

ПОЛЕВЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ – ФАНТОМ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

А. С. Чуев,

кандидат технич. наук, доцент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Система физических величин и закономерностей (ФВиЗ), основанная на размерностных взаимосвязях физических величин и исследуемая автором в ряде своих работ [1–4], позволяет разобраться во многом. В частности, система ФВиЗ дает объективную классификацию физических величин (ФВ) на ряд системных групп. Это оказалось особенно полезным в сфере электромагнитных величин, где до сих пор не было принято подразделять ФВ на базовые, структуро-средовые (обе группы автор относит к материальным ФВ) и полевые.

В таблице 1 приведены выборочные ограниченные данные о размерностях электромагнитных ФВ различных групп в системах СИ и LT-размерностном представлении, послужившем исходным для системного представления ФВ в авторском варианте системы ФВиЗ.

Таблица 1 показывает разделение электромагнитных величин на три основные группы. Это базовые электромагнитные величины, характеризующиеся материальным содержанием (заряды, токи и их интегральные и производные величины), полевые

электромагнитные величины (существование которых здесь ставится под сомнение) и структуро-средовые величины. Последние, в свою очередь, подразделяются на две подгруппы противоположных по размерности ФВ, что позволяет считать одну (вторую) подгруппу тоже излишней.

Сама система ФВиЗ имеет вид упорядочено расположенных LT – размерностных элементов, содержащих физические величины (ФВ). Эти ФВ, выраженные, как правило, по размерности в системе СИ многоуровнево (многослойно), входят в элементы системы с дополнительными размерностными коэффициентами, значение которых определяет принадлежность ФВ к тому или иному системному уровню (слою).

В системе имеется формальный механизм обнаружения закономерных взаимосвязей ФВ. Этот механизм состоит в построении выделенных параллелограммов или линий, в которых соблюдается определенное логико-математическое правило. Правило заключается в равенстве

