

Хмельник С. И.

ЭНЕРГЕТИКА
ТРАНСФОРМАТОРА
ТЕСЛА

Вторая редакция

Израиль 2012

Khmelnik S.I.

The Energetics of Tesla Transformer

(in Russian)
Second edition

Copyright © 2012 by Solomon I. Khmelnik

СОЛОМОН ИЦКОВИЧ ХМЕЛЬНИК

All right reserved. No portion of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, without written permission of the author.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть скопирована или преобразована в другую форму любым методом, электронным или механическим, без письменного разрешения автора.

Published by “MiC” - Mathematics in Computer Comp.

BOX 15302, Bene-Ayish, Israel, 60860

Fax: ++972-8-8691348

Email: solik@netvision.net.il

It is sent in a press on **January 29, 2012**

It is printed in the USA, Lulu Inc., catalogue **12514371**

ISBN 978-1-105-50405-1

Israel 2012



Аннотация

Рассматриваются эксперименты с трансформатором Тесла. Показывается, что непосредственно из уравнений Максвелла следует существование электрической стоячей волны в окрестности трансформатора. Далее показывается, что существование и распространение электрической стоячей волны объясняется обменом энергией между этой волной и воздухом.

Затем рассматривается плоская катушка Тесла. Показывается, что непосредственно из уравнений Максвелла следует существование магнитной стоячей волны в ее окрестности. Существование и распространение магнитной стоячей волны также объясняется обменом энергией между этой волной и воздухом.

Как следствие, показывается, что тепловая энергия воздуха в окрестности трансформатора Тесла или плоской катушки Тесла может преобразовываться электрической или магнитной стоячей волной в энергию нагрузки. Анализируются существующие конструкции для бестопливной генерации энергии и беспроводной передачи энергии. Предлагаемая теория объясняет известные феномены.

Оглавление

- Введение \ 5
- 1. Некоторые наблюдения и эксперименты \ 5
- 2. Электрическое поле в окрестности вторичной катушки трансформатора Тесла \ 9
 - 2.1. Разомкнутая токопроводящая полоса в магнитном поле \ 9
 - 2.2. Разомкнутое токопроводящее кольцо в магнитном поле \ 14
 - 2.3. Разомкнутый соленоид в магнитном поле \ 16
- 3. Электромагнитное поле в окрестности первичной катушки трансформатора Тесла \ 17
 - 3.1. Электромагнитное поле полосового токопровода \ 17
 - 3.2. Соленоид с плоскими витками \ 19
 - 3.3. Электромагнитное поле плоской катушки \ 20
- 4. Электромагнитное поле в окрестности трансформатора Тесла \ 22
- 5. Энергозависимость стоячей волны \ 23
- 6. Условия существования энергозависимой волны \ 24
 - 6.1. Электрическая и магнитная поляризация диполей воздуха \ 24
 - 6.1.1. Общие замечания \ 24
 - 6.1.2. Электрическая поляризация \ 26
 - 6.1.3. Магнитная поляризация \ 27
 - 6.2. Катализация тепловых процессов \ 29
 - 6.3. Температура в области стоячей волны \ 32
 - 6.4. О скорости распространения области существования стоячей волны в воздухе \ 34
 - 6.5. Преобразованию энергии волны в тепловую энергию среды \ 35
 - 6.6. Плотность мощности стоячей волны \ 36
- 7. Общая схема процесса преобразования энергии \ 37
- 8. Баланс энергии и мощности \ 38
- 9. Обсуждение \ 39
- 10. Трансформатор Тесла как бестопливный генератор энергии \ 42
- 11. Передача энергии плоскими катушками Тесла \ 48
- Литература \ 50

Введение

Широко известен трансформатор Тесла и связанные с ним многочисленные и плохо объяснимые феномены. Сам Тесла для их объяснения привлекал представление об эфире. Современная физика не приемлет такие объяснения. Поэтому многие необъясненные феномены переносятся в область научных мифов (вместо того, чтобы стимулировать научный поиск). Такой подход особенно усилился в последнее время, т.к. появляются новые (весьма привлекательные для практики) изобретения, так или иначе использующие свойства трансформатора Тесла (см., например, [20]). Этим тормозится их внедрение.

Автор предпринимает попытку объяснить упомянутые феномены, оставаясь в рамках общепринятой физической парадигмы.

1. Некоторые наблюдения и эксперименты

Прежде всего, рассмотрим известные эксперименты с трансформатором Тесла.

1. В [13] читаем: "Тесла выдвинул предположение, что ударная волна на короткое мгновение своего взрывообразного проявления более походит на электростатическое поле, чем любое другое известное электрическое явление". О существовании электрического поля вокруг трансформатора Тесла говорят многие экспериментаторы.
2. Вокруг трансформатора Тесла "накапливаются" неизлучаемые стоячие волны неизвестной природы, и "расползаются" по окружающим предметам [12]. Радиус их распространения может достигать многих километров (см. предыдущий пункт).
3. Известны эксперименты передачи энергии по одному проводу (подключенному к вторичной обмотке) [1-4] – т.н. "вилка Авраменко". Первоначальная схема этой конструкции (показанная на рис. 1) и ее технические характеристики взяты из [1]. Сообщается, что в экспериментальную установку входил машинный генератор мощностью до 100 кВт, генерирующий напряжение с частотой 8 кГц, подаваемое на трансформатор Тесла Т. Один конец вторичной обмотки был свободен. Ко второму концу были подсоединена собственно "вилка Авраменко". Вилка Авраменко представляла собой замкнутый

контур, содержащий два последовательно соединенных диода D1 и D2, у которых общая точка подсоединялась к проводу Λ , и нагрузке. Нагрузкой в первом случае служили конденсатор С и разрядник Р. Нагрузкой во втором случае служили несколько лампочек накаливания – сопротивление R2. По этой разомкнутой цепи Авраменко смог передать от генератора к нагрузке электрическую мощность порядка 1300 Вт. Электрические лампочки ярко светились. Ток в проводе имел очень малую величину, а тонкий вольфрамовый провод (сопротивление R1) в линии Λ даже не грелся.

4. При передаче энергии по одному проводу наблюдаются стоячие волны в передающем проводнике [5]. В [3] описаны эксперименты, показывающие (как доказывают авторы), что в окрестности передающего проводника существует электромагнитное скалярное поле. Индикатором поля у них служила металлическая сфера с железным кольцом, которое вращалось во время зарядки сферы – см. рис. 2. Сфера заряжалась в течение 60 секунд и разряжалась практически мгновенно.
5. Эксперименты по передаче энергии от трансформатора Tesla к люминесцентным лампам демонстрируются даже в школьных экспериментах и объясняются распространение радиоволн. Но известны также эксперименты по передаче энергии по оборванному проводу или вообще без проводов, свечение перегоревших ламп накаливания [14]
6. Обмотка вторичной катушки должна быть однослойной.
7. В Интернете демонстрируются многочисленные видео, где тор, присоединенный к катушке Tesla, испускает длинные молнии, т.н. стринги. Стринги вылетают не с острых окончаний, а непосредственно из обмоток. Наиболее эффектные картины можно видеть в описаниях экспериментов самого Tesla.
8. В Интернете можно встретить сообщения о том, что человек в области излучения чувствует себя комфортно. То же самое сообщал Tesla, описывая свои опыты по передаче энергии. Известны сообщения о том, что район экспериментов Tesla (радиусом до 60-ти километров) покидали птицы и прибрежные рыбы.
9. Возможна передача энергии от одного трансформатора Tesla к дополнительному, рядом стоящему. При этом у дополнительного трансформатора Tesla первичная обмотка включена на нагрузку, например, лампочку – см. рис. 3. Таких

дополнительных трансформаторов может быть несколько, но их количество не влияет на величину потребляемой мощности основного трансформатора [15].

10. Колебательный процесс во вторичной катушке практически не затухает после прекращения колебаний в первичной катушке – см. рис. 4 из [15] и эксперименты Капанадзе [20].
11. Измерительный прибор, не подключенный к чему-либо, на большом расстоянии от трансформатора Тесла (до 1 м) начинает зашкаливать независимо от того, в каком положении находятся его переключатели.[12, 2, 14]

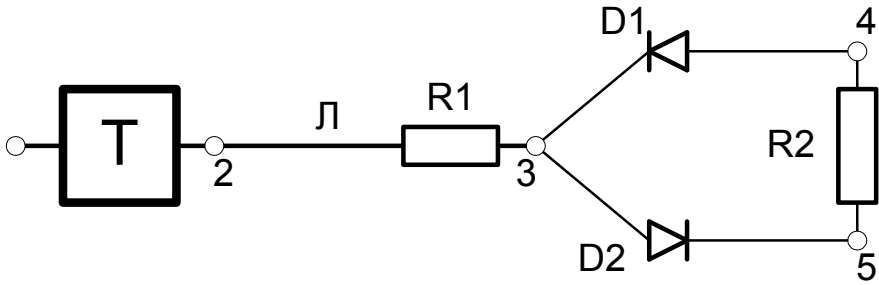


Рис. 1.

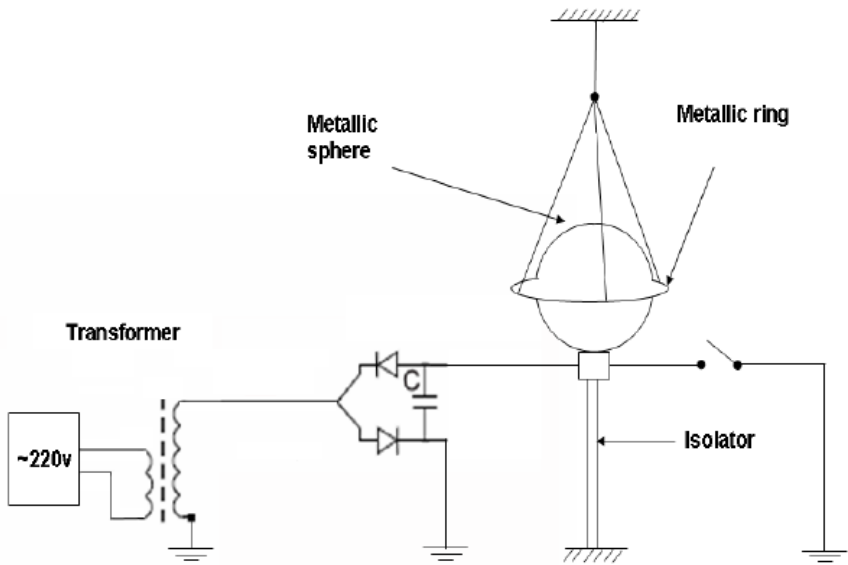


Рис. 2.

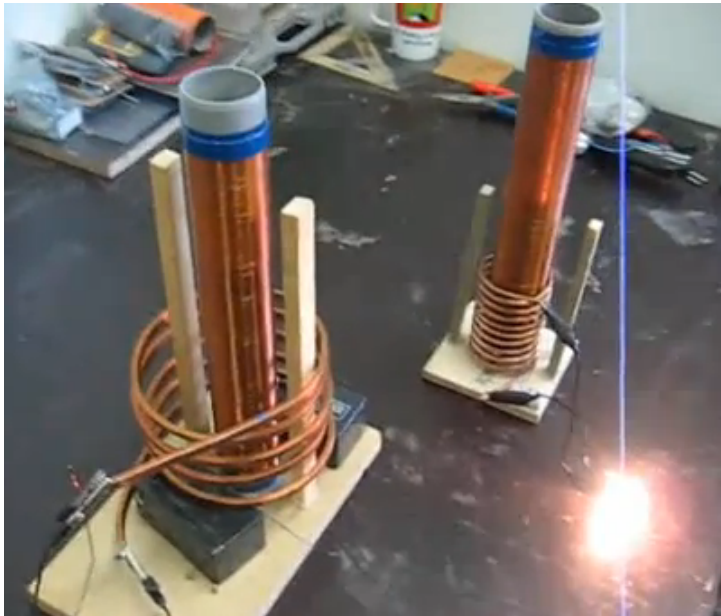


Рис. 3.

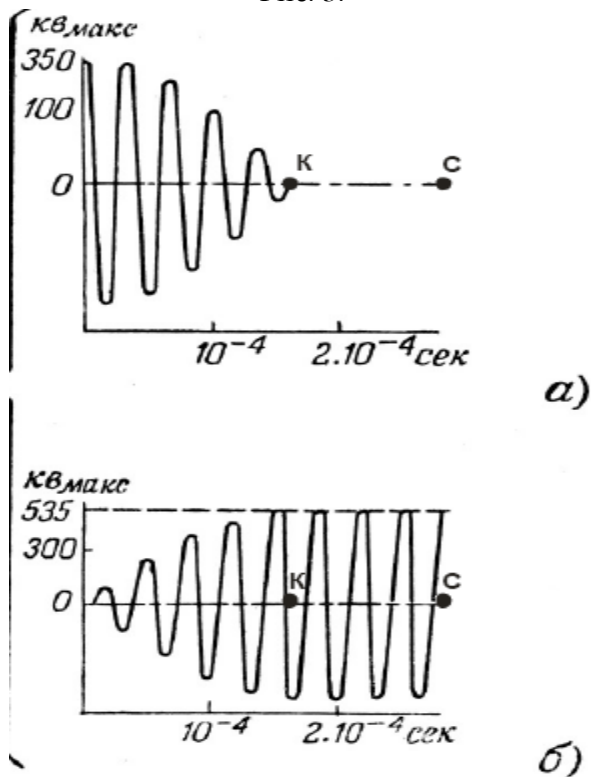


Рис. 4. Осциллограммы колебаний напряжения в катушке Тесла:
а) в первичной обмотке, б) во вторичной.

