

УДК 621.3.024.530.12

ВЕКТОРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ВОЗМОЖНЫЕ ЕГО ПРОЯВЛЕНИЯ

Олейников А.М., [Могильников В.С.]

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: dee@sevqtu.sebastopol.ua

Представлен анализ уравнений поля и один из путей экспериментального подхода к обнаружению и измерению векторного магнитного потенциала через индуктирование в его поле разности потенциалов.

В уравнениях электромагнитного поля при решении теоретических и прикладных задач векторный магнитный потенциал $\vec{A}$ используется как вспомогательный параметр, однако в ряде работ он трактуется как реальное поле физических взаимодействий. Обсуждаются даже гипотезы о наличии галактического и межгалактического магнитных полей, космологического векторного потенциала $\vec{A}_r$, ответственного как за взаимодействие планет, так и за многие процессы земного масштаба, при этом вектору $\vec{A}_r$ придается статус новой фундаментальной векторной константы. В этой связи уместно привести данную Дж. Максвеллом в трактате «Динамическая теория электромагнитного поля» в 1865 г. трактовку поля $\vec{A}$, которое он назвал электромагнитной кинетической энергией: «То, что я называю электромагнитной кинетической энергией, это то же, что М. Фарадеем названо электромагнитным состоянием цепи, всякое изменение которого сопровождается появлением ЭДС, так же, как изменение кинетической энергии приводит в действие механические силы».

Таким образом, уравнению механики

$$F = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

соответствует соотношение Дж. Максвелла для кинетической энергии поля

$$E = -\frac{d\vec{A}}{dt}.$$

В третьем издании названной выше работы Дж. Максвелла о векторе $\vec{A}$

он говорит так, что это «может быть даже названо фундаментальным

вкладом в теорию электромагнетизма» [1].

Ниже приводятся преобразования, позволяющие подойти к потенциальной возможности измерения поля $\vec{A}$. Векторный потенциал связан с магнитной индукцией соотношением

$$\vec{B} = \text{rot} \vec{A}.$$

Учитывая, что

$$\vec{\Phi} = \int_S \vec{B} d\vec{s} = \int_S \text{rot} \vec{A} d\vec{s},$$

на основании теоремы Стокса, заменяя поверхностный интеграл линейным, получаем

$$\vec{\Phi} = \oint \vec{A} d\vec{l}. \quad (1)$$

Для определения векторного потенциала, созданного элементом тока, используется выражение [2]

$$\Delta \vec{A} = \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi} I \frac{d\vec{l}}{R},$$

или

$$\vec{A} = \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi} I \oint \frac{d\vec{l}}{R},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; μ_r – относительная магнитная проницаемость; R – радиус (см. рисунок 1).

В квантовой механике описываются явления, указывающие на то, что поле векторного потенциала имеет реальный смысл.

Как известно, в квантовой механике частица может рассматриваться как волна, следовательно, ей присуще понятие фазы ψ . Фаза изменяется во внешних полях, в частности, ее изменение в электрическом поле с потенциалом φ происходит в соответствии с выражением [3]

$$\Delta \psi = \frac{q}{\hbar} \int \varphi dt, \quad (2)$$

где q – заряд частицы; t – время; $\hbar$ – постоянная Планка.

В поле векторного потенциала изменение фазы будет происходить в соответствии с соотношением

$$\Delta \psi = \frac{q}{\hbar} \int_L \vec{A} d\vec{l}, \quad (3)$$

где $d\vec{l} = \vec{v} dt$ – путь, пройденный частицей.

В пространстве, где движется частица, может не быть никаких полей, кроме поля $\vec{A}$. Тем не менее, происходит физический процесс (изменение

фазы) по соотношению (3), что и указывает на реальность существования поля $\vec{A}$.

Сравнивая соотношения (2) и (3) видим, что в квантовой механике одно и то же физическое следствие – сдвиг фазы вызывают величины $+\vec{A}\vec{v}$ и $-\phi$.

Таким образом,

$$\phi = -A\vec{v}. \quad (4)$$

Справедливо ли оно для классической электродинамики? Возникает ли

электрический потенциал ϕ (или разность потенциалов) в случае движения заряда в поле векторного потенциала $\vec{A}$ со скоростью $\vec{v}$?

Рассмотрим рисунок 1, на котором изображен униполярный генератор. Диск D вращается в поле $\vec{B}$. Воображаемый проводник OO' на этом диске пересекает поле и в нем индуцируется ЭДС

$$E = BR \frac{\omega R}{2} = \frac{1}{2} B \omega R^2, \quad (5)$$

где $\frac{\omega R}{2}$ – средняя по длине скорость движения вращения проводника

Эту ЭДС можно обнаружить между точками OO' . Она же будет измерена и между точками OO'' , так как в области $O'O''$ поле равно нулю.

Подойдем теперь к определению ЭДС с других позиций. Найдем векторный потенциал на окружности радиуса R .

