

К РАСЧЕТУ ТЕСЛОВСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ

Пентегов И.В., д.т.н., проф.

Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины
ул. Боженко, 11, Киев-150, 03680, Украина
тел. +38(044) 287-23-88, e-mail: penteg@i.com.ua

Волков И.В., д.т.н., чл.-корр. НАНУ.

Институт электродинамики НАН Украины
пр. Победы, 56, г. Киев-57, 03680, Украина
тел. +38(044) 456-20-51, e-mail: volk@elan-ua.net

Приступа А.Л., аспирант

Черниговский государственный технологический университет
ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14000, Украина
тел. +38(04622) 3-22-99, e-mail: wireless_energy@dytynets.net.ua

Запропонована нова схема передачі енергії без проводів за допомогою теслівських процесів. Для даної схеми отримані основні формули для розрахунку процесу передачі енергії, розглянуті деякі особливості застосування даної схеми для підзарядки акумуляторів побутових електронних пристроїв.

Предложена новая схема передачи энергии без проводов при помощи тесловских процессов. Для данной схемы определены основные формулы для расчета процесса передачи энергии, затронуты некоторые особенности применения данной схемы для подзарядки аккумуляторов бытовых электронных устройств.

ВВЕДЕНИЕ

10 июня 2006 года во всем мире отмечалось 150 лет со дня рождения великого сербского ученого Николы Тесла. Из всего многообразия открытий, совершенных этим гением, одним из самых удивительных и непонятных является его система и процесс передачи энергии. Опыты по однопроводной и беспроводной передаче энергии, проведенные Николой Тесла в конце XIX века, и сегодня будоражат умы многих людей. Несмотря на колоссальный скачок в развитии науки и техники в XX веке эти опыты долгое время никто не мог не только объяснить, но и повторить. Во второй половине XX века были проведены опыты по однопроводной передаче энергии при помощи тесловских процессов, по схеме, предложенной С.В. Авраменко и известной в последствии как "вилка Авраменко" [1-2]. Подвести теорию под полученные результаты однопроводного процесса передачи энергии удалось позже в работах [3-6].

Дальнейшее развитие теории тесловских процессов сосредоточено на процессе беспроводной передачи энергии. В работах [7-8] были получены определенные результаты в этом направлении. Данная статья является продолжением развития теории тесловских процессов при беспроводной передаче энергии.

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕСЛОВСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ

В работах [7-8] была показана принципиальная возможность использования тесловских процессов для беспроводной передачи энергии. Одной из возможных областей применения тесловских процессов является беспроводная подзарядка аккумуляторов

бытовых электронных устройств. Как следует из данных статей для эффективной беспроводной передачи энергии при помощи тесловских процессов необходимо использовать резонансную индуктивность в нагрузке. Это позволяет значительно увеличить передаваемую мощность.

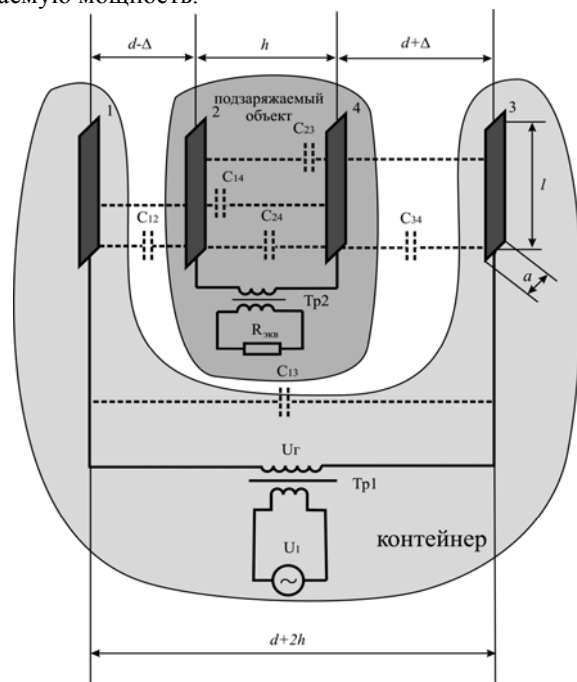


Рис. 1

Однако с использованием резонансной индуктивности возникает проблема ограничения перенапряжений на этой индуктивности, которые в области резонанса могут достигать недопустимых величин.

Для уменьшения перенапряжений на резонансной индуктивности необходимо выбирать рабочую точку вне резонансной области.