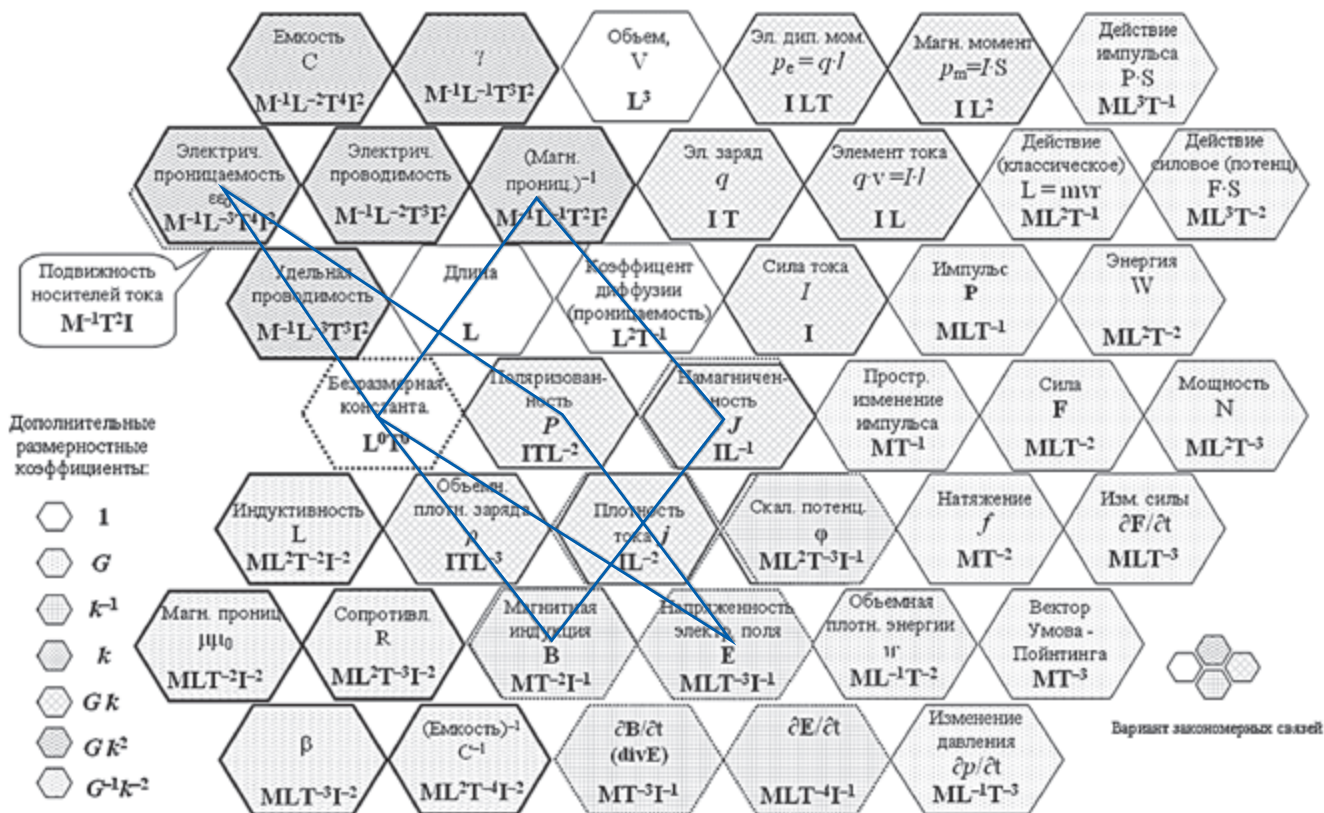


Рис. 1. Частное изображение системы ФВиЗ с показом системных взаимосвязей важнейших полевых и материальных электромагнитных величин

Таблица 1.

Размерности электромагнитных величин и содержащих их системных элементов

Наименование физической величины (ФВ)	Обозначение ФВ	Размерность ФВ в СИ	Размерность системного LT – элемента, в который входит ФВ	Соотношение размерностей LT -элемента и ФВ в СИ
Базовые (материальные) электромагнитные величины				
Электрический заряд	q	TI	L^3T^{-1}	$L^3T^{-2}I^{-1} = G \cdot k$
Объемная плотность электрического заряда	ρ_q	$L^{-3}TI$	T^{-1}	
Электрический дипольный момент	$p_e = q \cdot l$	$LT I$	L^4T^{-1}	
Индукция электрического поля	D	$L^{-2}TI$	LT^{-1}	
Поляризованность диэлектрика	P	$L^{-2}TI$	LT^{-1}	
Сила электрического тока	I	I	L^3T^{-2}	
Плотность электрического тока	j	$L^{-2}I$	LT^{-2}	
Магнитный дипольный момент	p_m	L^2I	L^5T^{-2}	
Намагниченность магнетика	J	$L^{-1}I$	L^2T^{-2}	
Напряженность магнитного поля	H	$L^{-1}I$	L^2T^{-2}	
Полевые электромагнитные величины				
Магнитный поток (потокосцепление)	$\Phi;$ (Ψ)	$L^2T^{-2}MI^{-1}$	L^2T^{-2}	$MI^{-1} = k$
Изменение магнитного потока	$d\Phi/dt$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	L^2T^{-3}	
Электрический потенциал	φ	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	L^2T^{-3}	
Потенциал, электрическое напряжение (электродвижущая сила)	$grad\varphi$	$L^2T^{-3}MI^{-1}$	L^2T^{-3}	
Векторный потенциал	A	$LT^{-2}MI^{-1}$	LT^{-2}	
Напряженность электрического поля	E	$LT^{-3}MI^{-1}$	LT^{-3}	
Индукция магнитного поля	B	$T^{-2}MI^{-1}$	T^{-2}	
Структуро-средовые электромагнитные величины				
<i>(Первой группы)</i>				
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	$\epsilon\epsilon_0$	$M^{-1}L^{-3}T^4I^2$	T^2	$ML^3T^{-2}I^{-2} = G \cdot k^2$
Электрическая емкость	C	$M^{-1}L^{-2}T^4I^2$	LT^2	
Электрическая проводимость (потенциальная, по φ)	g	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$	LT	
Удельная проводимость	σ	$M^{-1}L^{-3}T^3I^2$	T	
<i>(Второй группы)</i>				
Абсолютная магнитная проницаемость	$\mu\mu_0$	$MLT^{-2}I^{-2}$	L^{-2}	$M^{-1}L^{-3}T^2I^2 = G^{-1}k^{-2}$
Индуктивность	L	$ML^2T^{-2}I^{-2}$	L^{-1}	
Электрическое сопротивление	R	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-1}$	
Удельное электрическое сопротивление	ρ	$ML^3T^{-3}I^{-2}$	T^{-1}	
ФВ, используемые в описании эффекта Холла				
Постоянная Холла	R_H	$L^3T^{-1}I^{-1}$	T	$L^{-3}T^2I$
Подвижность носителей тока	u_0	$T^2M^{-1}I$	T^2	MI^{-1}

