

## Глава 6. Электротехника и уравнения Максвелла

---

Полюбите, девушки, электрика:  
У него отвертка двухметровая!

*То, что получилось, получено без каких-либо подстановок результатов, найденных электротехникой. Получен результат математического решения уравнений Максвелла «в чистом виде». Но автор пришел к этому результату, благодаря знанию электротехники. Дорога была не прямой и без таких знаний я бы заблудился. Автор со школьных лет любил электротехнику. Результат получен не вопреки электротехнике, а благодаря электротехнике.*

Теоретические основы электродинамики и теоретические основы электротехники имеют общих предков – теоретических законов и их создателей. Более того, последняя редакция уравнений Максвелла и основная формулировка теории расчета электротехнических цепей принадлежит одному и тому же великому ученому Хэвисайду. Но только история и объединяет электротехнику и уравнения Максвелла. Это кажется странным, но не мешает электротехнике блестяще справляться с практическими задачами.

Моя критика электротехники следует не из логики и не из пресловутого физического смысла, а из математики. Математически доказанные изменения некоторых положений электротехники публикуются уже 10 лет на русском и английском языках в открытом доступе (см., например, [245]) и крайне удивлен отсутствию живого интереса к принципиально новым решениям – хотелось бы услышать мнения о согласии или опровержения.

### 1. Активная и реактивная энергии

Одно только омрачает согласие электротехники с реальностью: поток энергии - мощность летит где-то рядом с проводом и

заглядывает в провод только для того, чтобы нагреть его. Как она ухитрится проделывать этот финт, например, внутри многослойной катушки? Ну, предположим, что провода нужны путешествующей энергии для ориентации, для того, чтобы не заблудиться. Но как реактивная энергия, которой конденсатор обменивается с генератором, перепрыгивая с конденсатора на генератор, не обращает внимания на провода?

Эта идиотская (по словам Фейнмана) идея требует вмешательства и мы попробуем исправить дело путем получения уравнений электротехники, как решений системы уравнений Максвелла в целом (а не ее отдельных уравнений).

Именно это сделано в главе 20, где для провода с переменным током найдено решение, являющееся суммой двух монохроматических решений с одинаковыми частотами (что математически обосновано).

Однако сразу же отметим, что полученное ниже решение противоречит существующей теории электротехники. В этой теории утверждается, что существуют активная и реактивная мощность. Но и для той и для другой генератор затрачивает одну и ту же энергию. Дрова в печке генератора не знают, для какой мощности они горят на работе.

Затем показано, что активная и реактивная мощности – это потоки электромагнитной энергии, текущие от генератора к потребителю внутри провода.

Эти утверждения обоснованы только математически. Но представляется, что они обладают бОльшим физическим смыслом, чем общепринятое представление о том, что реактивная мощность мечется между генератором и потребителем (как щенок между хозяином и миской). Реактивная мощность – это точно такая же «рабоспособная» мощность, на создание которой генератор тратит те же ресурсы, которые расходуются на создание активной мощности. Но активная мощность совершает полезную (для потребителя) работу и частично бесполезно превращается в тепловую энергию. В реактивных элементах нагрузки электромагнитная энергия постоянно излучается и восполняется реактивной мощностью.

Рассмотрим, например, конденсатор, который не может разрядиться. В нем постоянно накапливается электрическая энергия, доставляемая ему реактивной мощностью. При этом в нем повышается внутреннее давление. Наконец он взрывается. Взрывается с шумом, например, электролитический конденсатор,

включенный в цепь переменного тока. Но электротехника этого даже не услышит.

Другой пример. Трансформатор накапливает магнитную энергию, доставляемую излучением провода обмотки в которую поступает реактивная энергия. Он нагревается токами Фуко и сжигает все вокруг. Но электротехника даже не вспотеет.

Вспомним еще, что электромагнитная волна переносит энергию, явно реактивную с т.з. электротехники, но радиотехника и не надеется, что эта энергия вернется в излучатель.

Другим словами: реактивная энергия – это тоже энергия, не хуже других. Она тоже передается из генератора и не возвращается.

