälja jõujooned on kinnised.

Esimene võrrand näitab, et elektrilise induktsiooni voo muutustele ja juhtivusvoolule kaasneb magnetvälja tsirkulatsioon. Teine võrrand näitab, et magnetilise induktsiooni voo muutusele kaasneb elektrivälja tsirkulatsioon. Kolmas võrrand näitab, et elektrilaeng tekitab elektrilise induktsiooni voo. Neljas võrrand näitab, et magnetvälja jõujooned on kinnised.

2.2 Maxwelli võrrandid diferentsiaal kujul

1. ja 2. võrrand seovad omavahel elektrilisi ja magnetilisi nähtusi. Magnetvälja keeris on seotud ajas muutuva elektrilise induktsiooniga ja juhtivusvooluga. Elektrivälja keeris tekitatakse muutuva magnetilise induktsiooni poolt. 3. ja 4. võrrand seovad välja nende allikatega. Elektrivälja allikaks on laengutihedus. Magnetväli on allikatevaba, solenoidaalne väli.

2.3 Pidevuse võrrand

Juhtivusvoolu tiheduse välja allikaks on muutuv laengutihedus. Pidevuse võrrandist tuleneb laengu jäävuse seadus. Voolujooned on pidevad.

2.4 Maxwelli võrrandid komplekskujul

Monokromaatiliste protsesside puhul muutuvad kõik väljade parameetrid kui harmoonilised funktsioonid ajast.

Suurust, mis ei sisalda enam teadaolevat ajalist sõltuvust, kull aga amplituudi ja faasi,

nimetatakse kompleksseks amplituudiks. Kaonurga tangens, mis väljendatakse suhtega $\frac{\sigma}{\omega\epsilon}$,

määrab juhtivusvoolude ja nihkevoolude suhte. Kaod on seotud ainult juhtivusvooludega. Nii kaod, kui ka keskkonna iseloom ei sõltu ainult keskkonna parameetritest vaid ka sagedusest. Kuna nihkevoolud on juhtivusvooludega võrreldes väikesed, on tegemist kvaasistatsionaarsete protsessidega.

On võimalik tõestada, et 3. võrrand on järeldus 1. võrrandist. Samuti ka seda, et 4. võrrand on järeldus 1. võrrandist. See on seletatav sellega, et eeldades perioodilist sõltuvust ajast, me kitsendasime vaadeldavate nähtuste diapasooni.

3.1 Elektrivälja vektorite piiritingimused

- Elektrilise induktsiooni vektori normaalkomponendi muutus kahe keskkonna piiril võrdub pindlaengu tihedusega eralduspinnal. $D_{1n} - D_{2n} = \rho'$
- Elektrilise induktsiooni vektori normaalkomponent kahe keskkonna piiril ei muutu. $D_{1n} = D_{2n}$
- Elektrivälja tugevuse normaalkomponent kahe keskkonna piiril muutub pöördvõrdeliselt nende keskkondade dielektrilisele läbitavusele. $\frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$
- Elektrivälja puutujakomponent kahe keskkonna piiril ei muutu. $E_{1\tau} = E_{2\tau}$
- Elektrilise induktsiooni vektori puutujakomponent kahe keskkonna piiril muutub võrdeliselt keskkondade dielektrilisele läbitavusele. $\frac{D_{1\tau}}{D_{2\tau}} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$

3.2 Magnetvälja vektorite piiritingimused

- Magnetilise induktsiooni vektori normaalkomponent kahe keskkonna piiril ei muutu. $B_{1n} = B_{2n}$
- Magnetvälja tugevuse vektori normaalkomponent kahe keskkonna piiril muutub pöördvõrdeliselt nende keskkondade magnetilisele läbitavusele. $\frac{H_{1n}}{H_{2n}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$
- Magnetvälja puutujakomponent kahe keskkonna piiril ei muutu. $H_{1\tau} = H_{2\tau}$

- Magnetilise induksiooni vektori puutujakomponent kahe keskkonna piiril muutub võrdeliselt nende keskkondade magnetilisele läbitavusele. $\frac{B_{1r}}{B_{2r}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$
- Magnetvälja puutujakomponendi muutus kahe keskkonna piiril võrdub temaga ristisuunalise pindvoolu tihedusega. $H_{1r} - H_{2r} = \vec{j}_n$

Seega on induksioonvektorite normaalkomponendid pidevad, väljatugevuse normaalkomponendid muutuvad aga pöörvõrdeliselt läbitavusele; väljatugevuse puutujakomponendid on pidevad, välja induksioonivektorite puutujakomponendid muutuvad aga võrdeliselt läbitavusega.