отношений (произведений) размерностей ФВ, расположенных на смежных (противоположных) вершинах выделенного параллелограмма. Можно

использовать и правило взаимного уничтожения дополнительных размерностных коэффициентов (см. таблица 1, рис. 1).

Изображение всех ФВ и даже отдельного блока электромагнитных величин, в совокупности с общими базовыми величинами, типа длины,

времени, энергии и силы, на одном рисунке весьма затруднительно, поэтому используют, как правило, отдельные частные изображения с показом требуемых в конкретном рассмотрении величин. На рис.1 приведен пример такого частного изображения, используемого нами в дальнейшем рассмотрении.

В нижних боковых частях изображения по рис. 1 приведены цветные пиктограммы, призванные облегчить нахождение закономерных взаимосвязей, которые связывают ФВ разных системных уровней.

ФВ разных системных уровней принято изображать с разной цветовой окраской, что помогает в поиске системных взаимосвязей ФВ. В пределах каждого системного уровня ФВ связаны по горизонтали через размерность скорости, а при переходах сверху вниз ФВ связаны через размерность длины или времени, в зависимости от склонения указанного перехода – влево или вправо.

Имеется электронный вариант системы [2, 3], который весьма удобен пользователям, однако его описание в сжатом виде затруднительно.

Итак, приступим к рассмотрению полевых электромагнитных ФВ. Их системный уровень на приводимых рисунках обозначен голубым цветом. Представления о поле и о главных полевых электродинамических величинах – напряженности электрического поля – E и индукции магнитного поля – B возникли достаточно давно, когда еще не было известно о поляризуемости вакуума за счет виртуальных частиц. Механизм намагничивания вакуума считали осуществяемым за счет токов смещения, открытых Максвеллом.

Сегодня в наличии эффектов поляризуемости и намагничиваемости вакуума сомнений практически нет. Эти эффекты выражают ФВ поляризованность и намагниченность, которые, согласно таблице 1, относятся к материальным электромагнитным параметрам. При этом, как будет показано далее, все явления элек-

тродинамики легко описываются с помощью этих параметров, однако они почему-то до сих пор для этого не используются. Обычно для этого используют полевые ФВ. Однако возникает вопрос, не являются ли полевые ФВ неким фантомом – искусственно придуманным образом, который в реальности не существует? Это вовсе не исключено.

По данным таблицы 1 физические величины поляризованность и намагниченность относятся к материальным параметрам, а напряженность электрического поля и индукция магнитного поля относятся к полевым величинам, без которых вполне можно обойтись. «Не множьте сущностей без крайней необходимости» (Бритва Оккама) – принцип весьма актуальный, по мнению автора, применительно к современной электродинамике.

Принято считать, что полевые величины необходимы для выражения силовых и энергетических зависимостей, используемых в описании электрического и магнитного полей. Однако, это не так. Приводимые данные таблицы 2 и системные соотношения, которые можно обнаружить на приводимых изображениях системы ФВиЗ, опровергают это мнение.