Для объяснения этих экспериментов и наблюдений предлагались различные теории – см., например, [2, 3, 4, 12]. Однако пока не найдена общепринятая теория, а, главное, - далеко не все наблюдаемые феномены нашли объяснение в этих теориях.

На основании изложенного можно предположить, что

- вокруг трансформатора и провода образуется электрическое поле (без магнитной составляющей),
- ток в проводе почти отсутствует,
- скорость распространения этого поля существенно меньше скорости света,
- поле представляет собой стоячую волну (важно подчеркнуть, что здесь и далее речь идет о стоячей волне в пространстве, а не во вторичной катушке трансформатора),
- поле обладает энергией, достаточной для питания нагрузки.

Автор далее показывает, что

- вторичная обмотка трансформатора Тесла формирует в окружающей среде электрическую стоячую волну,
- существование и распространение электрической стоячей волны объясняется обменом энергией между этой волной и воздухом,
- источником энергии является тепловая энергия воздуха, которая преобразуется электрической стоячей волной в энергию нагрузки.

2. Электрическое поле в окрестности вторичной катушки трансформатора Тесла

2.1. Разомкнутая токопроводящая полоса в магнитном поле

Далее показывается, что трансформатор Тесла генерирует в окружающем пространстве стоячую электрическую волну.

Известно, что "э.д.с. электромагнитной индукции наводятся во всех участках замкнутого проводящего контура, если эти участки пересекают линии магнитной (меняющейся во времени) индукции" [11].

Если сопротивление, замыкающее участок, $R \Rightarrow \infty$, то ток отсутствует. Однако э.д.с. есть и, следовательно, на концах участка заряды не равны по величине или знаку. Следовательно, на разомкнутом участке должна существовать стоячая волна э.д.с. и

зарядов, меняющихся во времени. Это означает, что на проводящем участке, который пересекается линиями магнитной (меняющейся во времени) индукции и замкнут на сопротивление $R \Rightarrow \infty$

- 1) существует зависящая от времени функция распределения плотности зарядов,
- 2) отсутствует ток.

Следовательно, в уравнениях Максвелла для описания электромагнитного поля, создаваемого таким участком, должны отсутствовать токи, но присутствовать переменные заряды.

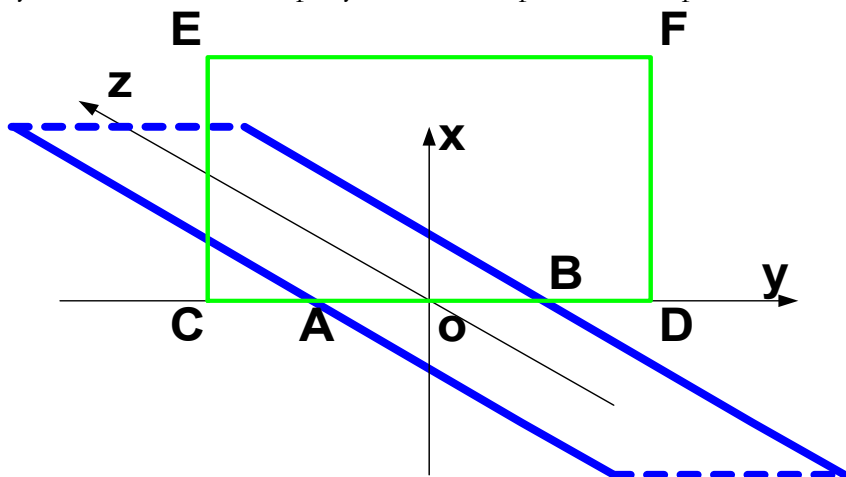


Рис. 5.

Для описания этого явления рассмотрим вначале достаточно длинную токопроводящую разомкнутую полосу (см. рис. 5), в которой внешнее магнитное синусоидальное поле (направленное вдоль оси Oy) создает Э.Д.С. Ток в этой полосе отсутствует, однако плотность распределения зарядов по полосе изменяется во времени. Следовательно, вокруг такой полосы образуется электромагнитное поле. Это поле образуется переменными электрическими зарядами. Будем полагать (основания для этого рассмотрены ниже), что функция распределения электрических зарядов по полосе имеет вид:

$$\rho(x, y, z, t) = \rho_0 \text{Chd}(\beta y) \text{Shd}(\gamma z) \lambda'(x) e^{i\omega t}, \quad (1)$$

где

- ось Ox направлена перпендикулярно плоскости полосы,
- ось Oy направлена поперек полосы,
- ось Oz направлена вдоль полосы,

- $\text{Chd}(\beta y)$ - функция гиперболического косинуса, определенная на ширине полосы - отрезке $y \in (-R, R)$, причем $2R = \overline{AB}$ - см. рис. 5,
- $\text{Shd}(\gamma z)$ - функция гиперболического синуса, определенная на отрезке $z \in (-L, L)$, где $2L$ - длина полосы,
- $\lambda'(x)$ - функция Дирака,
- ρ_0, β, γ - известные коэффициенты,
- ω - угловая частота,
- i - мнимая единица.

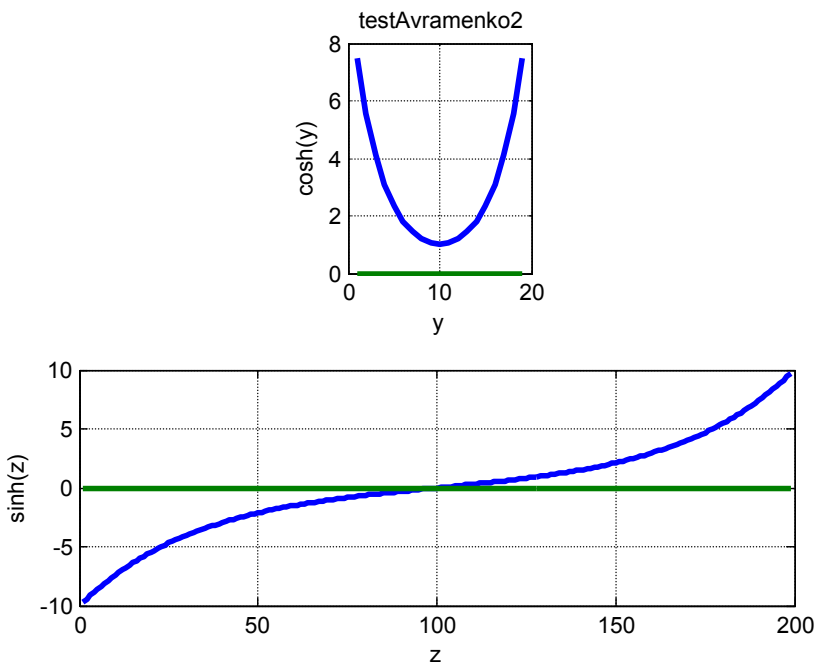


Рис. 6.

На рис. 6 показаны функции $\text{Chd}(\beta y)$ и $\text{Shd}(\gamma z)$. Основания для формулы (1) состоят в том, что функция $\text{Chd}(\beta y)$ моделирует неравномерное распределение зарядов по ширине полосы, а функция $\text{Shd}(\gamma z)$ моделирует неравномерное распределение зарядов по длине полосы, которые при таком распределении создают напряжение – Э.Д.С. между концами полосы. В дальнейших выводах используется следующее свойство этих функций:

$$\text{Chd}(w) = \frac{d(\text{Shd}(w))}{dw}, \quad \text{Shd}(w) = \frac{d(\text{Chd}(w))}{dw}, \quad (1.0)$$

Важно для дальнейшего отметить, что ρ_0 является функцией от тока I_1 в первичной катушке трансформатора Тесла: ток возбуждает э.д.с., которая, в свою очередь, формирует заряды. Можно полагать, что

$$\rho_0 = \rho_{00} I_1, \quad (1a)$$

где ρ_{00} – константа.

Поля в этом случае являются монохроматическими и могут быть представлены в комплексном виде [7]. Система уравнений Максвелла для монохроматических полей относительно амплитудных значений для нашего случая принимает вид [7]:

1.	$\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} - \omega \varepsilon E_x + g \frac{d\varphi}{dx} = 0$	(2)
2.	$\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} - \omega \varepsilon E_y + g \frac{d\varphi}{dy} = 0$	
3.	$\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - \omega \varepsilon E_z + g \frac{d\varphi}{dz} = 0$	
4.	$\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} + \omega \mu H_x = 0$	
5.	$\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} + \omega \mu H_y = 0$	
6.	$\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} + \omega \mu H_z = 0$	
7.	$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} - \frac{\rho}{\varepsilon} = 0$	
8.	$\frac{\partial H_x}{\partial x} + \frac{\partial H_y}{\partial y} + \frac{\partial H_z}{\partial z} = 0$	

Здесь

μ - магнитная проницаемость,

ε - диэлектрическая проницаемость,

φ - электрический скалярный потенциал,

\mathcal{G} - электропроводность.

Эти уравнения могут быть записаны также в виде

$$\text{rot}(\mathbf{H}) - \omega \varepsilon \mathbf{E} + \theta \cdot \text{grad}(\varphi) = 0, \quad (3)$$

$$\text{rot}(\mathbf{E}) + \omega \mu \mathbf{H} = 0, \quad (4)$$

$$\text{div}(\mathbf{E}) - \rho / \varepsilon = 0, \quad (5)$$

$$\text{div}(\mathbf{H}) = 0. \quad (6)$$

Аналогичные задачи для исследования подобной системы уравнений (с точностью до обозначений и для другой технической интерпретации) решены в [6, 8, 9]. Общий метод указан в [8]. Применяя его, можно найти решение уравнений Максвелла для амплитудных значений при данных зарядах

$$\rho(x, y, z) = \rho_0 \text{Chd}(\beta y) \text{Shd}(\gamma z) \mathcal{N}'(x) \quad (7)$$

При $x > 0$ решение имеет вид:

$$E_x(x, y, z) = e_x \text{Chd}(\beta y) \text{Chd}(\gamma z) \cos(\chi x), \quad (8)$$

$$E_y(x, y, z) = e_y \text{Chd}(\beta y) \text{Shd}(\gamma z) \sin(\chi x), \quad (9)$$

$$E_z(x, y, z) = e_z \text{Shd}(\beta y) \text{Chd}(\gamma z) \sin(\chi x), \quad (10)$$

$$\varphi(x, y, z) = \varphi_0 \text{Chd}(\beta y) \text{Shd}(\gamma z) \sin(\chi x), \quad (10a)$$

$$e_x = \frac{\rho_0}{\varepsilon}, \quad (11)$$

$$e_y = \frac{\gamma}{\chi} e_x, \quad (12)$$

$$e_z = \frac{\beta}{\chi} e_x, \quad (13)$$

$$\varphi_0 = \frac{\omega}{\chi} \rho_0, \quad (14)$$

$$\chi = \sqrt{\beta^2 + \gamma^2}. \quad (15)$$

На рис. 7 приведен пример решения при

$$\rho_0 = 10^{-7}, \quad \beta = 90, \quad \gamma = 110, \quad \omega = 1000.$$

Показаны функции

$$E_x(x) = e_x \cos(\chi x), \quad (16)$$

$$E_y(x) = e_y \sin(\chi x), \quad (17)$$

$$E_z(x) = e_z \sin(\chi x), \quad (18)$$

$$\varphi(x) = \varphi_0 \sin(\chi x). \quad (19)$$

Видно, что имеют место колебания этих величин по оси Ox , перпендикулярной плоскости полосы. Вместе с тем эти величины колеблются во времени (по условию задачи). Это означает, что в окрестности полосы возникает стоячая электрическая волна (без магнитной составляющей). Условия существования такой волны будут обсуждаться ниже.

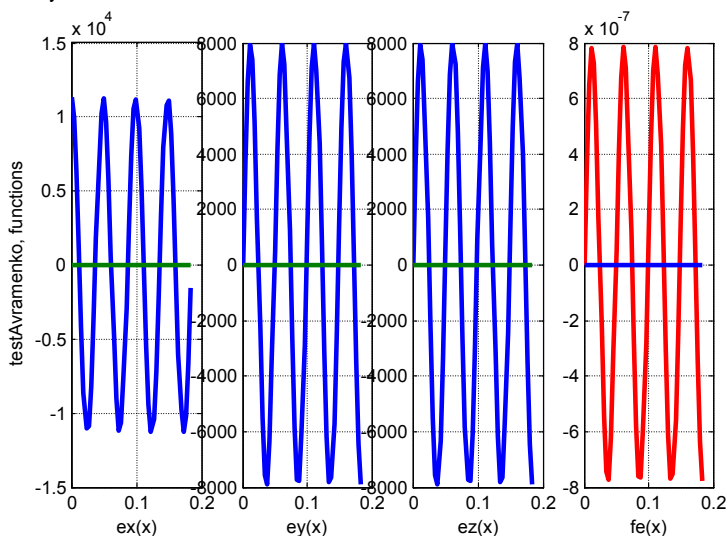


Рис. 7.