## 2. Ток проводимости

Другая проблема понимания в электротехнике состоит в том, что тепловое движение зарядов распространяется со скоростью света, в то время как скорость движения электронов в проводе чрезвычайно мала. Для объяснения этого парадокса далее будет использована идея, которая может быть признана некоторыми еще более идиотской, чем та, о которой говорил Фейнман.

Мы пойдем проторенной Максвеллом дорожке. Максвелл ввел в обиход науки представление об электромагнитной волне, не имеющей какого-либо вещественного эквивалента. Мы будем рассматривать автономные электрические заряды, которые тоже не имеют какого-либо вещественного эквивалента, возникают и исчезают вместе с электромагнитной волной. Как возникают такие заряды, рассказывается в главе 15.

Для электротехники важно то, что поток этих зарядов является активным током, а реактивным током является ток смещения. Этот активный ток существует только в электропроводных веществах, распространяется вместе с потоком электромагнитной энергии и передает часть энергии этого потока веществу, где превращается в тепловую энергию. Поэтому тепловая энергия распространяется в проводе со скоростью потока электромагнитной энергии.

Автономные заряды в постоянном токе имеют постоянную величину, в переменном активном токе их величина колеблется вместе с активной составляющей переменной электрической напряженности. При этом переменный активный ток нагревает вещество, когда он проходит по проводу и не нагревает диэлектрик, когда он проходит сквозь конденсатору.

Ток проводимости (как ток автономных зарядов) может проходить через конденсатор, а ток смещения существует и в

проводе, ибо в нем есть диэлектрическая проницаемость. Таким образом, эта идея

- следует из решения уравнений Максвелла,
- позволяет обосновать распространение активной и реактивной энергии по проводам и сквозь конденсатор,
- позволяет обосновать мгновенное распространение тепловой энергии вдоль провода.

### **3. Закон сохранения энергии и прочее**

Есть еще один вопрос для электротехники: как активная мощность сохраняет свою величину, если она является произведением синусоидальных величин? Этот вопрос также не остается без ответа, если в теории электротехники использовать систему уравнений Максвелла.

Активный ток проводимости (ток автономных зарядов) движется со скоростью примерно 15км/час, что в 2000 раз быстрее теплового движения электронов, но намного медленнее реактивного тока. Этим объясняется эффект Штермера.

Электромагнитная волна в проводе вращается и возникает вращающий момент.

Поток энергии движется внутри провода.

Линия в проводе на цилиндре постоянного радиуса, на которой все напряженности и плотности токов остаются постоянными, является винтовой линией.

Скин-эффект – это следствие уравнений Максвелла, а не дополнение к ним.

И т.д.

### **4. Электрические токи и потоки энергии в электрической цепи**

Здесь мы рассмотрим эти явления с «точки зрения уравнений Максвелла». Мы покажем, какие выводы следуют из решения уравнений Максвелла для электрической цепи. Как получены эти выводы, рассматривается в следующих главах, на которые будут даны ссылки.

Для возможного оппонента, сразу замечу, что существование уравнений Максвелла и их применимость в физике далее рассматривается как постулат. Использование существующего волнового уравнения для этих решений в физике не допустимо. Все выводы делаются из новых решений уравнений Максвелла. Эти

решения найдены для уравнений Максвелла, записанных в покомпонентной форме, и не могут быть получены в векторном виде из уравнений Максвелла, записанных в векторной форме. Тройка векторов вида (например, в цилиндрических координатах)  $H_r, H_\phi, H_z$  — это «самостоятельные» векторы, а не проекции единого вектора  $H$ . Отсюда следует, что векторное исчисление НЕ может быть использовано для решения уравнений Максвелла и полученное решение не может быть представлено в векторной форме. Векторное исчисление (несмотря на математическую красоту) оказалось тормозом для решения уравнений Максвелла в виде, отвечающем закону сохранения энергии. Проблема, существующая уже около 150 лет, состоит том, что закон сохранения энергии не реализуется точно. На практике это приводит к тому, что технические задачи решаются приближенно. Это относится и теории электротехники.