3.4 Piiritingimused ideaalse elektrijuhi pinnal

Ideaalne juht omab lõpmata suurt juhtivust. Ideaalses juhisis ei saa eksisteerida vahelduvad elektromagnetilised väljad. Samuti ei saa juhi sees olla ka elektrostaatiline väli, võib eksisteerida ainult alalisvoolu väli. Kõik välja komponendid muutuvad sel juhul teises keskkonnas nulliks.

- Ideaalse juhi pinnal elektriväli on risti pinnaga ja magnetväli on pinnaga paralleelne.
- Magnetvälja puutujakomponent võrdub temale ristisuunalise pindvoolu tihedusega.

4.1 Poyntingi teoreem

Fikseerib põhilised energeetilised seosed elektromagnetilises väljas ja väljendab energia jäävuse seadust elektromagnetilise välja jaoks.

Poyntingi vektor $\vec{P} = [\vec{E}\vec{H}]$ näitab energiavoo tihedust ajaühikus ja iseloomustab energia levimist ruumis. Ta seob energiavoo tiheduse väljavektoriga E ja H ning võimaldab määrata energiavoo igas ruumi punktis.

Võrrand energia jäävusest elektromagnetiliste nähtuste jaoks:

$$\int_s [\vec{E}\vec{H}] d\vec{s} + \int_v \left(\vec{E} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{H} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) dV + \int \frac{\vec{j}^2}{\sigma} dV = \int_s \vec{j} \vec{E}_k dV$$

Energiabilansi võrrand ruumi jaoks

$$\left(\int_s \vec{P} d\vec{s} \right) + \left(\frac{\partial W}{\partial t} \right) + (P_s) = (P_k), \text{ ehk (energiavoog läbi pinna ajaühikus, energiavahetus vaadeldava}$$

süsteemi suhtes välise ruumiga) + (elektromagnetilise välja ja energia muutus) + (kao võimsus) = (kõrvaliste jõudude võimsus).

- Kõrvaliste jõudude võimsus on väljaallikas, mis tekitab süsteemist väljuva energiavoo.

Poyntingi teoreemi kompleksse kujuga imaginaarosa on seotud elektromagnetilise välja energia, muutuse ja väljaallika reaktiivvõimsusega. Reaktiivne võimsus on võnkumiste võimsus, mille keskvaartus on null. Seega ei ole imaginaarosa seotud energia levimisega ruumis.

4.4 Kõrvalised voolud

- Kõrvaline vool on vool, mis on vaadeldava elektromagnetilise välja allikaks; selle voolu struktuur ja suurus on teada ja muutumatu (vaadeldava ülesande piirides).

Elektrodünaamikas kasutatav kõrvalise voolu mõiste erineb mõnevõrra elektromotoorjõu kui mitteelektrilise päritoluga faktori mõistest. Kõrvalist voolu ei seostata vahetult elektrivälja

mitteelektrilise tekitajaga. Voolu muutumatust suuruselt järeldub, et kõrvaline energiaallikas peab peitma voolu, kuna selle suurus energia väljakiirgamise protsessis ei muutu.

4.5 Maxwelli võrrandisüsteemi lahendi ainsuse teoreem

Ainsuse teoreem annab vastuse küsimusele, millised tingimused on vajalikud ka piisavad selleks, et saada elektrodünaamilise ülesande ainuväärne lahend — tulemus, mis oleks kooskõlas eksperimendiga. Teoreem formuleeritakse ja tõestatakse kahel juhul:

- Sisese ülesande puhul — Maxwelli võrrandisüsteem omab üheainsa võimaliku lahendi pinnaga S ümbritsetud ruumi V igas punktis igal ajamomendil $t > t_0$, kui algmomendil t_0 on antud vektorite \vec{E} ja \vec{H} väärtused igas ruumi V punktis ja kui igal järgneval ajamomendil $t > t_0$ on teada ühe vektori (kas E või H) projektsooni väärtus pinnale S .
- Välise ülesande puhul — vaadeldakse elektromagnetilist välja lõputus ruumis V' , s.t. pind S' asub lõpmatult kaugel, $r \rightarrow \infty$. Kuna elektromagnetiline väli levib lõpliku kiirusega c , siis lõpmatuses asuva pinnani jõuab väli lõpmatult pika aja pärast. Igal lõplikul ajamomendil $t > t_0$ ei ole väli veel pinnani S' jõudnud ja järelikult on ka energia voog läbi selle pinna null.