2.2. Разомкнутое токопроводящее кольцо в магнитном поле

Рассмотрим теперь токопроводящую разомкнутую полосу, которая свернута в кольцо, оставаясь разомкнутой - см. рис. 8. Радиус кольца обозначим как R (отрезок oa на рис. 8). Очевидно, в этом случае вместо декартовых координат x, y, z следует рассмотреть цилиндрические координаты r, φ . Далее электрический потенциал (в отличие от предыдущего) обозначен как φ' .

Формально преобразование уравнений Максвелла из декартовых координат в цилиндрические координаты может быть выполнено по правилу [8, 9]:

- координаты переобозначаются так:

$$x \Rightarrow r, \quad y \Rightarrow y, \quad z \Rightarrow r \cdot \varphi, \quad (1)$$

- производные переобозначаются так:

$$\frac{\partial E}{\partial x} \Rightarrow \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(rE)}{\partial r}, \quad \frac{\partial E}{\partial y} \Rightarrow \frac{\partial E}{\partial y}, \quad \frac{\partial E}{\partial z} \Rightarrow \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial E}{\partial \varphi}. \quad (2)$$

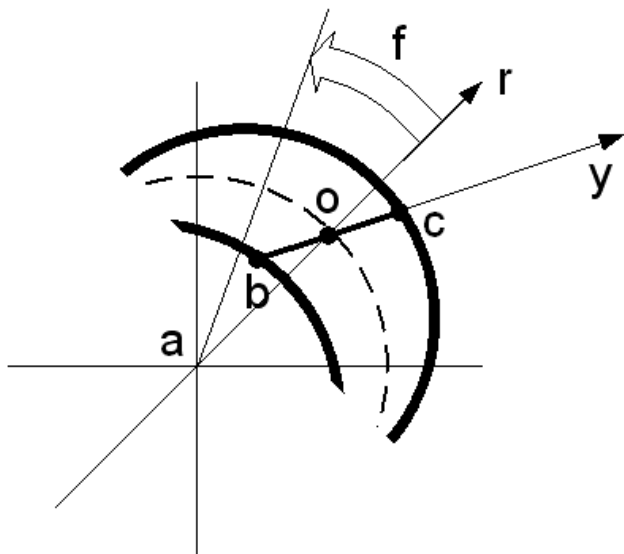


Рис. 8.

Будем полагать, что функцию распределения плотности можно представить в виде

$$\rho(r, \varphi, y) = \rho_0 \text{Chd}(\beta y) \text{Shd}(\gamma \varphi) \lambda'(R). \quad (3)$$

Тогда решение уравнений Максвелла будет иметь вид:

$$E_r(r, \varphi, y) = \frac{e_x}{r} \text{Chd}(\beta y) \text{Ch}(\gamma \varphi) \cos(\chi(r - R)), \quad (4)$$

$$E_\varphi(r, \varphi, y) = \frac{e_z}{r} \text{Shd}(\beta y) \text{Chd}(\gamma \varphi) \sin(\chi(r - R)), \quad (5)$$

$$E_y(r, \varphi, y) = \frac{e_y}{r} \text{Ch}(\beta y) \text{Sh}(\gamma \varphi) \sin(\chi(r - R)), \quad (6)$$

$$\varphi'(r, \varphi, y) = \frac{\varphi'_0}{r} \text{Ch}(\beta y) \text{Sh}(\gamma \varphi) \sin(\chi(r - R)). \quad (7)$$

Градиент скалярного потенциала электрического поля по направлению оси Or имеет вид:

$$\begin{aligned} G_r(r, \varphi, y) &= \frac{d(\varphi'(r, \varphi, y))}{dr} = \\ &= \frac{\chi \varphi'_0}{r} \text{Ch}(\beta y) \text{Sh}(\gamma \varphi) \cos(\chi(r - R)). \end{aligned} \quad (8)$$

Отсюда следует, что решение данной задачи в цилиндрических координатах отличается от решения, полученного в декартовых координатах, множителем

$$\xi = \frac{R}{r}, \quad r \geq R. \quad (9)$$

Это означает, что в декартовых координатах имеют место незатухающие пространственные колебания вдоль координаты x , а в цилиндрических – затухающие по гиперболическому закону колебания вдоль координаты r . При этом функции электрических напряженности и потенциала по оси Or имеет вид синусоиды с монотонно убывающей амплитудой.

2.3. Разомкнутый соленоид в магнитном поле

Применим полученные выше результаты к рассмотрению работы трансформатора Тесла. Разомкнутая вторичная обмотка трансформатора может быть отождествлена с множеством разомкнутых колец в переменном магнитном поле. Электрическое поле такой конструкции, как следует из предыдущего, представляет собой стоячую электрическую волну.

На обмотке при $r = R$ присутствует напряженность (3.4), потенциал (3.7) и градиент потенциала (3.8) или

$$E_{ro}(\varphi, y) = \frac{e_x}{R} \text{Chd}(\beta y) \text{Ch}(\gamma \varphi), \quad (1)$$

$$\varphi'_0(\varphi, y) = 0, \quad (2)$$

$$G_{ro}(\varphi, y) = \frac{\chi \varphi'_0}{R} \text{Ch}(\beta y) \text{Sh}(\gamma \varphi). \quad (3)$$

Итак, вторичная катушка трансформатора Тесла формирует стоячую электрическую волну без магнитной составляющей. Формирование выполняется при протекании тока I_1 в первичной катушке трансформатора Тесла. В силу (2.1а, 2.11) можно утверждать, что для фиксированных значений координат напряженности, потенциал и градиент потенциала являются известными функциями I_1 . Таким образом, трансформатор Тесла в целом описывается системой уравнений, связывающих переменные

$$I_1, E_r(r, \varphi, y), E_y(r, \varphi, y), E_\varphi(r, \varphi, y), \varphi'(r, \varphi, y).$$

3. Электромагнитное поле в окрестности первичной катушки трансформатора Тесла

3.1. Электромагнитное поле полосового токопровода

Пусть токопровод, по которому течет переменный ток j с круговой частотой ω , имеет вид бесконечной полосы вдоль координаты Z – см. рис. 5. Тогда

- все производные по Z становятся равными нулю,
- напряженность $H_z = 0$,
- производная электрического скалярного потенциала φ вдоль некоторой оси, равная проекции тока на эту ось координат, существует только вдоль оси OZ .

При этом система уравнений Максвелла (2.1.2) принимает вид:

3.	$\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - \omega \varepsilon E_z + g \frac{d\varphi}{dz} = 0$	(1)
4.	$\frac{\partial E_z}{\partial y} + \omega \mu H_x = 0$	
5.	$-\frac{\partial E_z}{\partial x} + \omega \mu H_y = 0$	
8.	$\frac{\partial H_x}{\partial x} + \frac{\partial H_y}{\partial y} = 0$	

Эта система 4-х уравнений относительно трех переменных является переопределенной. Но уравнение (1.8) следует из (1.4, 1.5) и, следовательно, одно из трех последних уравнений можно исключить.

Если J - проекция вектора плотности тока j на плоскость xOy , то

$$J = -g \frac{d\varphi}{dz}. \quad (2)$$

Поэтому перепишем (1.3) в следующем виде:

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - \omega \varepsilon E_z - J = 0. \quad (3)$$

Пусть функция распределения плотности тока имеет вид

$$J(x, y) = J_0 \text{Chd}(\beta y) \mathcal{N}'(x), \quad (4)$$

где J_0, β - известные коэффициенты. Функция $\text{Chd}(\beta y)$ (см. рис. 6) хорошо аппроксимирует реальную функцию распределения переменного тока по ширине проводника (определяемую скин-эффектом). Практически,

$$\beta \approx 1/S, \quad (5)$$

где S - ширина полосы.

Итак, электромагнитное поле в окрестности полосового токопровода описывается системой уравнений (1.4, 1.5, 3, 4), где неизвестными являются амплитуды комплексных напряженностей $H_x(x, y), H_y(x, y), E_z(x, y)$.

Применяя метод, изложенный в [8], можно показать, что решение этих уравнений при $x > 0$ принимает вид

$$H_x(x, y) = h_x \text{Shd}(\beta y) \sin(\chi x), \quad (6)$$

$$H_y(x, y) = h_y \text{Chd}(\beta y) \cos(\chi x), \quad (7)$$

$$E_z(x, y) = e_z \text{Chd}(\beta y) \sin(\chi x), \quad (8)$$

$$h_x = J_0, \quad (9)$$

$$h_y = -h_x, \quad (10)$$

$$e_z = -\frac{\omega \mu}{\beta} h_x, \quad (11)$$

$$\chi = \beta. \quad (12)$$

Пример 1. На рис. 9 приведен результат численного решения уравнений Максвелла для данной задачи. В примере принято $\omega = 10^5$, $\beta = 500$, $J_0 = 25000$. При длина волны по оси OX равна $\lambda = 2\pi/\chi = 2\pi/\beta = 0.014m$.

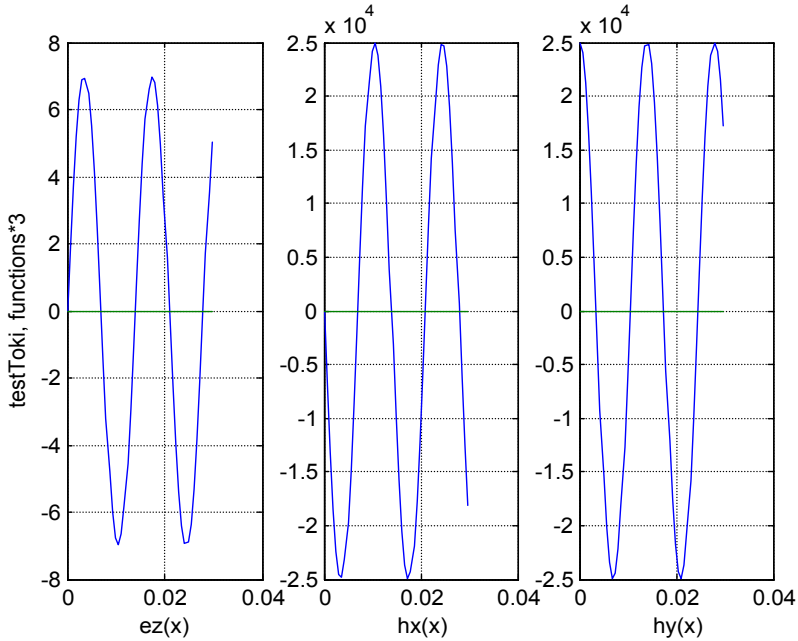


Рис. 9.

Видно, что имеют место колебания напряженностей по оси OX , перпендикулярной плоскости полосы. Вместе с тем эти величины колеблются во времени (по условию задачи). Это означает, что в окрестности полосы возникает стоячая электромагнитная волна. Можно видеть, что электрическая составляющая такой волны мала и ею можно пренебречь. В дальнейшем мы будем говорить о стоячей магнитной волне в окрестности плоского токопровода. Условия существования такой волны будут обсуждаться ниже.

3.2. Соленоид с плоскими витками

Рассмотрим теперь соленоид, навитый одним слоем плоского токопровода, по которому протекает переменный ток. Рассуждая совершенно аналогично предыдущему, можно заметить, что вдоль

радиуса такого соленоида имеют место затухающие по гиперболическому закону колебания вдоль координаты r . При этом функция магнитной напряженности по оси Or имеет вид синусоиды с монотонно убывающей амплитудой.

3.3. Электромагнитное поле плоской катушки.

Рассмотрим теперь плоскую катушку – т.н. катушку Тесла. Будем полагать, что она навита одним слоем плоского токопровода, по которому протекает переменный ток. Для описания электромагнитного поля такой катушки необходимо перейти к цилиндрическим координатам другого (отличающегося от предыдущего) вида – в этом случае вместо декартовых координат x, y, z следует рассмотреть цилиндрические координаты x, r, φ . Формально преобразование уравнений Максвелла из декартовых координат в такие цилиндрические координаты может быть выполнено по правилу [8]:

- координаты переобозначаются так:

$$x \Rightarrow x, \quad y \Rightarrow r, \quad z \Rightarrow r \cdot \varphi, \quad (1)$$

- производные переобозначаются так:

$$\frac{\partial H}{\partial x} \Rightarrow \frac{\partial H}{\partial x}, \quad \frac{\partial H}{\partial y} \Rightarrow \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(rH)}{\partial r}, \quad \frac{\partial H}{\partial z} \Rightarrow \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial H}{\partial \varphi}. \quad (2)$$

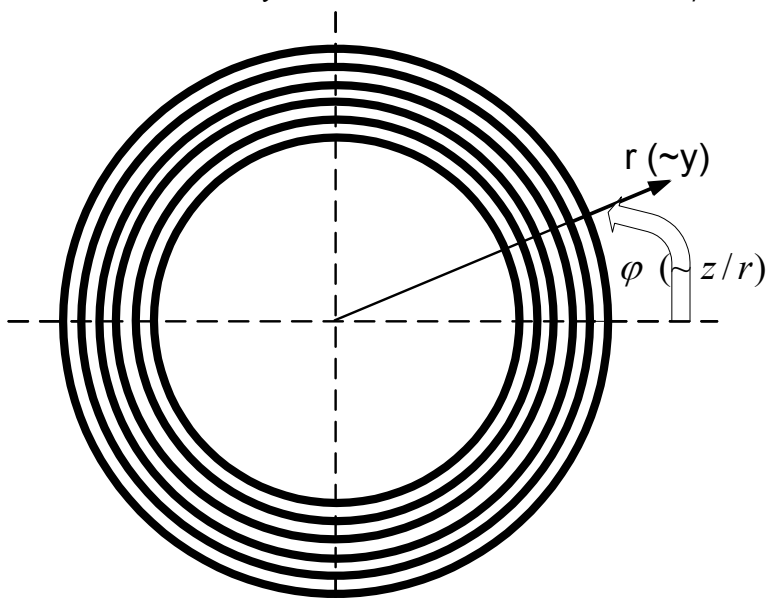


Рис. 10.