Бессмысленно спрашивать откуда и куда идет по проводу переменный ток, но относительно мощности (потока энергии) этот вопрос правомерен. Он идет от т. А к т. В. Или наоборот? Молчит наука (насколько автору известно). Ясно только, что мощность не может метаться из стороны в сторону: это противоречило бы закону сохранения энергии. О том, что это утверждение выполняется и для реактивной мощности, мы уже говорили. В глава 6b показано, что

в электрической цепи существуют одновременно потоки электромагнитной энергии, распространяющиеся в противоположных направлениях.

Это означает, что из генератора поток энергии может выходить одновременно из разных полюсов и в электрической цепи может существовать точка, где поток энергии отсутствует.

Электромагнитную волну можно в простейшем случае представить себе как две спирали электрической и магнитной напряженностей, витки которых наклонены к центральной оси. Угол наклона зависит от направления движения волны. Поэтому

в проводе могут одновременно существовать противоположно направленные волны, имеющие одинаковые частоты.

Это явление также удивительно (или неудивительно), как и то, что в проводе могут существовать волны разной частоты.

В главе 1 показано, что шаг спирали

$$\Lambda = \frac{2\pi a}{\chi} r, \quad (1)$$

а скорость распространения электромагнитной волны

$$v = \frac{\omega}{\chi}. \quad (2)$$

Направление движения электромагнитной волны по продольной координате определяется знаками величин  $\omega$  и  $\chi$  имеют знаки. В главе 1 показано также, что электромагнитная волна вращается с угловой частотой

$$\omega_{\varphi} = \frac{\omega}{\alpha}. \quad (4)$$

Направление вращения определяется знаками величин  $\omega$  и  $\alpha$ . В главе глава 2b показано, что

в электрической цепи могут распространяться потоки электромагнитной энергии с общей частотой, но с различной скоростью.

Из этого утверждения следует, что поток энергии на различных участках электрической цепи может двигаться с различной скоростью. Это не противоречит закону сохранения энергии, т.к. переносимая энергия определяется мощностью и скоростью потока. Например, в конденсаторе он будет двигаться со скоростью света, в проводе со скоростью зависящей от электропроводности провода.

В электрической цепи существуют элементы трех типов, в которых протекают потоки энергии трех типов, распространяющиеся в разных направлениях с разными скоростями и разными направлениями вращения – см. табл. 1 (см. также главы 6a и 6b).

Из новых решений уравнений Максвелла следует что в электрической цепи циркулируют три реальных мощности:

- мощность, расходуемая для производства тепла и выполнения механической работы – будем называть ее тепловой мощностью (QP),

- мощность, излучаемая конденсатором - будем называть ее емкостной мощностью (CP),

- мощность, излучаемая индуктивностью – будем называть ее индуктивной мощностью (LP).

В электротехнике QP – это активная мощность, а сумма (CP+ LP) – это реактивная мощность.

Мощность, излучаемая индуктивностью или емкостью, является той мощностью, которая принимается некоторым приемником излучаемой энергии. В простейшем случае приемник -

это окружающая среда. Но может быть и технический приемник, например, трансформатор. Он увеличивает потребление реактивной индуктивной мощностью на некоторую величину. В этом случае электротехника, даже не вздрогнув, называет эту добавку активной мощностью.

Итак, есть, все-таки, три потока реальной мощности. Клеммы генератора соединены проводом. Он проходит через лампу накаливания, печки, моторы, трансформаторы ..., но это только провод. Через него проходит поток энергии от генератора – генераторная мощность. Часть ее излучается как тепловая мощность. Другая ее часть излучается как индуктивная мощность. Некоторая часть может остаться. Таким образом, проводник – это канал для трех мощностей. Им соответствуют три решения уравнений Максвелла для провода. Мощность в третьем канале идет в противоположном направлении, т.е. в этом случае часть потока генераторной энергии разворачивается на 180 градусов и начинает излучаться «с конца», как индуктивная мощность. Это – не изобретение автора, а интерпретация математического решения. Из табл. 1 следует, что направление индуктивной энергии противоположно, направлению тепловой энергии - сравни знаки величины  $\chi$ . Известны преобразования энергии из электрической в магнитную и обратно, из электрической в тепловую, поворот энергии на 90 градусов (что наблюдается и описывается в других главах). Здесь мы видим еще один способ преобразования энергии.