На рис. 1 показано происхождение или схема образования полевых величин напряженность электрического поля и индукция магнитного поля из чисто материальных электромагнитных величин. Такое образование вполне может быть и искусственным образованием, чего в природе вовсе не существует.

В таблице 2 дополнительным подстрочным значком B обозначены параметры, соответствующие вакууму; c – скорость света; $\vec{j}_{см}$, $\vec{j}'_{см}$ и \vec{j}'' – токи смещения различного происхождения; R_b^{-1} – волновая проводимость вакуума.

Предложенный подход, предусматривающий материальное описание всех электромагнитных процессов, в том числе и волновых

электромагнитных процессов в вакууме, по сути, представляет собой новую формулировку уравнений Максвелла. Только в этих уравнениях вместо полевых величин принимают участие базовые и структуро-средовые электромагнитные величины, которые можно причислить к одному классу, назвав их материальными электромагнитными величинами.

ФВ поляризованность и намагниченность есть объемные плотности электрического дипольного момента и магнитного дипольного момента, поэтому для вакуума, состоящего из виртуальных частиц, можем записать следующие соотношения:

$$\vec{P}_B = \sum_V \vec{P}_{qB}, \quad \vec{J}_B = \sum_V \vec{P}_{mB}. \quad (1)$$

Объемная плотность энергии электрической и магнитной составляющих электромагнитной волны в вакууме, выражаемая через материальные параметры, по идее должна определяться следующими соотношениями (наличие цифры 2 требует уточнения):

$$w = \frac{\vec{P}_B^2}{2\epsilon_0}, \quad w = \frac{\mu_0 \vec{J}_B^2}{2}. \quad (2)$$

Из сравнения выражений (1) и (2) с общеизвестными выражениями для объемных плотностей энергии электрического и магнитного полей (первые две строки таблицы 2) легко определяются соотношения между главными полевыми и материальными величинами:

$$\vec{E} = \frac{\vec{P}_B}{\epsilon_0}, \quad \vec{B} = \mu_0 \vec{J}_B. \quad (3)$$

Если между полевыми и материальными ФВ вакуума существует такая простая связь, в силу чего без первых легко можно обойтись, то возникает вопрос, а для чего нам вообще нужны полевые электромагнитные величины? Не они ли вносят большую путаницу в наши представления об электромагнитных процессах?

По идее, если все законы электромагнетизма переписать, заменив полевые электромагнитные величины на материальные в соответствии с выражениями (3), то ничего не должно измениться, а ясности

Таблица 2

Сравнительное представление электродинамических параметров вакуума в полевой и материальной формах

Наименование параметра	Полевая форма	Материальная форма (соотношения предполагаемые)
Объемная плотность электрической энергии	$w = \frac{\epsilon_0 \vec{E}^2}{2}$	$w = \frac{\vec{P}_B^2}{2\epsilon_0}$
Объемная плотность магнитной энергии	$w = \frac{\vec{B}^2}{2\mu_0}$	$w = \frac{\mu_0 \vec{J}_B^2}{2}$
Объемная плотность энергии в электромагнитной волне	Меняется от 0 до $\frac{\epsilon_0 \vec{E}_{\max}^2}{2} + \frac{\vec{B}_{\max}^2}{2\mu_0}$	Перетекает из одной формы в другую, составляя в среднем $w = \frac{\vec{J}_B \cdot \vec{P}_B}{R_B^{-1}}$
Вектор Пойнтинга (Умова)	$\vec{s} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$ (пульсирует по амплитуде с удвоенной частотой)	$\vec{s} = \frac{\vec{J}_B \times \vec{P}_B}{\epsilon_0}$ (пульсаций нет)
Фазовые соотношения изменений электрической и магнитной энергий	Изменения синфазны	Изменения имеют сдвиг по фазе на $\pi/2$
Соотношения между разнотипными изменяющимися величинами	$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$; для волн в вакууме =0	$\operatorname{div} \vec{P} = \rho'_q = -\frac{1}{c} \left \dot{\vec{J}}_{\text{cm}} \right $; для волн в вакууме $\neq 0$
	$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\operatorname{rot} \vec{P}_B = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{J}_B}{\partial t}$
	$\operatorname{div} \vec{B} = 0$	$\operatorname{div} \vec{J}_B = -\frac{\partial \left \vec{P}_B \right }{\partial t} = \dot{J}'_{\text{cm}}$
	$\operatorname{rot} \vec{B} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\operatorname{rot} \vec{J}_B = \vec{\omega} \times \vec{P}_B = \dot{J}''_{\text{cm}}$
	$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = -c^2 \operatorname{rot} \vec{B}$	$\frac{\partial \vec{P}_B}{\partial t} = -(\operatorname{div} \vec{J}_B + \operatorname{rot} \vec{J}_B)$
	$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\operatorname{rot} \vec{E}$	$\frac{\partial \vec{J}}{\partial t} = -c^2 (\operatorname{div} \vec{P}_B + \operatorname{rot} \vec{P}_B)$
Соотношения между амплитудными значениями разнотипных величин	$B = \frac{E}{c}$	$P_{\text{мв}} = \frac{J_{\text{мв}}}{c}$