Это преобразование поясняется на рис. 10, где ось Ox перпендикулярна плоскости катушки, ось $Oy \Rightarrow Or$ направлена по радиусу кольца, ось $Oz \Rightarrow r \cdot \varphi$ - дуга катушки.

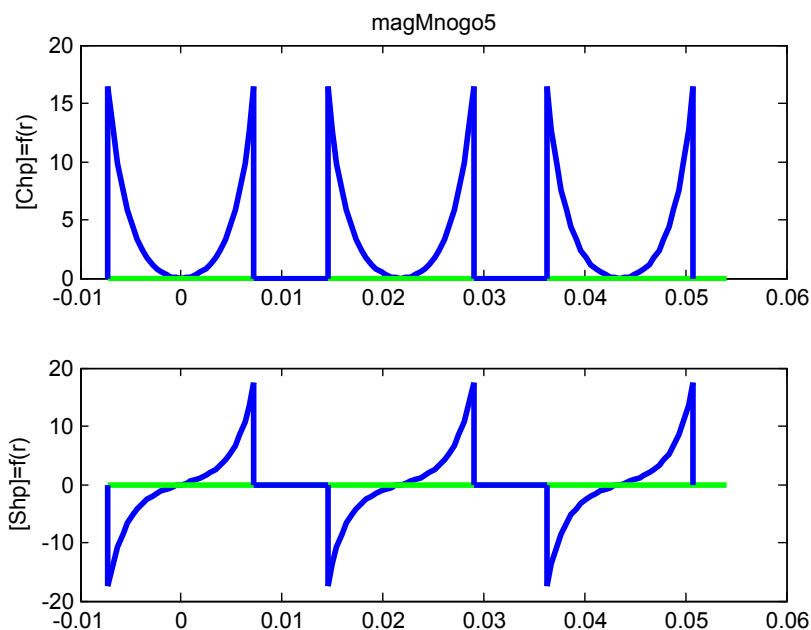


Рис. 11.

В данном случае также можно представить функцию распределения плотности тока в виде (3.1.4), а именно

$$J(x, r) = J_0 \text{Chp}(\beta r) \lambda'(x), \quad (3)$$

Но функция $\text{Chd}(\beta y)$, изображенная на рис. 6, в данном случае принимает вид функции $\text{Chp}(\beta r)$ - см. рис. 11, где изображены функции $\text{Chp}(\beta r)$ и $\text{Shp}(\beta r)$ для трехвитковой катушки. Эти функции также обладают свойством (2.1.1.0).

Решение уравнений Максвелла в этом случае идентично решению для одной полосы в разделе 3.1, за исключением того, что все функции $\text{Chd}(\beta y)$ и $\text{Shp}(\beta y)$ должны быть заменены на функции $\text{Chp}(\beta r)$ и $\text{Shp}(\beta r)$.

Итак, в этом случае имеют место незатухающие пространственные колебания вдоль координаты x , перпендикулярной плоскости катушки. Таким образом, над плоской

катушкой образуется стоячая магнитная волна.

Заметим еще, что такое же решение получается и для плоской катушки с бифилярной обмоткой – изменяется только вид функций $Chp(\beta r)$ и $Shp(\beta r)$ - см. рис. 12. Эти функции также обладают свойством (2.1.1.0).

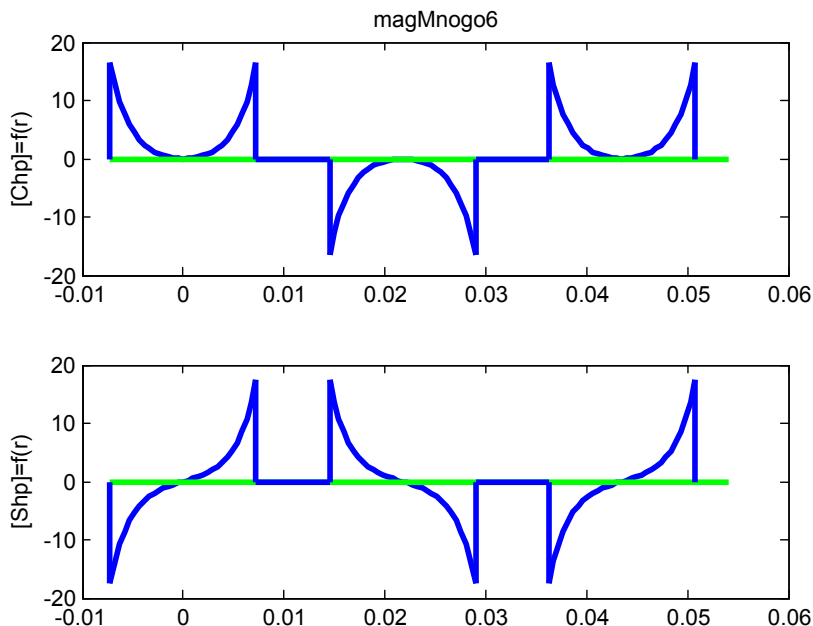


Рис. 12.

4. Электромагнитное поле в окрестности трансформатора Тесла

Рассмотрим трансформатор Тесла с плоской первичной катушкой – см., например, рис. 13 из [33]. Стрелками показаны векторы напряженности стоячей волны, формируемые катушками трансформатор Тесла – напряженность электрического поля **E** вторичной катушки и напряженность магнитного поля **H** первичной катушки. Эти поля создаются различными источниками и потому независимы. Это означает, что эти поля не обмениваются энергией. Они существуют, как будет показано ниже, за счет обмена энергией с окружающей средой. Оба этих поля действуют на диполь воздуха согласовано. На рис. 13 показано положение диполя **D**, поляризованного полями **E** и **H**.

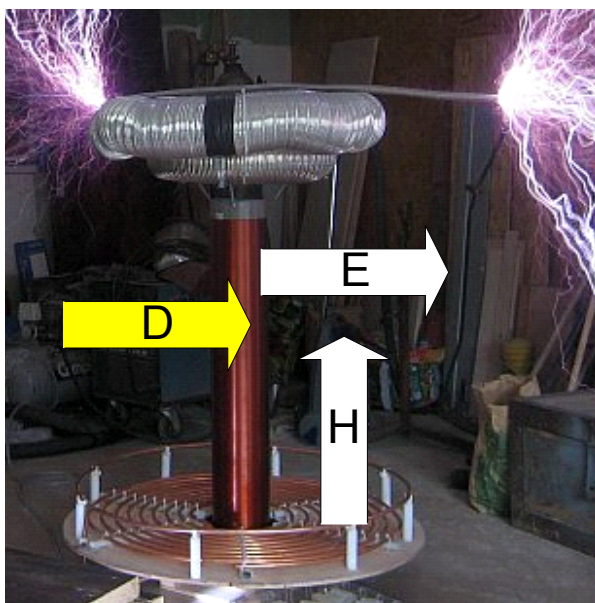


Рис. 13.

5. Энергозависимость стоячей волны

Возникает, несомненно, вопрос о том, как же существуют электрическая или магнитная волна без (соответственно) магнитной или электрической составляющей (ибо в известных случаях электромагнитная волна сохраняется благодаря обмену энергией между электрической и магнитной составляющими)?

В [10] экспериментально показано, что существуют стоячие магнитные волны (без электрической составляющей). В области такой волны наблюдается понижение температуры до 7 градусов. В [9] доказывается, что такая волна может существовать только в условиях обмена энергией с окружающей средой. Показывается, что в такой волне наблюдается магнитная поляризация диполей воздуха, заключающаяся в том, что диполи поляризуются силами Лоренца в направлении вектора скорости, с которой они входят в область данной волны. Показывается, далее, что такая поляризация существенно ограничивает степени свободы молекул воздуха, а это приводит к уменьшению внутренней энергии воздуха и, как следствие, понижению его температуры. Изменяющаяся энергия волны в сумме с изменяющейся внутренней энергией воздуха удовлетворяют закону сохранения энергии. Условия выполнения этого закона и являются условиями существования данной волны.

Показывается, что следствием этого условия оказывается понижение температура в области волны. Это явление (как отмечено выше) наблюдается в экспериментах [10]. Существует определенная скорость распространения данной волны в воздухе.

Аналогично можно показать, что электрическая стоячая волна может существовать только в условиях обмена энергией с окружающей средой. В такой волне должна наблюдаться электрическая поляризация диполей. Такая поляризация существенно ограничивает степени свободы молекул воздуха, а это приводит к уменьшению внутренней энергии воздуха и, как следствие, понижению его температуры. Изменяющаяся энергия волны в сумме с изменяющейся внутренней энергией воздуха удовлетворяют закону сохранения энергии. Условия выполнения этого закона и являются условиями существования данной волны. Следствием этого условия должно быть понижение температуры в области волны. Существует определенная скорость распространения данной волны в воздухе, что показано в описанных выше экспериментах. По аналогии с указанным экспериментом, можно ожидать, что область существования волны зависит от величины нагрузки.

Таким образом, стоячая электрическая или \и магнитная волна создается за счет энергии трансформатора, существует за счет обмена энергией с окружающей средой, распространяется и может передавать часть своей энергии в нагрузку.

6. Условия существования энергозависимой волны

6.1. Электрическая и магнитная поляризация электрических диполей воздуха

6.1.1. Общие замечания

Рассмотрим рис. 14, где обозначено:

L - длина диполя,

q - заряд диполя,

\vec{L} - вектор диполя, направленный от "-" к "+",

\vec{E} - напряженность электрического поля,

\vec{H} - напряженность магнитного поля, направленная перпендикулярно плоскости рисунка,

\bar{V} - скорость движения центра диполя,

\bar{F} - сила Лоренца, действующая на движущийся в магнитном поле единичный заряд,

α - угол между вектором диполя \bar{L} и напряженностью \bar{E} или силой \bar{F} .

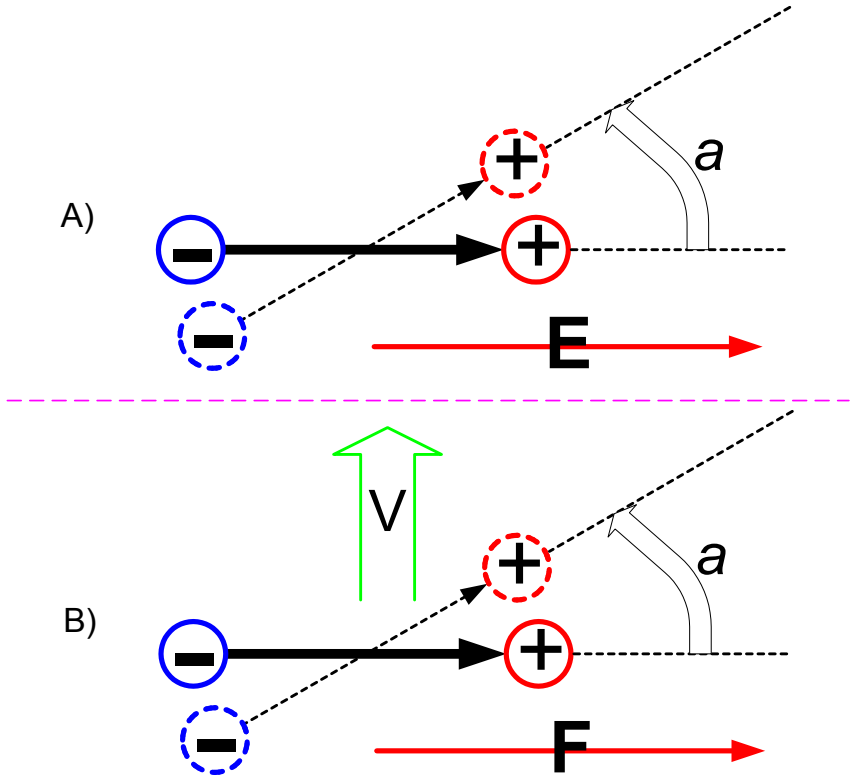


Рис. 14. А) Электрический диполь в электрическом поле.

В) Электрический диполь, движущийся со скоростью V в магнитном поле.

На рис. 14 показан процесс поляризации электрического диполя в стоячей магнитной и электрической волнах, формирующихся в трансформаторе Тесла – см. также рис. 13. Предполагается, что вектор напряженности \bar{H} магнитного поля направлен перпендикулярно плоскости рисунка, а вектор напряженности электрического поля \bar{E} направлен так, как показано на рисунке.