Итак, провод – это одновременно и сопротивление, и индуктивность. Иногда одним его свойством можно пренебречь и получить резистор или индуктивный элемент.

В проводе может быть разрыв. Очень часто этот разрыв выполняется в виде конденсатора. Генераторный поток энергии проходит и через него. Часть этого потока излучается в виде конденсаторной мощности. Таким образом, конденсатор – это канал для двух мощностей.

Если в электрической цепи есть только сопротивление, то направление движения мощности определяет генератор (способом, автору неизвестным). Это направление движения тепловой энергии. Т.к. сопротивление в замкнутой цепи есть всегда, то назовем это направление положительным. Из табл. 1 следует, что направление индуктивной энергии противоположно, направлению тепловой энергии, а направление ёмкостной энергии совпадает с направлением тепловой энергии.

Генераторная мощность может поступать в провод с двух сторон. Яркий пример – резонанс напряжений, когда в последовательно соединенные индуктивность и емкость с равными импедансами мощность поступает с двух сторон и излучается до нуля как раз в точке соединения этих двух элементов. Реактивные мощности излучаются и не возвращаются в генератор. И в последнем утверждении электротехника права.



Таблица 1.

Элемент	Провод			Конденсатор	
Волна	генераторная	тепловая	индуктивная	генераторная	ёмкостная
Глава	2b	2p	2r	2	2c
Ток	смещения	проводимости	проводимости	смещения	смещения
Фаза	$-\pi/4$	0	$\pi/4$		$-\pi/4$
$ v  = \frac{\omega}{\chi}$	$\sqrt{1/\varepsilon\mu}$	$\sqrt{\omega/\sigma\mu}$	$\sqrt{\omega/\gamma\mu}$	$\sqrt{1/\varepsilon\mu}$	$\sqrt{1/\varepsilon\mu}$
$\vec{v}(\omega \cup)$	$\leftarrow$ $\rightarrow$	$\leftarrow$	$\rightarrow$	$\leftarrow$ $\rightarrow$	$\leftarrow$ $\rightarrow$
$\vec{v}(\omega \cap)$	$\rightarrow$ $\leftarrow$	$\rightarrow$	$\leftarrow$	$\rightarrow$ $\leftarrow$	$\rightarrow$ $\leftarrow$
$E_r =$	$e_r \cos$	$e_r \cos$	$e_r \sin$	$e_r \sin$	$e_r \cos$
$E_\varphi =$	$e_\varphi \sin$	$e_\varphi \sin$	$e_\varphi \cos$	$e_\varphi \cos$	$e_\varphi \sin$
$E_z =$	$e_z \cos$	$e_z \sin$	$e_z \sin$	$e_z \cos$	$e_z \cos$
$H_r =$	$h_r \sin$	$h_r \sin$	$h_r \cos$	$h_r \cos$	$h_r \sin$
$H_\varphi =$	$h_\varphi \cos$	$h_\varphi \cos$	$h_\varphi \sin$	$h_\varphi \sin$	$h_\varphi \cos$
$H_z =$	$h_z \sin$	$h_z \cos$	$h_z \cos$	$h_z \sin$	$h_z \sin$
$J_r =$	$-\omega e_r \cos$	$\sigma e_r \cos$	$\gamma e_r \cos$	$-\omega e_r \cos$	$-\omega e_r \cos$
$J_\varphi =$	$\omega e_\varphi \sin$	$\sigma e_\varphi \sin$	$\gamma e_\varphi \sin$	$\omega e_\varphi \sin$	$\omega e_\varphi \sin$
$J_z =$	$-\omega e_z \cos$	$\sigma e_z \sin$	$\gamma e_z \cos$	$-\omega e_z \sin$	$-\omega e_z \cos$