5.1 Lainevõrrand

Maxwelli 1. ja 2. võrrand kirjeldavad seoseid ajas muutuvate elektri- ja magnetväljade vahel. Elektrilise induktsiooni muutus tekitab magnetvälja, vahelduv magnetväli aga omakorda elektrivälja jne. Vahelduvad elektri- ja magnetväli ergutavad teineteist, mis ongi aluseks elektromagnetilise energia levimisele ruumis.

Maxwelli 1. ja 2. võrrand sisaldavad aga nii elektri- kui ka magnetvälja vektoreid, kusjuures neid ei saa eraldada.

- Arv $k = \omega\sqrt{\epsilon\mu}$ on lainearv, mis ainsa parameetriga lainevõrrandis on määrava tähtsusega suurus, tema iseloom määrab elektromagnetilise laine omadused.
- Võrrandeid nimetatakse lainevõrranditeks, sest ka üldjuhul on lainevõrrandi lahendiks elektromagnetiline laine.

5.2 Elektrodünaamilised potentsiaalid

Elektrodünaamilised potentsiaalid on mõisted, mida kasutatakse elektromagnetiliste väljade sidumiseks väljaallikatega, kuna väljavektorite lainevõrranditest tulenevad seosed ei oma praktiliseks kasutamiseks mugavat kuju.

- Väljapotentsiaalide lainevõrrandid on mittehomogeensed d'Alambert'i võrrandid.

Elektromagnetilisi välju kirjeldavad üldjuhul Maxwelli võrrandid:

$$\text{rot} \vec{H} = \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \vec{j}$$

$$\text{rot} \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho$$

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

Materiaalsed võrrandid

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

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

Väljapotentsiaalide lainevõrrandid

$$\nabla^2 \vec{A} - \epsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu \vec{j}$$

$$\nabla^2 \varphi - \varepsilon \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon}$$

Erijuhtudel, kui võrrandites domineerivad teatud liikmed ja osa liikmeid on tähtsusetud (muutuvad nulliks) on tegemist elektromagnetiliste väljade eriliigiga:

- Staatilised väljad — liikumatute laengute väljad, neis väljades vool puudub. Sellisel juhul $\rho = \text{const.}; I = 0; \frac{\partial}{\partial t} \rightarrow 0$.
- Statsionaarsed väljad — alalisvooluväljad. Sellisel juhul $\rho = \text{const.}; \vec{j} = \text{const.}; \frac{\partial}{\partial t} \rightarrow 0$.
- Kvaasistatsionaarsed väljad — suhteliselt madalasagedusliku voolu väljad. Säärasel juhul on ajalisi tuletisi sisaldavad liikmed väga väikesed ja väljade omadused praktiliselt ei erine statsionaarsete väljade omadest.

Säärasel juhul ei ole elektri- ja magnetväli omavahel seotud ja Maxwelli võrrandisüsteem jaguneb elektri- ja magnetvälja võrranditeks.

6.1 Staatilised väljad

Piiritingimused elektrostaatilises väljas vastavad üldistele piiritingimustele. Juhtiva keskkonna sees muutub elektrostaatiline väli nulliks, sest muidu tekiks keskkonnas vool ja väli ei oleks enam statsionaarne. Välja puudumist juhtiva keskkonna sees võib seletada sellega, et seal vabalt liikuvad ühenimelised laengud tukuvad ja asetuvad juhi pinnal nii, et nende väljad juhi sees kompenseeruvad. Järelikult tekib pindlaeng, juhi pind on seega ekvipotentsiaalpind, kus $\varphi = \text{const.}$.

Iga isoleeritud juhtivat keha võib sel juhul kirjeldada mahtuvusega, mis näitab laengu hulka, mis kulub keha potentsiaali tõstmiseks ühe ühiku võrra.

- Elektrostaatilise välja allikas võib olla ainult elektrilaeng.

Magnetostaatika korral sarnanevad valemid täielikult elektrostaatika valemitele. Neid valemiteid kasutatakse piiratud ringi ülesannete lahendamisel, kui tegemist on seotud magnetiliste laengutega (magnetiline dipool, magnetilised ekraanid jne.).