6.1.2. Электрическая поляризация

Электрический момент диполя

$$\vec{p} = q\vec{L}. \quad (1)$$

Устойчивым положением диполя, соответствующим минимуму его потенциальной энергии, является положение $\alpha = 0$, при котором векторы диполя \vec{L} и напряженности \vec{E} параллельны и вращающий момент равен 0 -см. рис. 1. Ориентацию диполя вдоль вектора напряженности \vec{E} называют электрической поляризацией. Работа, совершаемая полем при переходе диполя в состояние устойчивого равновесия, равна

$$W_e = (\vec{p}, \vec{E}), W_e = qLE \cos(\alpha). \quad (2)$$

Это - изменение потенциальной энергии диполя в процессе его ориентации. Работа, совершаемая электрическим полем в процессе ориентации диполя, выполняется за счет изменения внутренней энергии диэлектрика W_T . При изменении угла α изменяются потенциальная энергия диполя W_e и внутренняя энергия диэлектрика W_T (для воздуха, рассматриваемого как идеальный газ, это – энергия теплового движения молекул), однако их сумма в силу закона сохранения энергии остается постоянной – см. рис. 15.

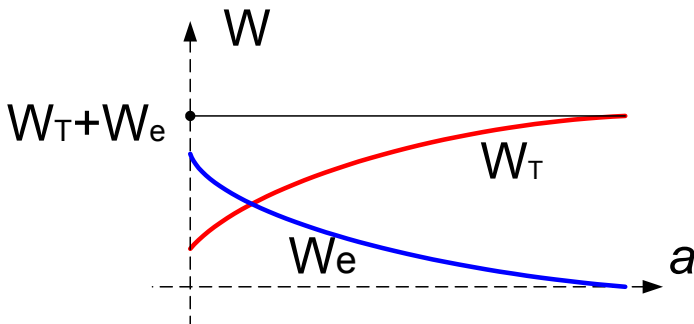


Рис. 15.

Таким образом, электрическая поляризация диполей уменьшает внутреннюю энергию диэлектрика. Но число ориентированных диполей возрастает с увеличением напряженности. Следовательно, с увеличением напряженности уменьшается внутренняя энергия диэлектрика

Плотность энергии поляризации, как известно [16], равна

$$W_e = \varepsilon_0 \chi_e E^2, \quad (3)$$

где

χ_e - ориентационная поляризуемость электрическим полем.

ε_0 - электрическая проницаемость вакуума.

Электрическая поляризованность выражается двояко [16]:

$$P_e = p n_e = \varepsilon_0 \chi_e E, \quad (4)$$

где n_e - количество поляризованных диполей в кубометре воздуха.

Отсюда находим:

$$n_e = \varepsilon_0 \chi_e E / p, \quad (5)$$

$$W_e = p n_e E. \quad (6)$$

Таким образом, энергия электрической поляризации диполей определяется формулой (6).

Будем полагать, что относительное количество поляризованных диполей в кубометре воздуха

$$\overline{n_e} = n_e / n_0, \quad (7)$$

где n_0 - количество диполей в кубометре воздуха, пропорционально электрической напряженности, т.е.

$$\overline{n_e} = \xi_e E. \quad (8)$$

Величина коэффициента ξ_e будет оценена ниже.

Относительная диэлектрическая проницаемость

$$\varepsilon = 1 + \chi_e \quad (9)$$

6.1.3. Магнитная поляризация

Рассмотрим далее процесс поляризации электрического диполя в магнитном поле [9]. Этот процесс изображен на рис. 14. Если центр диполя движется со скоростью \overline{V} (в данном случае это – скорость теплового движения), то на каждый заряд диполя будет действовать сила Лоренца. В расчете на единичный положительный заряд эта сила равна

$$\overline{F} = \mu_0 \overline{H} \times \overline{V}, \quad (8)$$

где \overline{H} – напряженность магнитного поля, μ_0 - магнитная постоянная. Силы, действующие на каждый заряд диполя, будут создавать вращающий момент и поворачивать диполь. Когда диполь повернется так, что

вектор диполя \bar{L} будет перпендикулярен вектору скорости \bar{V} , то силы Лоренца будут направлены в противоположные стороны и вращающий момент этих сил будет равен нулю. Диполь примет положение устойчивого равновесия (подробно движение диполя в процессе его ориентации перпендикулярно вектору скорости рассмотрен в [9]). При этом указанная сила \bar{F} будет по своему действию на магнитную поляризацию аналогична действию напряженности \bar{E} на поляризацию в электрическом поле. На основании этой аналогии изменение потенциальной энергии движущегося в магнитном поле электрического диполя выражается формулой, похожей на формулу (2)

$$W_h = (\bar{p}, \bar{F}), W_h = qLF \cos(\alpha). \quad (9)$$

Угол α отсчитывается от положения устойчивого равновесия, при котором $\alpha = 0$.

Таким образом, ориентацию диполя перпендикулярно вектору скорости \bar{V} будем называть магнитной поляризацией электрического диполя (по аналогии с электрической поляризацией). По аналогии с предыдущим можно утверждать, что при определенной скорости движения диполей с увеличением магнитной напряженности уменьшается внутренняя энергия диэлектрика

Отметим, что в отличие от электрической поляризации диполей здесь диполи ориентируются в разных направлениях (вследствие хаотического движения молекул), поэтому не возникает суммарного магнитного момента (аналогичного вектору \bar{P}_e). Поэтому непосредственно экспериментально наблюдать эту магнитную поляризацию невозможно. Также следует заметить, что происходит еще магнитная поляризация молекул воздуха, как парамагнетика, параллельно вектору \bar{H} . Но этот эффект очень мал и поэтому здесь не рассматривается.

Плотность энергии магнитной поляризации запишем по аналогии с формулой (6)

$$W_h = pn_h F, \quad (10)$$

где n_h - количество магнитно поляризованных диполей в кубометре воздуха.

Будем полагать, что относительное количество магнитно поляризованных диполей в кубометре воздуха

$$\overline{n_h} = n_h / n_o, \quad (11)$$

где n_o - количество диполей в кубометре воздуха, пропорциональное магнитной напряженности, т.е.

$$\overline{n_h} = \xi_h H. \quad (12)$$

Величина коэффициента ξ_h будет оценена ниже (она имеет размерность м\A).

Совмещая (8) и (10), находим:

$$W_h = p n_h (\mu_o H V). \quad (13)$$

Таким образом, энергия магнитной поляризации диполей определяется формулой (13).

6.2. Катализация тепловых процессов

Вначале рассмотрим тепловые процессы в электрической стоячей волне.

Поскольку рассматриваемая волна существует, необходимо (для выполнения закона сохранения энергии) обнаружить дополнительный источник энергии. В силу закона сохранения энергии сумма плотностей энергии электрического поля и энергии поляризации диполей должна быть равна нулю, т.е.

$$\frac{\epsilon_o \epsilon \cdot E^2}{2} + W_e = 0 \quad (1)$$

или

$$\frac{\epsilon_o (1 + \chi_e) E^2}{2} + \epsilon_o \chi_e E^2 / 2 = 0. \quad (2)$$

Это равенство НЕ выполняется. Следовательно, должен существовать еще какой-то источник энергии. Далее показывается, что таким источником является тепловая энергия воздуха. Эта энергия некоторым образом преобразуется в энергию поляризации молекул воздуха и, казалось бы, мы по-прежнему должны пользоваться формулой (2). Объяснение этого противоречия может быть только в том, что ориентационная поляризуемость в условиях меняющейся во времени стоячей волны отличается от той, которая определена для постоянного электрического поля. Нарушается также условие (6.1.9), используемое в (2). Далее мы полагаем, что диэлектрическая проницаемость воздуха всегда равна ϵ_o .

Чтобы не рассматривать отдельно изменение энергии молекул кислорода и азота, будем рассматривать воображаемую молекулу воздуха с усредненными параметрами. Масса моля воздуха при таком усреднении равна $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$. Такое упрощение часто применяется при анализе тепловых свойств воздуха.

Обычно в газе возможны различные виды движения молекул (поступательное по трем осям и вращательное вокруг этих осей), чему соответствует в общем случае 6 степеней свободы, а для воздуха как двухатомного газа – 5 степеней свободы (т.к. можно пренебречь вращением относительно оси диполя). В молекулярной физике [17] расчеты энергии теплового движения молекул выполняются в предположении равномерного распределения энергии по степеням свободы.

При электрической поляризации диполей, когда диполь силами электрического поля удерживается ориентированным по силовой линии, затруднены 2 вращательных движения. Следовательно, нет энергии по двум степеням свободы.

Математически все сказанное можно описать тем, что при расчете внутренней энергии воздуха для электрической поляризации диполей надо уменьшить число степеней свободы на 2.

Таким образом, электрически поляризованный диполь теряет две степени свободы. Если до поляризации тепловая энергия диполя равнялась величине $5kT/2$, то после электрической поляризации она уменьшится на величину kT (здесь k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура воздуха). Таким образом, поляризация диполей катализирует уменьшение внутренней энергии воздуха.

Физически уменьшение внутренней энергии при поляризации диполей можно объяснить так. В отсутствие поляризации при столкновении молекул выполняется закон сохранения кинетической энергии системы этих двух молекул. При столкновении поляризованных молекул происходит (вследствие изменения направления скоростей) отклонение диполей от положения устойчивого равновесия. На это затрачивается некоторая энергия. Следовательно, кинетическая энергия молекул после удара уменьшается, т.е. уменьшается внутренняя энергия воздуха. Математически это было учтено выше уменьшением числа степеней свободы.

Запишем величину уменьшения плотности внутренней энергии воздуха при поляризации:

$$W_T = kTn_e. \quad (3)$$

Тогда получим из (6.1.7, 3):

$$W_T = kTn_o \overline{n_e}. \quad (4)$$

Заметим, что полная внутренняя энергия воздуха

$$W_{TO} = 2.5kTn_o \quad (5)$$

а при полной поляризации, когда $\overline{n_e} = 1$, она уменьшается на величину

$$W_{T \max} = kTn_o. \quad (6)$$

т.е. уменьшается на 40%. Перепишем (4) в виде

$$W_T \approx \sigma \overline{n_e} \quad (7)$$

где

$$\sigma = kTn_o. \quad (8)$$

После подстановки (6.1.8) в (7) получаем

$$W_T = \sigma \xi_e H. \quad (9)$$

Таким образом, уменьшение внутренней энергии воздуха зависит от числа ориентированных молекул, которое, в свою очередь, зависит от электрической напряженности. Именно эта энергия участвует в процессе энергообмена в рассматриваемой волне. Баланс энергии в данном случае описывается уравнением вида

$$\frac{\varepsilon_o E^2}{2} - W_T \approx 0. \quad (10)$$

или, с учетом (4),

$$\frac{\varepsilon_o E^2}{2} - kTn_o \overline{n_e} \approx 0. \quad (11)$$

или, с учетом (9),

$$\frac{\varepsilon_o E^2}{2} - \sigma \xi_e E \approx 0. \quad (12)$$

Следовательно, данная волна существует, если выполняется условие (12). Из него находим:

$$\xi_e \approx 0.5 \varepsilon_o E / \sigma. \quad (13)$$

ИЛИ

$$\xi_e \approx 2\pi\sigma_1 E. \quad (14)$$

ГДЕ

$$\sigma_1 \approx \varepsilon_o / (4\pi\sigma). \quad (15)$$

С учетом (6.1.7, 6.1.8) получаем:

$$\overline{n_e} \approx 2\pi \cdot \sigma_1 E^2, \quad (16)$$

$$n_h \approx 2\pi \cdot \sigma_1 E^2 n_o. \quad (17)$$

Пример 1. При $n_o = 3 \cdot 10^{25}$, $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$, $T = 300$, $\varepsilon_o = 8.85 \cdot 10^{-12}$, $p_e = 2 \cdot 10^{-29}$ согласно (6.1.7, 6.1.8, 8, 14-17),

находим: $\sigma = kTn_o \approx 10^5$, $\sigma_1 \approx \varepsilon_o / (4\pi\sigma) \approx 10^{-16}$,

$\xi_e \approx 2\pi\sigma_1 E = 4 \cdot 10^{-11}$, $\overline{n_e} = \xi_e E = 4 \cdot 10^{-11} E$,

$n_e = \overline{n_e} \cdot n_o \approx 10^{15} E$. Если же учитывать справочное значение

ориентационной поляризуемости $\chi_e = 5 \cdot 10^{-17}$, то найдем

$n'_e = \chi_e / p_e = 2.5 \cdot 10^{12}$. Следовательно, $\lambda = n_e / n'_e \approx 400 E$.

Отсюда следует, что переменная во времени стоячая волна увеличивает поляризуемость воздуха в $\lambda \approx 400 E$ раз по сравнению с постоянным электрическим полем.

Тепловые процессы в магнитной стоячей волне подробно рассмотрены в [9].

6.3. Температура в области стоячей волны

Известно [18], что зависимость внутренней энергии газа u от его температуры T для единицы объема имеет следующий вид

$$u = sDT, \quad D = \frac{\rho R}{2M}, \quad (1)$$

где

s - число степеней свободы молекул (для воздуха – двухатомного газа $s = 5$),

$\rho \approx 1.2 \text{ кг/м}^3$ - плотность воздуха,

M - масса моля газа (для воздуха $M = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль),
 $R = 8.31$ Дж/(моль \cdot К) - универсальная газовая постоянная.