$\chi$	$\chi = \pm\omega\sqrt{\mu\varepsilon}$	$\chi = \sqrt{\sigma\mu\omega}$	$\chi = -\sqrt{\gamma\mu\omega}$	$\chi = \pm\omega\sqrt{\mu\varepsilon}$	$\chi = \pm\omega\sqrt{\mu\varepsilon}$
$k$	$k = \sqrt{\varepsilon/\mu}$	$k = \sqrt{\sigma/\omega\mu}$	$k = \sqrt{\gamma/\omega\mu}$	$k = \sqrt{\varepsilon/\mu}$	$k = \sqrt{\varepsilon/\mu}$
	$e_z = Ar^{-\alpha}$	$e_z = Ar^{-\alpha}$	$e_z = Ar^{-\alpha}$	$e_z = Ar^{-\alpha}$	$e_z = Ar^{-\alpha}$
	$e_r = \frac{\chi r}{2} e_z$	$e_r = \frac{-\chi r}{2(1-\alpha)} e_z$	$e_r = \frac{-\chi r}{2(1+\alpha)} e_z$	$e_r = \frac{\chi r}{2} e_z$	$e_r = \frac{\chi r}{2} e_z$
	$e_\varphi = -e_r$	$e_\varphi = e_r$	$e_\varphi = -e_r$	$e_\varphi = -e_r$	$e_\varphi = e_r$
	$h_r = ke_r$	$h_r = ke_r$	$h_r = ke_r$	$h_r = ke_r$	$h_r = ke_r$
	$h_\varphi = -ke_\varphi$	$h_\varphi = -ke_\varphi$	$h_\varphi = -ke_\varphi$	$h_\varphi = -ke_\varphi$	$h_\varphi = -ke_\varphi$
	$h_z = ke_z$	$h_z = -ke_z$	$h_z = ke_z$	$h_z = ke_z$	$h_z = ke_z$
$S_r$	$ke_\varphi e_z$	0	$-\frac{\gamma}{\chi} e_\varphi e_z$	$ke_\varphi e_z$	$ke_\varphi e_z$
$S_\varphi$	0	$\frac{\sigma}{\chi} e_\varphi e_z$	0	0	0
$S_z$	$ke_r e_\varphi$	$-\frac{\sigma}{\chi} e_r e_\varphi$	$-\frac{\gamma}{\chi} e_r e_\varphi$	$ke_r e_\varphi$	$ke_r e_\varphi$

$P_r$	0	0	$P_{r3} = -\pi R^2 Z \gamma A^2 \cdot \frac{1}{(1+\alpha)}$	0	$P_{r2} = \pi \varepsilon \omega Z \cdot A^2 R^{2-2\alpha}$
$P_\varphi$	0	$\pi \sigma L \frac{A^2}{(1-\alpha) R^{3-2\alpha}} \cdot \frac{1}{3-2\alpha}$	0	0	0
$P_z$	$P_{z1} = \frac{\pi \sqrt{\mu \varepsilon} \omega^2}{4(2-\alpha)} \cdot A^2 R^{4-2\alpha}$	$P_{z2} = -\pi \sigma \sqrt{\sigma \mu \omega} \cdot \left( \frac{A}{2(1-\alpha)} \right)^2 \frac{1}{R^{4-2\alpha}} \cdot \frac{1}{(2-\alpha)}$	$P_{z3} = -\pi \gamma \sqrt{\gamma \mu \omega} \cdot \left( \frac{-A}{2(1+\alpha)} \right)^2 \frac{1}{R^{4-2\alpha}} \cdot \frac{1}{(2-\alpha)}$	$P_{z1} = \frac{\pi \sqrt{\mu \varepsilon} \omega^2}{4(2-\alpha)} \cdot A^2 R^{4-2\alpha}$	$P_{z2} = \frac{\pi \sqrt{\mu \varepsilon} \omega^2}{4(2-\alpha)} \cdot A^2 R^{4-2\alpha}$
$\mathcal{R}$	0	R	$\omega L$	0	$\frac{1}{\omega C}$
			$L \approx 1.3 \mu Z^3 R^2$		$C = \frac{\pi R^2 \varepsilon}{Z}$
			$\gamma \approx \frac{1}{4\mu\omega} Z^{-2} R^{-4}$		