6.2 Statsionaarsed väljad

- Statsionaarse välja võib tekitada vaid alalisvool.
- Alalisvoolu võib tekitada vaid kõrvaline elektromotoorjõud.
- Elektrostaatilise ja alalisvoolu väljade piiritingimused elektrijuhi ja dielektriku piiril praktiliselt ei erine.

Alalisvoolu voolujooned ei oma allikaid ja on seega kinnised. Kuna alalisvoolu väli ei oma allikaid, ei saa ka elektrilaeng olla alalisvoolu tekitajaks.

Formaalne elektrostaatiline analoogia — kasutatakse elektrostaatiliste ja alalisvoolu elektriväljade sarnasust statsionaarsete elektriväljade uurimisel.

7.1 Lainevõrrandi lahendamine antud voolude ja laengute põhjal

Lainevõrrandi lahend kirjeldab üldjuhul (kui arvestada elektrodünaamilisi, kiiresti muutuvaid protsesse) elektromagnetilise kiirguse seost väljaallikatega — voolude ja laengutega.

Väljaallikateks on sellisel juhul kõrvalised voolud ja kõrvalised laengud, mille struktuur ja suurus on antud ja on jääv.

Kui välja allikateks oleksid mittestaatilised laengud ja voolud, siis nende poolt tekitatud väljade struktuur sarnaneks küll staatilisele juhule, küll aga hakkaksid ajast sõltuvalt muutuma väljapotentsiaalide väärtused, järgides väljaallika väärtuse muutumist.

- Elektromagnetilise välja väärtused levivad ruumis kiirusega v .
- Elektromagnetilise välja lainelised omadused tulenevad valguskiiruse lõplikust väärtusest. Elektromagnetilise välja lainelised omadused domineerivad suhteliselt kõrgetel sagedustel ja on otseselt tingitud potentsiaalide hilinemisest.

Hilinevad potentsiaalid on lainevõrrandi lahendiks olevad väljapotentsiaalid üldjuhul.

7.2 Elementaarne elektriline vibraator

Herzi dipool — lihtsaima ehitusega elektriline antenn, mis on lühike sirge juhtmelõik, mida mööda voolab kõrvaline vool, kusjuures voolutiheduse jaotus piki lõiku on ühtlane. Selline juhtmelõik on sarnane süsteemiga kahest punktlaengust, mis asetsevad teineteisest sama kaugel, kui pikk on juhtmelõik.

- Elementaarse elektrilise vibraatori magnetväli omab ainult ühte komponenti, mis on suunatud mööda asimuuti.
- Elektriväli vibraatoril omab üldjuhul kahte komponenti.
- Energiavoo lähitsoonis, kus $r \ll \lambda$ võrdub nulliga. Seega puudub aktiivse energia levik ruumis.
- Lähitsoonis puudus praktiliselt ka potentsiaalide hilinemine. Seega ei ilmne siin ka elektromagnetilise välja lainelised omadused; tulemuseks on kvaasistatsionaarne väli.
- Induktsioon- e. lähitsoonis on tegemist kvaasistatsionaarse väljaga, mille struktuur vastab staatiliste ja statsionaarsete väljade struktuurile.
- Kaugtsoonis on Poyntingi vektor reaalne suurus, seega eksisteerib siin aktiivse energia voog, mis on suunatud vibraatorist eemale. Tegemist on elektromagnetilise kiirgusega. Välja iseloom kaugtsoonis e. kiirgustsoonis määrab ka elementaarse elektrilise vibraatori kui kiirgusallika omadused.

7.3 Elementaarne magnetiline vibraator

Elementaarne magnetiline vibraator on elementaarne raamantenn — juhtmekeerud teatava raadiusega, mida ergutatakse kindla vooluga.

- Voolutiheduse jaotus piki raamantenni on ühtlane.
- Horisontaalse elementaarse raamantenni magnetväli omab sama struktuuri, kui vertikaalse elektrilise vibraatori elektriväli ja elementaarse raamantenni elektriväli omab sama struktuuri kui elektrilise vibraatori magnetväli.
- Ka magnetiline vibraator omab lähi- ja kaugtsooni.
- Kuna kahe vibraatori omadused on täielikult sarnased, pole vaja magnetiliste antennide kirjeldamisel lahendada elektrodünaamilist ülesannet, vaid võib rakendada elektriliste antennide arvutusel saadud tulemusi, kasutades nn. duaalsuse printsiipi.