Таким образом, воздушная константа $D \approx 175$ Дж/(м³К)

Изменение внутренней энергии при изменении температуры на ΔT определяется формулой

$$\Delta u = -sD \cdot \Delta T. \quad (2)$$

Вначале рассмотрим температуру в области электрической стоячей волны. Полагая, что эта величина равна уменьшению внутренней энергии воздуха при поляризации молекул, и учитывая, что после поляризации $s = 1$, из (6.2.10) получаем:

$$\frac{\varepsilon_0 E^2}{2} + D \cdot \Delta T \approx 0. \quad (3)$$

Отсюда находим

$$\Delta T = -\frac{\varepsilon_0 E^2}{2D}. \quad (4)$$

или

$$\Delta T = -2.5 \cdot 10^{-14} \cdot E^2. \quad (5)$$

Напряженность, вызывающая понижение температуры на ΔT ,

$$E = 6 \cdot 10^6 \sqrt{\Delta T}. \quad (6)$$

Пример 2. Пусть $\Delta T \approx -0.0001$. Тогда напряженность $E \approx 6 \cdot 10^4$ В/м. Именно такие высокие напряженности имеют место в трансформаторах Тесла. Отсюда следует, что понижение температуры практически незаметно.

Теперь рассмотрим температуру в области магнитной стоячей волны. В этом случае вместо формулы (3) используется формула вида [9]:

$$\frac{\mu_0 H^2}{2} + D \cdot \Delta T \approx 0. \quad (3)$$

Отсюда находим

$$\Delta T = -\frac{\mu_0 H^2}{2D}. \quad (4)$$

ИЛИ

$$\Delta T = -\frac{B^2}{2D\mu_0}, \quad (4a)$$

$$\Delta T = -2300 \cdot B^2. \quad (4b)$$

Пример 3. Пусть $B \approx 3 \cdot 10^{-5} \text{Тл}$ - эта величина используется ниже в разделе 11. Соответствующая напряженность $H = B/\mu_0 \approx 25 \text{А/м}$. Используя формулу (4b), находим понижение температуры $\Delta T \approx -0.07^\circ$.

6.4. О скорости распространения области существования стоячей волны в воздухе

В уравнении (6.2.10) E – амплитуда напряженности, а $\overline{n_e}$ – среднее значение относительного количества поляризованных диполей воздуха. Очевидно, количество поляризованных диполей воздуха, будучи зависимым от E (см. (6.1.8)), колеблется синхронно с E . Поэтому рассмотрим амплитудное значение относительного количества поляризованных диполей и еще раз запишем (6.2.10):

$$\frac{\varepsilon_0 E^2}{2} - kTn_0 \overline{n_e} \approx 0. \quad (1)$$

Сравним (1) с уравнением баланса магнитной и электрической энергий бегущей волны в вакууме

$$\frac{\mu_0 H^2}{2} - \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} \approx 0, \quad (2)$$

которая распространяется со скоростью света

$$c = 1/\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}. \quad (3)$$

Запишем (1) в виде

$$\frac{\varepsilon_0 E^2}{2} - \frac{2kTn_0 (\sqrt{\overline{n_e}})^2}{2} \approx 0. \quad (3a)$$

Сравнивая (3a) с (2), по аналогии находим скорость распространения волны поляризации диполей:

$$d = 1/\sqrt{2kTn_o\varepsilon_o} . \quad (4)$$

Вероятно, это и есть скорость расширения области существования стоячей волны в воздухе. Итак, скорость расширения области существования электрической стоячей волны в воздухе определяется по (4).

Пример 4. При нормальных условиях

$$n_o = 3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}, \quad T = 300\text{К}, \quad k = 1.38 \cdot 10^{-23}, \quad \varepsilon_o = 8.85 \cdot 10^{-12} .$$

Тогда из (4) находим:

$$d \approx 700 \text{ м \ \сек} . \quad (5)$$

Пример 5. В [9] показано, что аналогичным образом вычисленная скорость расширения области существования магнитной стоячей волны в воздухе имеет значение

$$d \approx 2.5\text{м \ \сек} . \quad (5a)$$

В вакууме $n_o = 0$ и область существования волны "схлопывается" в точку. Таким образом, данная волна может существовать только в воздушной среде. Однако здесь не учитывается скорость распространения теплового потока, который должен сопровождать распространение волны.

6.5. Преобразование энергии волны в тепловую энергию среды

Помимо электрической поляризации существует и противоположный процесс. Приток тепловой энергии из внешней окружающей среды (среды 2), вызванный понижением температуры области существования волны (среды 1), деполяризует молекулы воздуха. Деполяризация означает вращение поляризованных молекул воздуха под действием теплового движения соседних молекул (ударяющих данную поляризованную молекулу). При этом энергия среды 1 увеличивается (за счет теплового потока из среды 2), а энергия волны уменьшается.

Таким образом, имеет место колебательный процесс, обусловленный колебанием напряженности поля и, соответственно, мгновенной энергии поля:

- если напряженность и мгновенная энергия поля *возрастают*,

- напряженность поляризует молекулы
- и уменьшает мгновенную энергию среды 1,
- если напряженность и мгновенная энергия поля *убывают*,
- мгновенная энергия среды 1 возрастает (за счет теплового потока из среды 2), т.е. активизируется тепловое движение в среде 1,
- оно деполяризует молекулы
- и уменьшает мгновенную энергию и напряженность поля
- и т.д.

Изменяющаяся энергия волны в сумме с изменяющейся внутренней энергией воздуха в среде 1 удовлетворяют закону сохранения энергии. Условия выполнения этого закона и являются условиями существования данной волны.

В [9] показано, что существует также аналогичный процесс преобразования магнитной энергии волны в тепловую энергию среды.

6.6. Плотность мощности стоячей волны

Выше показано, что изменение внутренней энергии среды 1 при изменении температуры на ΔT определяется формулой (6.3.2) при $s = 1$, т.е.

$$W_T = -D \cdot \Delta T. \quad (1)$$

Например, если в области электрической волны $\Delta T \approx -0.0001^{\square}$, то $W_T \approx 0.02 \text{ Дж/м}^3$. На величину энергии $|W_T|$ уменьшается энергия поля первоначально поляризованной среды. Таким образом, в результате притока тепла из внешней среды 2 происходит увеличение энергии среды 1 и уменьшение энергии электрического поля. В целом это эквивалентно преобразованию энергии волны в тепловую энергию.

Величина (1) без знака является плотностью энергии электрического поля и относится к временному периоду волны. Плотность мощности поля стоячей волны определяется в [9] как

$$P \approx -\omega W_T = \omega \cdot D \cdot \Delta T. \quad (1a)$$

Например, если в области электрической волны $\Delta T \approx -0.0001^{\square}$ и $\omega = 10^5$, то $W_T \approx 0.02 \text{ Дж/м}^3$ и $P \approx 2000 \text{ Вт/м}^3$.

7. Общая схема процесса преобразования энергии

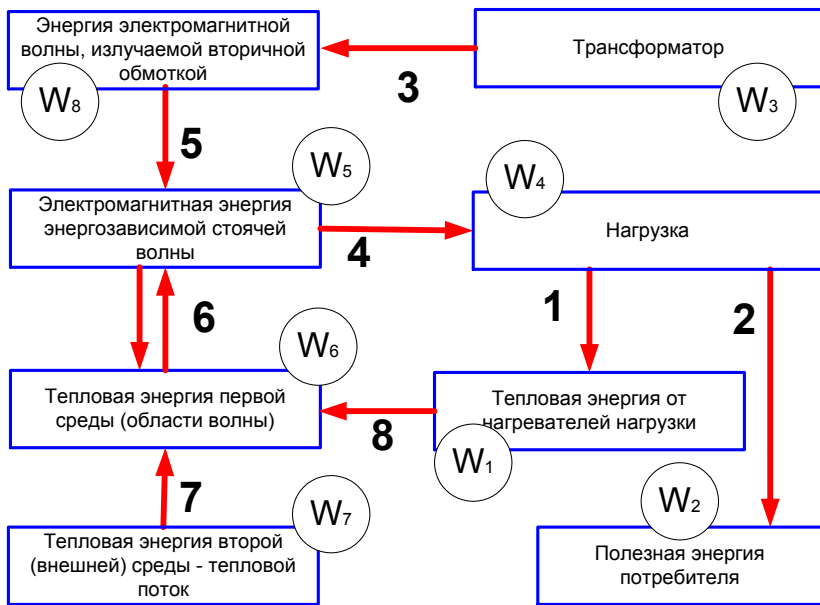


Рис. 16.

В [9] рассмотрены энергетические процессы в такой системе, где существует магнитная стоячая волна. Здесь мы рассмотрим энергетические процессы в такой системе, где существует электрическая стоячая волна, а именно, в системе с трансформатором Тесла.

На рис. 16 представлена схема преобразования энергии в системе. Энергия того или иного вида обозначается далее как \overline{W}_k , а объемная плотность энергии - как W_k . Преобразование энергии во времени характеризуется мощностью, передаваемой из одной части системы в другую. Обозначим полную мощность преобразования энергии \overline{W}_k как \overline{P}_k . Удельные (по объему или по массе) мощности обозначим как P_k . Стрелки на рис. 16 показывают направление потоков мощности. Далее в этом тексте поясняется смысл этих стрелок. В табл. 1 перечислены все эти компоненты.

Таблица 1.

k	Часть системы	Энергия W_k	Мощности P_k частей системы
1	Тепловая энергия от нагревателей потребителя	W_1	Мощность нагревателей нагрузки
2	Полезная энергия потребителя	W_2	Полезная мощность потребителя
3	Трансформатор	W_3	Мощность сети
4	Нагреватель	W_4	Мощность, потребляемая нагревателем
5	Стоячая волна	W_5	
6	Среда 1	W_6	
7	Среда 2	W_7	Мощность теплового потока из среды 2
8	Излучение вторичной обмотки	W_8	Мощность вторичной обмотки

8. Баланс энергии и мощности

Рассматривая рис. 16, замечаем, что в соответствии с законом сохранения энергии выполняются следующие соотношения. Среда 1 и волна обмениваются энергией в колебательном процессе, следовательно, средние за период энергия среды 1 и энергия волны равны между собой, т.е.

$$W_6 = W_5. \quad (1)$$

Мощность теплового потока изменяет энергию среды 1 и энергию волны, т.е.

$$\frac{d(\overline{W_5})}{dt} = \overline{P_7}. \quad (2)$$

Имеют место очевидные зависимости:

$$\overline{P_3} = \overline{P_8}. \quad (3)$$

$$\overline{P_5} = \overline{P_8} - \overline{P_4} + \overline{P_7} + \overline{P_1}. \quad (4)$$

Потребитель часть энергии использует с пользой для себя (энергия моторов, излучаемая для освещения энергия и т.д.) – будем называть

эту часть полезной энергии. Другая часть получаемой потребителем энергии тратится бесполезно для него – излучается в виде тепловой энергии, например, энергии осветительных приборов. Таким образом,

$$\overline{P_4} = \overline{P_1} + \overline{P_2}. \quad (5)$$

Из (4, 5) находим, что

$$\overline{P_5} = \overline{P_3} + \overline{P_7} - \overline{P_2}. \quad (6)$$

Если энергия электромагнитной волны остается постоянной, то

$$\overline{P_2} = \overline{P_3} + \overline{P_7}. \quad (7)$$

Таким образом, потребитель использует энергию трансформатора и внешней среды. Мощность трансформатора может быть существенно меньше мощности теплового потока. В этом случае он выступает в роли катализатора теплового потока, мощность которого используется потребителем.

Если потребителем является осветительная лампа, то большая часть ее мощности $\overline{P_1}$ расходуется на нагрев, а другая часть $\overline{P_2}$ – на освещение. При этом $\overline{P_2}$ составляет всего около 5% от полной мощности в лампах накаливания и около 10-15% - в люминесцентных лампах. Следовательно, применение трансформатора Тесла позволяет снизить потребление энергии на 95% - 85% даже в том случае, когда тепловой поток из внешней среды отсутствует. Этим объясняются эффектные эксперименты Капанадзе [20].

9. Обсуждение

Существование и распространение электрической стоячей волны (точнее, области ее существования), энергообмен между этой волной и воздухом позволяют объяснить многие феномены, описанные вначале. Далее будет использована их нумерация в разделе 1.

1. Именно это предположение Тесла и доказывает автор.
2. Это объяснено выше
3. Провод, прикрепленный к вторичной обмотке в точке 2, сохраняет потенциал (4.2) на всем своем протяжении, и, в т.ч., на противоположном конце – в точке 3. В окрестности точки 3 на некотором отдалении – в точках 4 и 5 потенциалы могут отличаться от (4.2). В зависимости от полярности потенциала в точке 3 потенциал в точке 4

(или 5) равен потенциалу в точке 3 (что определяется направлением включения диода). На другой точке 5 (или 4) потенциал не равен потенциалу в точке 3. Эта разность потенциалов и является напряжением на нагрузке вилки Авраменко. Отсюда следует, что провод может быть припаян к любой точке вторичной обмотки и даже может просто находиться рядом с ней.