в понимании этих процессов может только прибавиться. Часть уравнений связи в таком исполнении и представлена в таблице 2.

Системные закономерные связи, показанные на рис.2, иллюстрируют принципиальную возможность описания электромагнитных волн без привлечения для такого описания полевых ФВ, что в аналитическом виде представлено в таблице 2. Такой общий материальный подход к описанию электромагнитных волн является, по мнению автора, вполне оправданным.

К сожалению, в современной теории электродинамики установилась порочная практика вообще не различия материальных и полевых электромагнитных параметров. Встречаются примеры использования таких понятий как магнитный и электрический векторные потенциалы, которые авторы считают полевыми ФВ, но при этом приписывают им размерности материальных ФВ. Можно привести пример и классического заблуждения – когда «напряженность магнитного поля» и «индукцию электрического поля» без особых

раздумий (правда, иногда сомневаясь в их реальном существовании) относят к полевым параметрам.

Структуро-средовые электромагнитные величины тоже отнесены к материальным, что вполне логично.

Касательно структуро-средовых электромагнитных величин надо отметить следующее. ФВ этих групп имеют размерности, обратные друг другу, например, *проводимость* по размерности обратна *сопротивлению* и т.д. То есть без физических величин одной из групп теоретически вполне можно обойтись, они явно излиш-