Вследствие симметрии величина $\vec{A}$ на этой окружности будет постоянной, поэтому на основании (1) получим

$$\phi = B\pi R^2 = A2\pi R,$$

или
$$A = \frac{1}{2} BR.$$

Скорость движения элементов диска на расстоянии R от его центра равна ωR , поэтому

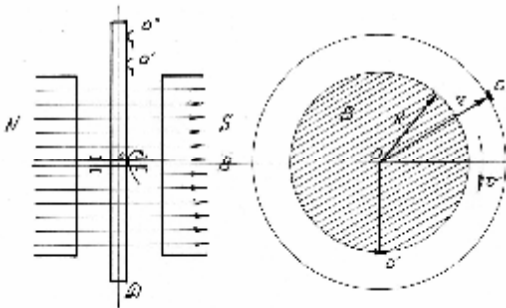


Рисунок 1- Вращающийся диск в магнитном поле (униполярный генератор)

$$Av = \frac{1}{2} B \omega R^2.$$

Величина Av на основании (4) эквивалентна потенциалу ϕ на окружности R . Так как потенциал в центре диска (в точке O) равен нулю, то между точками OO' может быть обнаружена разность потенциалов, равная

$$E = \frac{1}{2} B \omega R^2,$$

что совпадает с соотношением (5)

Определим потенциал в точке O'' с радиусом r . Контур с радиусом

r охватывает весь магнитный поток, поэтому

$$\Phi = B \pi R^2 = A 2 \pi r,$$

откуда

$$Av = \frac{1}{2} B \frac{R^2}{r}.$$

Скорость движения точки с радиусом r равна $v = \omega r$. Таким образом,

$$\phi = Av = \frac{1}{2} B \omega R^2,$$

т.е. в точках O' и O'' потенциал имеет одно и то же значение, что совпадает с предыдущими выводами.

Хотя в изложенном примере величина ЭДС определена посредством

векторного потенциала, привлечение вектора $\vec{A}$ – это только другой

способ определения ЭДС. Нельзя сказать, что ЭДС возникает благодаря

движению диска в поле $\vec{A}$. Это можно было бы утверждать и таким

образом подтвердить реальное проявление поля $\vec{A}$ в классической

электродинамике, если бы ЭДС была обнаружена при вращении диска в

поле $\vec{A}$, где другого поля нет.

Принципиальная схема такого опыта показана на рисунке 2, а его реализация – на установке (фото, рисунок 3).

Внутри замкнутого сердечника с равномерно намотанной обмоткой существует поле векторного потенциала $\vec{A}$. В этом поле, в соответствии с

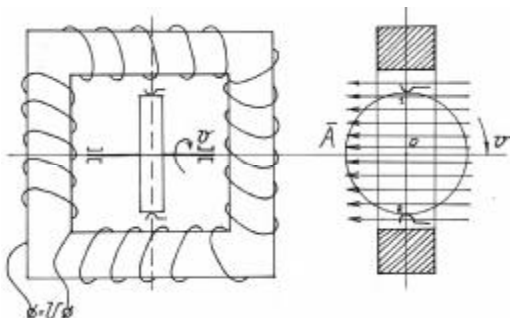


Рисунок 2 – Принципиальная схема

вышеизложенным, в точках 1 и 2 (4) образуются потенциалы

$$(\Delta v)_1 = -\phi,$$

$$(\Delta v)_2 = +\phi.$$

Разность потенциалов между этими точками равна

$$\Delta\phi = 2(\Delta v).$$

Оценим величину $\Delta\phi$ для

реальных параметров схемы

рисунка 3. Векторный потенциал определим из соотношения(1).

Примем, что поток равен

$$\Phi = Bs = B \frac{\pi d^2}{4} = 1 \text{ Тл} \cdot \frac{\pi 0,01^2}{4} \text{ м}^2 \approx 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ Вб},$$

а длина линии обхода L составляет 0,2 м.

Из соотношения $\Phi = AL$ находим

$$A = \frac{\Phi}{L} = \frac{0,810^{-4}}{0,2} = 4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{м}}.$$

Поэтому

$$\Delta\phi = 2Av = 2 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2 = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ В}.$$

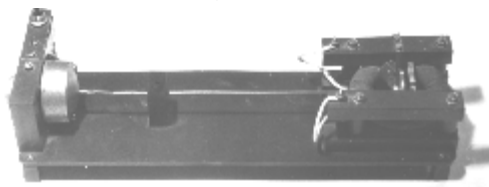


Рисунок 3 – Экспериментальная установка

Эту величину можно было бы измерить, однако проведенный эксперимент не был успешным из-за влияния на величину $\Delta\phi$ ЭДС трущихся контактов искажающих результат измерения.

Библиографический список

1. Gingras Y. Comment on «What the electromagnetic vector potential describes» / Y. Gingras // Amer. J. Phys. — 1980. — № 48(1). — P. 84–85.

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А.Бессонов. — М.: Высш. шк., 1964. — 750 с.

3. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Т. 6. / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сендс. — М.: Мир, 1966. — 343 с.

Поступила в редакцию 27.02.2002 г.