4. Это объяснено выше.
5. Эти явления легко объясняются наличием постоянной разности потенциалов между любыми двумя точками в электрическом поле стоячей волны.
6. Этот факт использован при математическом доказательстве.
7. Этот факт, а также обилие и интенсивность стрингов легко объяснимо: продольное электрическое поле в воздухе создает каналы, где диполи воздуха ориентированы в одном направлении, и по этим направлениям проскакивают искры.
8. Видимо, электрическая стоячая волна как-то влияет на биологический организм, содержащий дипольные молекулы.
9. Это объясняется тем, что используется энергия электрической стоячей волны, восполняемая энергией воздуха. Отметим сразу же, что такие устройства должны быть крайне нестабильными из-за расхождения резонансных частот первичного и вторичного трансформаторов Тесла – подробнее см. в разделе 10.
10. Это объяснено выше.
11. Разность потенциалов присутствует непосредственно на клеммах измеряющего элемента. Другие элементы прибора, служащие только для согласования входного напряжения прибора со входным напряжением измеряющего элемента, не влияют на указанную разность потенциалов.

Итак, из предложенной теории следуют известные эффекты, а также эффекты, которые следует ожидать и которые могут подтвердить эту теорию (измерение волны, понижение температуры в области волны, увеличение объема волны с увеличением нагрузки).

Мгновенное значение напряженности рассматриваемой волны изменяется синусоидально во времени. При этом мгновенная энергия волны (пропорциональная квадрату напряженности) изменяется периодически от нуля до некоторого максимума.

Когда мгновенная энергия волны возрастает, мгновенная тепловая энергия среды 1 уменьшается из-за поляризации молекул воздуха. Таким образом происходит преобразование тепловой энергии в электрическую.

Когда мгновенная энергия волны убывает, мгновенная тепловая энергия среды 1 возрастает. Увеличение тепловой энергии среды 1 происходит за счет теплового потока из внешней среды 2, который деполяризует молекулы воздуха. Таким образом происходит преобразование электрической энергии в тепловую. Это возможно потому, что существует разность температур между средами 1 и 2.

Средняя плотность энергии среды пропорциональна ее температуре. Средняя плотность энергии среды 1 меньше средней плотности энергии среды 2 на величину, пропорциональную разности температур. Этой же величине равна средняя плотность электрической энергии волны.

Полная электрическая энергия волны (во всей области ее существования) равна энергии теплового потока – подобно тому, как в обычной электромагнитной волне магнитная энергия равна электрической энергии.

Энергия теплового потока из среды 2 может превышать электрическую энергию волны. Этот избыток энергии может расходоваться на

- расширение области существования волны (с определенной выше скоростью);
- восполнение энергии волны, если она частично преобразуется в другие виды энергии, например, в электрическую энергию катушки, внесенной в область волны.

В последнем случае волна ведет себя как тепловой насос. Важное отличие, однако, заключается в том, что для функционирования такого теплового насоса не требуется дополнительный источник энергии.

Изменяющаяся электрическая энергия волны в сумме с изменяющейся внутренней энергией воздуха удовлетворяют закону сохранения энергии. Условия выполнения этого закона и являются условиями существования данной волны. Следствием этого условия

оказывается понижение температура в области волны.

Энергозависимая электрическая волна продолжает существовать, поскольку эта волна обменивается энергией с окружающей средой, в которой эта волна существует. Скорость распространения волны для этого случая определена выше.

Мощность теплового потока \bar{Q} увеличивается до тех пор, пока эта мощность не станет равна мощности, передаваемой потребителям (и теряемой в процессе расширения области вследствие неизбежного поглощения средой энергии волны). Вместе с увеличением \bar{Q} увеличивается радиус R_{\max} и объем V области волны. Температура в некоторой точке области волны и связанная с ней амплитуда напряженности уменьшаются по мере удаления данной точки от катушки трансформатора радиусом R_0 [9].

Таким образом, волна распространяется в направлении вектора напряженности, а величина этого вектора (как амплитуда колеблющейся напряженности) уменьшается. Такой процесс характеризует продольную волну. Поэтому энергозависимая волна является продольной. Одновременно она остается стоячей, поскольку узлы волны не перемещаются (увеличивается их количество).

Заметим, что теория электромагнитных волн допускает существование продольных волн в среде (не в вакууме) и, в частности, существование электрических (без магнитной составляющей) продольных волн – см., например, [19, стр. 73].

Заметим еще, что существование стоячих электромагнитных волн также известно. В [12] указывается, что стоячие электромагнитные волны образуются вибраторами и некоторыми природными излучателями.

10. Трансформатор Тесла как бестопливный генератор энергии

Известны многочисленные описания экспериментов Тесла по передаче энергии и генерации энергии. Тем не менее, можно найти только один патент, относящийся к последней теме [22], и в нем нет упоминания о трансформаторах Тесла – они описываются в отдельных патентах [23-27]. Таким образом, (насколько известно автору) нельзя сослаться на патент Тесла по использованию трансформатора Тесла, как генератора энергии. Однако, некоторые

упоминают о собственных удачных экспериментах по генерации энергии с помощью трансформатора Тесла [15].

Трансформатор Тесла как генератор энергии в настоящее время, по-видимому, наиболее удачно применен в изобретениях Капанадзе [20], которые весьма обстоятельно проанализированы в [21]. Далее по материалам из [21] кратко рассматривается генератор Капанадзе для его анализа с позиций вышеизложенной теории.

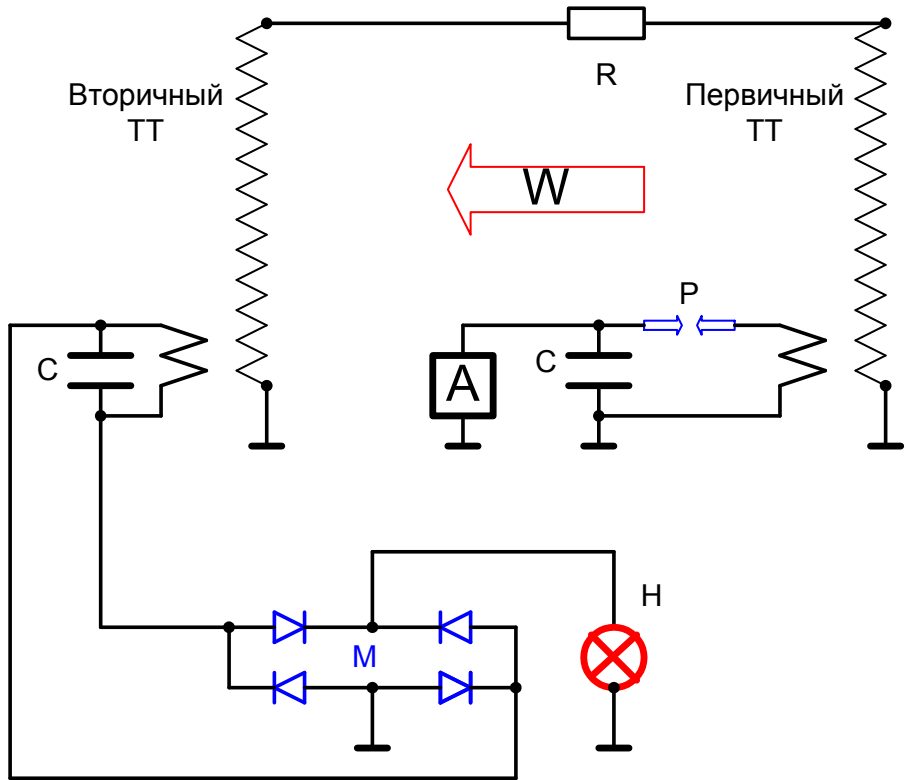


Рис. 17.

Генератор на основе трансформатора Тесла можно представить в упрощенном виде, изображенном на рис. 17

На вход первичного ТТ подается постоянный ток (от обычного источника тока А). Конденсатор С периодически разряжается через разрядник Р и во вторичной катушке первичного ТТ генерируется (как показано выше) электрическая стоячая волна. Область этой волны W расширяется и достигает вторичного ТТ. Энергия этой волны передается вторичному ТТ, который работает в режиме генератора тока. Генерируемый ток выпрямляется (выпрямителем

М) и подается на нагрузку Н (часть мощности нагрузки может быть использована вместо источника тока А). Важно отметить, что выходы вторичных катушек обоих трансформаторов соединены высокоомным проводом R (как и в опытах Авраменко). Поэтому потенциалы обеих катушек совпадают, а токи в обеих катушках практически отсутствуют.

Для функционирования устройства необходимо выполнение нескольких условий [21]:

1. внешняя среда должна доставлять энергию,
2. вторичный трансформатор должен генерировать ток при появлении потенциала на своей вторичной катушке.
3. резонансная частота обоих трансформаторов должна совпадать,

Первое условие в [21] объясняется существованием эфира. Но выше показано, что это условие выполняется благодаря тому, что электрическая стоячая волна существует и распространяется, обмениваясь энергией с воздухом.

Второе условие в [21] объясняется принципом обратимости. Следует добавить, что в нашем случае этот принцип "работает" благодаря тому, что на "вход" вторичного ТТ подается не только потенциал с первичного ТТ, но и стоячая волна, сохранившая свои характеристики в области вторичного ТТ. Действительно, если в первичном ТТ решается задача определения электрического потенциала и напряженностей электромагнитной волны при данном первичном токе в первичной катушке, то во вторичном ТТ должна решаться задача определения тока в первичной катушке при данных электрическом потенциале и напряженностях электромагнитной волны (а не только электрического потенциала). Напряженности оказываются данными, поскольку "пришли" вместе со стоячей волной. В разделе 4 указывалось, что трансформатор Тесла в целом описывается системой уравнений, связывающих переменные

$$I_1, E_r(r, \varphi, y), E_y(r, \varphi, y), E_\varphi(r, \varphi, y), \varphi'(r, \varphi, y).$$

В режиме генерации волны известен ток I_1 и вычисляются

$$E_r(r, \varphi, y), E_y(r, \varphi, y), E_\varphi(r, \varphi, y), \varphi'(r, \varphi, y),$$

а в режиме генерации тока I_1 эти величины являются известными.

Третье условие в [21] обсуждается очень подробно. Констатируется, что частота и фаза колебаний во вторичном ТТ не могут регулироваться и могут только измеряться, а частота и фаза колебаний в первичном ТТ должны настраиваться в резонанс с измеренными во вторичном ТТ. Показывается сложность технической реализации этого требования. Тесла добивался резонанса (как показывается в [21]) с помощью сложных механических контроллеров [28]. Капанадзе нашел решение с помощью электронных схем [20]. В [21] анализируется и обосновывается то решение, которое он нашел. Видимо, именно это решение не видят и не могут повторить другие изобретатели.

Рассмотрим баланс энергии в этой схеме, обозначив

W_a - энергия источника тока А,

W_c - энергия, накапливаемая конденсатором перед его разрядом,

W_1 - энергия, расходуемая в первичном трансформаторе на формирование волны,

W_2 - энергия, генерируемая вторичным трансформатором,

W_v - энергия стоячей волны, равная энергии теплового потока в область волны,

W_n - энергия нагрузки.

Предположительно (поскольку автор не проводил собственных экспериментов) изменение энергий можно представить (качественно) графиками, изображенными на рис. 18, где показаны графики изменения энергии конденсатора (первое окно), первичного трансформатора (второе окно), электрической волны (третье окно), а также обозначены периоды заряда конденсатора t_1 и разряда конденсатора t_2 . Имеем

$$\max W_1 = \max W_c.$$

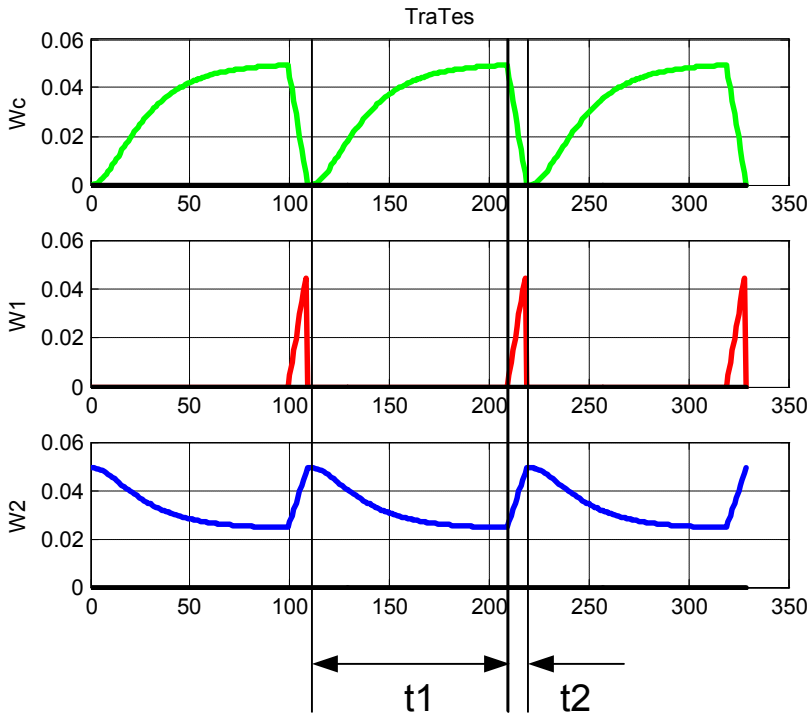


Рис. 18.