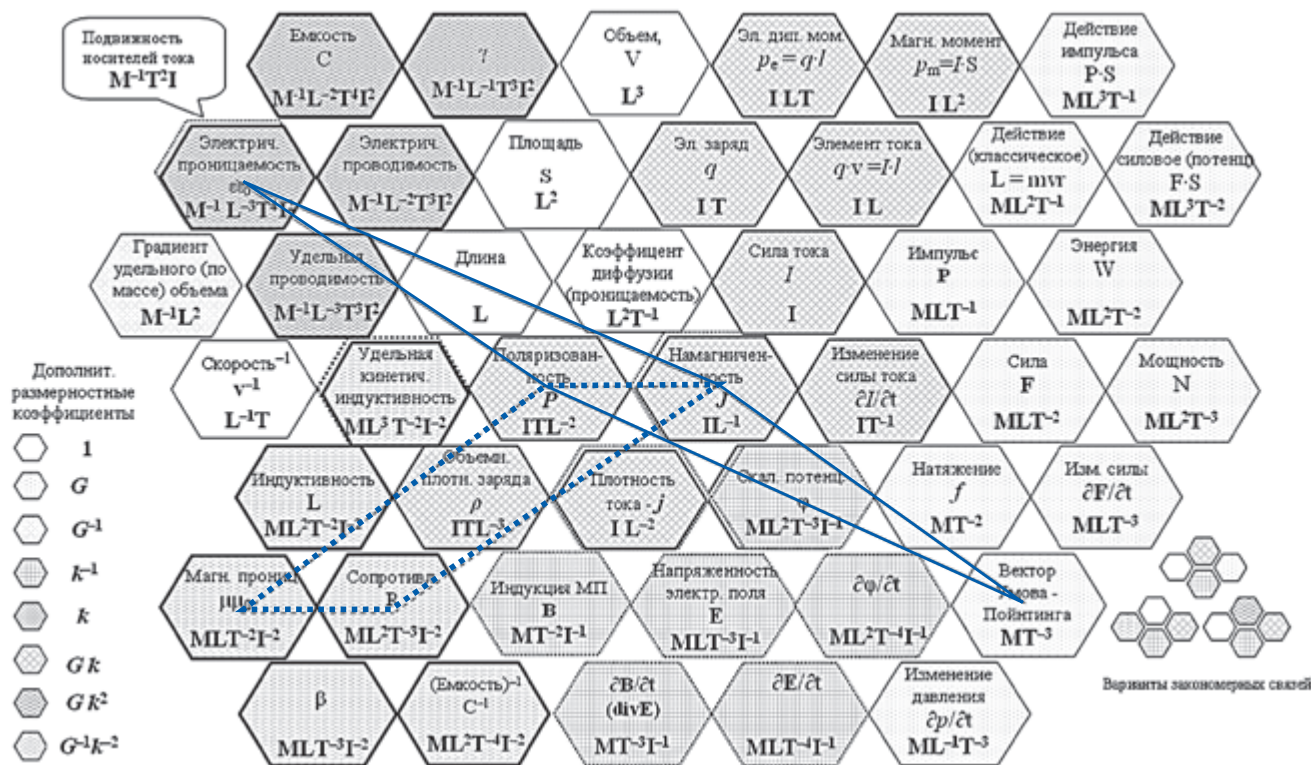


Рис. 2. Системные связи ФВ поляризованность и намагниченность, иллюстрирующие возможность описания электромагнитных волн без полевых величин

ни, просто такова установившаяся практика. Если ставится под сомнение оправданность существования полевых электромагнитных величин, то исходя из системных взаимосвязей неоправдано применение структуро-средовых величин второй группы.

Автор отдает себе отчет в том, что сегодня уже практически невозможно отказаться от привычных полевых электромагнитных величин или вместо индуктивности начать

применять физическую величину ей обратную, но рассмотрение данной темы не является делом совершенно бесполезным. Понимание того, что индуктивность есть «извращенное» понятие, а наши представления о полевых электромагнитных величинах «ложны» и не соответствуют действительности, может способствовать выявлению истинного физического смысла электромагнитных процессов.

Во всяком случае, понимание возможности перехода от полевого описания электромагнитных волн к описанию их в материальных параметрах, позволит уяснить нелепость их изображения в виде синфазного изменения электрической и магнитной составляющих. Подобные мысли содержатся в работах и других исследователей, в частности в работе К. Б. Канна [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Чуев А. С. Преподавание и изучение природных закономерностей с использованием системы физических величин (целостный подход). // Необратимые процессы в природе и технике: Тезисы докладов Третьей Всероссийской конференции 24–26 января 2005 г. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2005. – с.334.
2. Чуев А. С., Легейда А. С. Система физических величин в электронном исполнении. // Необратимые процессы в природе и технике: Труды Четвертой Всероссийской конференции 29–31 января 2007 г. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, ФИАН. 2007. Часть II. – с.626.
3. Чуев А. С. Система физических величин и закономерных размерностных взаимосвязей между ними. / Журн. «Законодательная и прикладная метрология». – 2007. № 3. – с.30–33.
4. Чуев А. С. О системе физических величин и возможности описания электромагнитных волн в материальных параметрах. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11657.html>
5. Канн К. Б. Электромагнитные волны. <http://electrodynamics.narod.ru/em-waves.html>