

1 Электромагнитное поле и характеризующие его уравнения

1.1 Определение электромагнитного поля. Уравнение связи между электрическим и магнитным полями

Электромагнитное поле-это особый вид материи. Всякая заряженная частица окружена электромагнитным полем, составляющим с ней единое целое. Оно может существовать и отдельно от электрически заряженных частиц в виде движущегося со скоростью около $3 \cdot 10^8$ м/с. Электромагнитное поле, например, фотонов, отдавая энергию распадаются на две материальные частицы: электрон и позитрон.

Электромагнитное поле является носителем энергии. Оно обладает определённой массой, однако из-за малой плотности масса не воспринимается обычными способами.

В природе существует единое электромагнитное поле. Разделение его на две составляющие, электрическое и магнитное поля обусловлено физическими и техническими причинами, и возможно только при макроскопическом рассмотрении явлений.

Поле движущегося заряда обнаруживается по отклонению магнитной стрелки и силе, действующей на пробный заряд. Однако, если наблюдатель движется вместе с зарядом, то обнаруживается только электрическое поле. То есть условия наблюдения влияют на результат.

Рассмотрим уравнение, связывающее электрическое и магнитное поля. Связь между напряжённостью магнитного поля и электрическим током устанавливается **законом полного тока**

$$\oint_{\ell} \mathbf{H} \cdot d\ell = \sum \mathbf{I} = \mathbf{I}_{\text{полн}} \quad (1.1)$$

Линейный интеграл вектора напряжённости магнитного поля по любому замкнутому контуру равен полному току, проходящему сквозь поверхность, ограниченную этим контуром в нормальном направлении.

$$\mathbf{I}_{\text{полн}} = \int_S \bar{\delta} \cdot d\mathbf{S} \quad (1.2)$$

Ток через поверхность S ограниченную кривой l равен интегралу по поверхности. Здесь $\bar{\delta}$ - вектор плотности тока.

В курсе ТОЭ принято различать три различных вида тока.

- Упорядоченное движение носителей зарядов в проводящей среде называют **током проводимости**. Вектор плотности тока проводимости пропорционален напряжённости электрического поля

$$\bar{\delta}_{\text{пр}} = \gamma \bar{E}, \quad (1.3)$$

где: γ - удельная проводимость, 1/Ом·м;

E - вектор напряжённости электрического поля, В/м.

- Упорядоченное движение носителей зарядов в непроводящей среде или в вакууме называют **током переноса**. Вектор плотности этого тока пропорционален объёмной плотности заряда и скорости их движения

$$\bar{\delta}_{\text{пер}} = \rho \bar{v} \quad (1.4)$$

- В диэлектриках наблюдается ток смещения, обусловленный поляризацией, вектор плотности этого тока пропорционален скорости изменения вектора электрического смещения (электрической индукции)

$$\bar{\delta}_{\text{см}} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \epsilon \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (1.5)$$

ϵ_0 - электрическая постоянная, в системе СИ $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{12}$ Ф/м .

ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды, в которой рассматривается явление.

Если в уравнении (1.1) $\sum \mathbf{I}$ включает в себя три вида тока, то это есть первое уравнение Максвелла в интегральной форме

$$\oint_{\ell} \bar{\mathbf{H}} \cdot d\mathbf{l} = \int_s \bar{\delta} \cdot d\mathbf{S} \quad (1.6)$$

Здесь $\bar{\delta} = \bar{\delta}_{\text{пр}} + \bar{\delta}_{\text{см}} + \bar{\delta}_{\text{пер}} = \gamma \mathbf{E} + \rho \mathbf{v} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$.

Физически оно означает, что магнитное поле создаётся не только токами проводимости, но и изменяющимся во времени электрическим полем.

По закону электромагнитной индукции, впервые сформулированному Фарадеем, при изменении магнитного потока Φ в контуре, витке, проводнике наводится ЭДС, величина которой равна скорости изменения потока со знаком минус. Это трактовка Максвелла. Он обобщил этот закон на случаи любой среды.

$$\mathbf{e} = \oint_{\ell} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\int_s \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \quad (1.7)$$

(1.7) - второе уравнение Максвелла в интегральной форме.

Физический смысл его заключается в том, что электрическое поле создаётся не только зарядами, но и изменяющимся во времени магнитным полем. Соотношения между магнитным потоком Φ , магнитной индукцией \mathbf{B} , площадью поверхности \mathbf{S} и напряженностью магнитного поля \mathbf{H} следующие: $\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S}$; $\mathbf{B} = \mu \mu_0 \mathbf{H}$.