Плотность энергии волны в период заряда конденсатора t_1 увеличивается (вместе с увеличением напряженности волны) до некоторой величины $\max W_v$, а затем уменьшается в период разряда конденсатора t_2 до некоторой величины $\min W_v$ из-за неустойчивости тепловых процессов в области волны. Энергия W_2 генерируемая вторичным трансформатором, и равная ей энергия нагрузки $W_H = W_2$, составляют некоторую часть энергии волны. Будем полагать, что $W_H = W_2 = k \cdot W_v$, где W_v - некоторый коэффициент.

При этом функции токов (в другом масштабе времени) первичных катушек трансформаторов имеют вид, представленный на рис. 19, где i_1 , i_2 - токи первичного и вторичного трансформаторов соответственно.

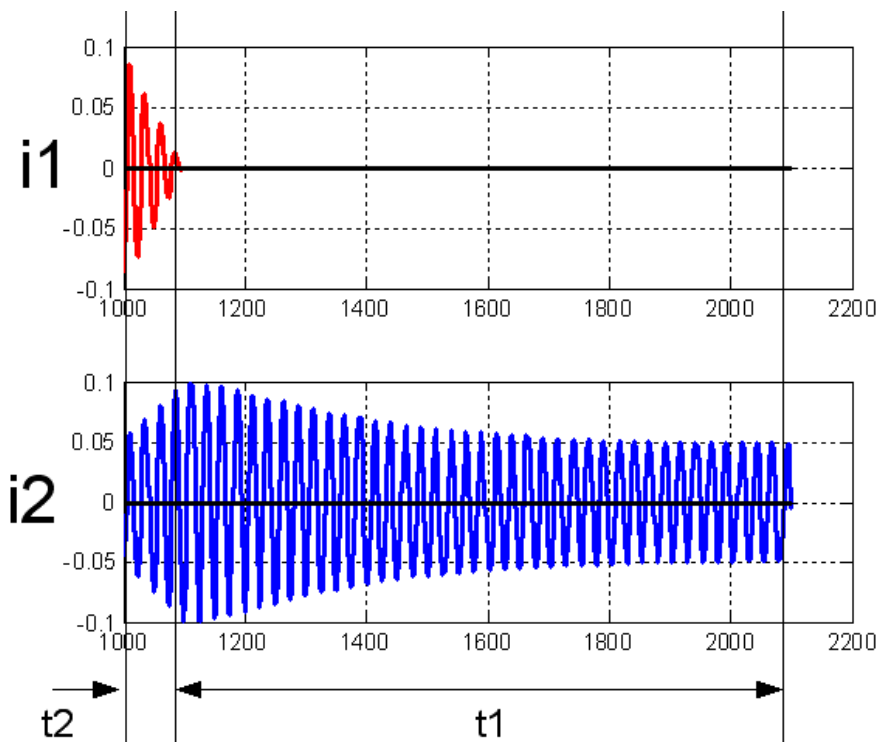


Рис. 19.

Известны многочисленные конструкции Дона Смита – см., например, [29]. Одна из них представляет собой трансформатор Тесла и несколько удаленных катушек Тесла, идентичных вторичной катушке трансформатора Тесла – см. рис. 20. В соответствии с вышеизложенным можно полагать, что (как и в предыдущем случае)

- первичная катушка трансформатора Тесла подключена к высокочастотному генератору и поэтому генерирует электрическую стоячую волну,
- энергия этой волны (восполняемая энергией теплового потока из окружающей среды) передается удаленным катушкам – их количество может быть любым,
- каждая удаленная катушка соединена с конденсатором, а весь контур через высоковольтные диоды подключен к нагрузке; таким образом, каждая такая схема работает в режиме генератора тока.

Как и в предыдущем случае, контур удаленной катушки должен быть настроен в резонанс с частотой трансформатора Тесла, т.е с

частотой волны. Однако у Дона Смита мы не видим сложных схем для настройки резонанса. Видимо, в установке Капаназе основным фактором дестабилизации частоты была взаимоиндуктивность вторичного трансформатора Тесла, определяемая характеристиками нестабильного воздушного промежутка между катушками. В конструкции Смита эта взаимоиндуктивность в контуре удаленной катушки отсутствует.



Рис. 20.

11. Передача энергии плоскими катушками Тесла

В [31, 32] описана технология передачи энергии на расстояние, которую авторы назвали "беспроводным электричеством" (WiTricity). В этой технологии используется передача энергии между плоскими катушками Тесла, что видно непосредственно из конструкции системы – см. рис. 21, где изображена одна из опытных установок. Авторы отмечают следующие качества технологии:

- малое к.п.д. передачи (от 40% до 95%),
- увеличение к.п.д. при увеличении нагрузки,
- передаваемая мощность – до 3 кВт,
- дальность передачи – несколько метров,
- высокая частота передающего магнитного поля,
- малая напряженность магнитного поля (магнитная индукция $\approx 3 \cdot 10^{-5} T$),
- связанная с этим безопасность пользователя,

- отношение площади передающей катушки к площади приемной катушки составляет около 15.

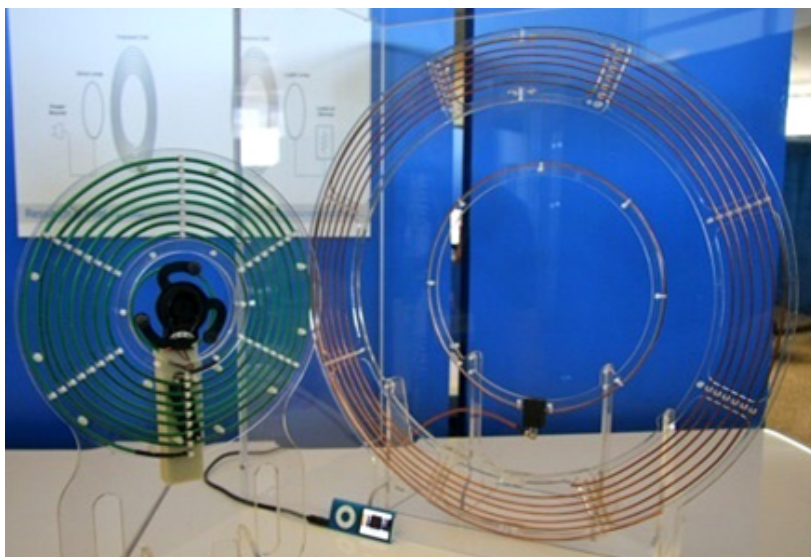


Рис. 21.

Авторы не находят объяснения некоторым качествам своей системы и, в частности, увеличению к.п.д. при увеличении нагрузки. Однако все эти качества легко объясняются, если принять во внимание вышеизложенное. В частности, увеличение к.п.д. при увеличении нагрузки объясняется тем, что приемные катушки также формируют стоячую волну и тем самым катализируют увеличение теплового потока из внешней среды.

Авторы не указывают силу тока в катушке, но ясно, что индукция магнитного поля может быть увеличена на два порядка. При этом к.п.д. может превысить 100%, т.е. энергия может извлекаться из окружающей среды. Подобные эксперименты можно встретить в Интернете – см., например, [34] и рис. 22.

Описываемая технология WiTricity использует плоские катушки, у которых напряженность стоячей магнитной волны не зависит от расстояния до плоскости катушки. Поэтому цилиндрические катушки, у которых напряженность стоячей магнитной волны гиперболически затухает в зависимости от расстояния до поверхности цилиндра, не могут быть использованы в этой технологии.



Рис. 22.

Однако две соосных цилиндрических катушки с малым зазором между ними могут передавать энергию друг другу. При этом зазор должен быть воздушным. Видимо, такая конструкция сможет извлекать энергию из окружающей среды.

Литература

1. Заев Н.Е. Сверхпроводники инженера Авраменко. "Техника - молодежи", №1, М., 1991.
2. Кулигин В.А., Корнева М.В., Кулигина Г.А., Большаков Г.П. Безинерциальные заряды и токи.
<http://www.n-t.ru/ac/iga/>
3. M. Lobo, G. Shipov, Tawatchai Laosirihongthong, Supakit Chotigo. Экспериментальное обнаружение скалярного электромагнитного поля. King Mongkut's University of Technology, Thonburi, Bangkok, 10140, Thailand. (в Интернете, файл 1032-MonopolE.pdf)
4. Заев Н.Е., Авраменко С.В., Лисин В.Н. Измерение тока проводимости, возбуждаемого поляризационным током.
<http://rusphysics.ru/dissertation/269/>
5. Форум "Революция в электроэнергетике: российские инженеры повторили установку Тесла?" №24, PVA (27 июня 2011 09:35),
<http://oko-planet.su/phenomen/phenomscience/page,1,1,72768-revoluciya-v-elektroenergetike-rossiyskie-inzhenery-sozdali.html#comment>
6. Хмельник С.И. Расчет статических электрических и магнитных полей на основе вариационного принципа. «Доклады

независимых авторов», изд. «DNA», printed in USA, Lulu Inc., ID 11744286. Россия-Израиль, 2011, вып. 19, ISBN 978-1-105-15373-0.

7. Гольдштейн Л.Д., Зернов Н.В. Электромагнитные поля и волны. Издание второе, переработанное и дополненное. Изд. "Советское радио", Москва, 1971. – 665 с.
8. Хмельник С.И. Вариационный принцип экстремума в электромеханических и электродинамических системах. Publisher by "MiC", printed in USA, Lulu Inc., ID 1769875, Израиль, 2008, ISBN 978-0-557-04837-3.
9. Хмельник С.И. Энергетические процессы в бестопливных генераторах, вторая редакция, Publisher by "MiC", printed in USA, Lulu Inc., ID 10060906, Израиль, 2011, ISBN 978-1-257-08919-2.
10. Роцин В.В., Годин С.М. Экспериментальное исследование физических эффектов в динамической магнитной системе. Письма в ЖТФ, 2000, том 26, вып. 24, <http://www.ioffe.rssi.ru/journals/pjtf/2000/24/p70-75.pdf>
11. Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. Справочник по физике, Москва, ФИЗМАТГИЗ, 1963.
12. Верин О.Г. Теория трансформатора Тесла. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10404.html>
13. Питер А. Линдеман. Секреты свободной энергии холодного электричества, Интернет
14. Косинов Н.В. Эксперименты по беспроводной передаче энергии: подтверждение революционных идей Н. Тесла. <http://kosinov.314159.ru/kosinov31.htm>
15. Катаргин Р.К. Наследие Теслы. http://forum.lah.ru/_fr/21/Tesla-Кар.pdf
16. А.А. Детлаф, Б.М. Яворский, Л.Б. Милковская. Курс физики, т.1, Электричество и магнетизм, издание четвертое, Москва, изд. "Высшая школа", 1977.
17. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. М.: Физматлит, 2003.
18. Исаев С.И., Кожинов И.А. и др. Теория теплообмена. М., «Высшая школа», 1979 г., 495 стр.
19. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. Москва, изд. "Наука", 1979.
20. Т. Karanadze. Energy Transformer, WO 2008/103130, 2008. См. также "Бестопливный генератор Капанадзе", Интернет.

21. Царев В.А. Установка Таризэля Капанадзе (реконструкция), <http://halerman.narod.ru/TTTCG/Kapanadze.htm>
22. Nicola Tesla. Art of transmitting electrical energy through the natural mediums. USPO, 1905, Patent 787,412 (перевод Царева В.А. см. http://halerman.narod.ru/Tesla/Patent_0787412.doc).
23. Nicola Tesla. Method of regulating apparatus for producing currents of high frequency. USPO, 1896, Patent 568,178.
24. Nicola Tesla. Method of and apparatus for producing currents of high frequency. USPO, 1896, Patent 568,179.
25. Nicola Tesla. Apparatus for producing electrical currents of high frequency. USPO, 1896, Patent 568,180.
26. Nicola Tesla. Apparatus for producing electric currents of high frequency. USPO, 1897, Patent 577,670.
27. Nicola Tesla. Apparatus for producing currents of high frequency. USPO, 1897, Patent 583,953.
28. Nicola Tesla. Electric-circuit Controller. USPO, 1898, Patents 613,735; 611,719; 609,251; 609,248; 609,247; 609,249; 609,245; 609,246.
29. Donald L. Smith. Resonanse Energy Method, 2002, <http://www.free-energy-info.co.uk/Smith.pdf>
30. Практическое руководство по устройствам свободной энергии, <http://zaryad.com/2011/02/27/prakticheskoe-rukovodstvo-po-ustroys/>
31. Беспроводное электричество поразило своих создателей, <http://www.membrana.ru/particle/1986>
32. André Kurs, Robert Moffatt, and Marin Soljačić. Simultaneous mid-range power transfer to multiple devices. Appl. Phys. Lett. 96, 044102 (2010), http://apl.aip.org/resource/1/applab/v96/i4/p044102_s1?isAuthorized=no
33. Схема простейшего Трансформатора Тесла, <http://shemalog.narod.ru/pn2.html>
34. Плоская катушка Тесла, <http://www.youtube.com/watch?v=444j9N3G--U>