

УДК 537.87:621.371

ЕНЕРГОДИНАМІЧНА СИСТЕМА РІВНЯНЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

А.І. Антоненко, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Київський національний університет технологій та дизайну

Ключові слова: рівняння, електромагнітне поле, рух, швидкість компонент, матеріальність поля.

Існуюча теорія електромагнітного поля базується виключно на специфічних показниках, які притаманні лише цьому природному явищу. Разом з тим відома взаємодія електромагнітного поля з матеріальними об'єктами (відхилення променів світла в гравітаційному полі, тиск променів світла на перепону і т.п.) підтверджує його матеріальність, але не описується законами електромагнітної індукції, чи якимись іншими рішеннями рівнянь Максвелла. Тому необхідно знайти зв'язок відповідних показників електромагнітного поля з показниками його матеріальності, опираючись на відомі результати взаємодії з матеріальними об'єктами та його поведінки, наприклад, в специфічних умовах стоячої хвилі.

В статті [1] приведена інтерпретація і отримані рівняння закону електромагнітної індукції з позиції розгляду електромагнітного поля як матеріальної субстанції, що рухається.

В роботі [2] розглянуто рух електромагнітного поля як матеріального двохкомпонентного середовища, в якому одна компонента може перетікати в іншу. Виходячи із законів збереження матерії, кількості руху та енергії, показано, що швидкості компонент при такому русі збігаються за напрямком і можуть відрізнитися за величиною. Значення швидкості руху кожної компоненти залежить від співвідношення їх густини.

Базуючись на отриманих попередніх результатах можна записати рівняння електромагнітного поля, ввівши допоміжні векторні поля швидкості руху магнітної \vec{V}_μ та електричної \vec{V}_ϵ компонент цього поля такі, що:

$$\vec{E} = \vec{B} \times \vec{V}_\mu \quad (1)$$

$$\vec{H} = \vec{V}_\epsilon \times \vec{D}, \quad (2)$$

де \vec{E} – вектор напруженості електричного поля; $\vec{B} = \mu \vec{H}$ – вектор магнітної індукції; μ – магнітна проникність в зоні існування електромагнітного поля; \vec{H} – вектор напруженості магнітного поля; $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ – вектор індукції електричного поля; ϵ – діелектрична проникність в зоні існування електромагнітного поля.

Підставивши (1), (2) в рівняння електромагнітного поля Максвелла та скориставшись правилами векторного аналізу [3] щодо операцій з векторами отримаємо:

$$\begin{aligned} \text{rot} \vec{E} &= 2(\vec{V}_\mu \text{grad}) \vec{B} + \vec{B} \text{div} \vec{V}_\mu - \vec{V}_\mu \text{div} \vec{B} - \\ &- \text{grad}(\vec{V}_\mu \cdot \vec{B}) + \vec{V}_\mu \times \text{rot} \vec{B} + \vec{B} \times \text{rot} \vec{V}_\mu \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{div} \vec{D} = \epsilon \text{div}(\vec{B} \times \vec{V}_\mu) = \epsilon(\vec{V}_\mu \text{rot} \vec{B} - \vec{B} \text{rot} \vec{V}_\mu) \quad (4)$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = -2(\vec{V}_\varepsilon \operatorname{grad}) \vec{D} - \vec{D} \operatorname{div} \vec{V}_\varepsilon + \vec{V}_\varepsilon \operatorname{div} \vec{D} + \operatorname{grad}(\vec{D} \cdot \vec{V}_\varepsilon) - \vec{D} \times \operatorname{rot} \vec{V}_\varepsilon - \vec{V}_\varepsilon \times \operatorname{rot} \vec{D} \quad (5)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (6)$$

Система рівнянь (1) – (6) описує електромагнітне поле вільне від зовнішніх впливів. При наявності електричних зарядів рівняння (4) необхідно доповнити доданком щільності зарядів, а рівняння (5) – доданком густини струму переносу зарядів, що рухаються. Для електромагнітного поля в електропровідному середовищі рівняння (4) слід записати $\operatorname{div} \vec{D} = 0$, а рівняння (5) доповнити доданком густини струму провідності.

Слід звернути увагу, що запропонована система рівнянь передбачає можливість існування потенційного електричного поля при відсутності електричних зарядів. Рівняння (4) показує умови виникнення потенційної складової електричної компоненти поля: коли напрямок вектора ротації магнітної індукції збігається з напрямком вектора швидкості магнітної компоненти та (або) напрямком вектора ротації швидкості магнітної компоненти збігається з напрямком вектора магнітної індукції.

Крім того рівняння передбачають можливість існування електромагнітного поля при його криволінійному русі.

Щоб врахувати матеріальність електромагнітного поля слід приведену систему доповнити рівнянням, яке відображає закон збереження кількості руху при переході магнітної компоненти в електричну і навпаки. При цьому кількісною мірою магнітної компоненти як матеріального середовища приймемо величину $\mu_\varepsilon (\vec{B} \cdot \vec{H})$ як густину такого середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$, а електричної компоненти – величину $\mu_\varepsilon (\vec{D} \cdot \vec{E})$, $\text{кг}/\text{м}^3$. Тоді можна записати:

$$\mu_\varepsilon (\vec{B} \cdot \vec{H}) \cdot \vec{V}_\mu = \mu_\varepsilon (\vec{D} \cdot \vec{E}) \cdot \vec{V}_\varepsilon \quad (7)$$

Криволінійний рух електромагнітного поля може виникнути під дією, наприклад, гравітаційного прискорення. Щоб врахувати цю дію систему рівнянь слід доповнити рівнянням, що відображає другий закон Ньютона:

$$\frac{d}{dt} (\mu_\varepsilon (\vec{B} \cdot \vec{H}) \cdot \vec{V}_\mu + \mu_\varepsilon (\vec{D} \cdot \vec{E}) \cdot \vec{V}_\varepsilon) = (\mu_\varepsilon (\vec{B} \cdot \vec{H}) + \mu_\varepsilon (\vec{D} \cdot \vec{E})) \cdot \vec{g}, \quad (8)$$

де \vec{g} - вектор гравітаційного прискорення.

Запропонована система рівнянь дозволяє отримати рішення для плоскої хвилі з обмеженою відстанню до зони замикання магнітного потоку.

Список використаних джерел

1. Антоненко А.И. Обобщенный закон электромагнитной индукции. [Текст] / А.И. Антоненко // Техническая электродинамика ISSN 0204-3599 – 1993. - № 5. – с. 43 – 47.
2. Антоненко А.И. Колебательное движение электромагнитного поля как материальной двухкомпонентной среды / Доклад на Международной научной конференции "ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ОБРАЗОВАНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ 2017", которая состоится 01 июня, 2017 г. в городе Велико Тырново, Болгария.
3. Бронштейн И.Н. Справочник по математике [для инженеров и учащихся втузов] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. М.: Наука, 1964. – 608 с.