Другим вариантом уменьшения перенапряжений на резонансной индуктивности является применение согласующего высокочастотного трансформатора. Схема передачи энергии в этом случае будет иметь вид, показанный на рис. 1.

Данную схему можно использовать, например, для подзарядки аккумуляторов портативных бытовых электронных устройств.

Для питания необходим высокочастотный инвертор, который вырабатывает переменное напряжение U_1 . Частота инвертора может находиться в диапазоне от 20 кГц до 1 МГц, при этих частотах обеспечивается наибольшая эффективность тесловских процессов [3-6]. Реальные значения реактивных элементов схемы могут отличаться от расчетных, поэтому для повышения эффективности процесса лучше использовать инвертор с подстройкой частоты. Это позволит подстроить резонансную частоту под конкретные параметры схемы, увеличив тем самым эффективность процессов. Для питания нагрузки используется высокочастотный трансформатор Тр1. Его необходимость объясняется тем, что для эффективного прохождения тесловских процессов, необходимо высоковольтное высокочастотное электрическое поле. Для согласования параметров нагрузки и источника используется высокочастотный трансформатор Тр2.

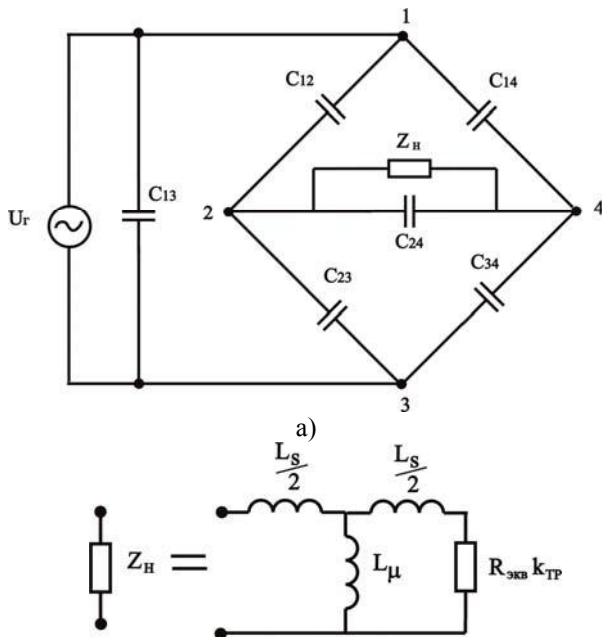


Рис. 2

Передача энергии от источника к нагрузке происходит токами смещения через частичные емкости C_{12} , C_{34} , C_{14} , C_{23} и C_{24} между антеннами. В качестве антенн в данной схеме целесообразно использовать ленточные проводники длиной l и шириной a , расположенные параллельно друг другу. Применение ленточных антенн увеличивает частичные емкости между этими антеннами, по сравнению с проволочными антеннами, рассмотренными в [8], а, следовательно,

увеличивает и ток нагрузки. Эквивалентная схема передачи энергии при этом представляет собой неуровновешенную мостовую схему, показанную на рис. 2.

Частичные емкости C_{12} , C_{34} , C_{13} , C_{24} , C_{23} и C_{14} рассчитываются согласно формулам [9]. При расчете будем учитывать, что заряжаемый объект может находиться в контейнере для зарядки не строго по центру, а может быть смещен на величину Δ .

При $l/(d-\Delta) > 0,25$

$$C_{12} \approx \varepsilon \cdot l \frac{a}{(d-\Delta)} + 0.5 \cdot C_0, \quad (1)$$

$$C_{13} \approx \varepsilon \cdot l \frac{a}{(h+2 \cdot d)} + 0.5 \cdot C_0, \quad (2)$$

$$C_{14} \approx \varepsilon \cdot l \frac{a}{(d-\Delta+h)} + 0.5 \cdot C_0, \quad (3)$$

$$C_{23} \approx \varepsilon \cdot l \frac{a}{(d+\Delta+h)} + 0.5 \cdot C_0, \quad (4)$$

$$C_{24} \approx \varepsilon \cdot l \frac{a}{h} + 0.5 \cdot C_0, \quad (5)$$

$$C_{34} \approx \varepsilon \cdot l \frac{a}{(d+\Delta)} + 0.5 \cdot C_0, \quad (6)$$

при $l/(d-\Delta) \leq 0,25$

$$C_{12} \approx \frac{C_0}{2 - \frac{C_0}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot (d-\Delta)}}, \quad (7)$$

$$C_{13} \approx \frac{C_0}{2 - \frac{C_0}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot (h+2 \cdot d)}}, \quad (8)$$

$$C_{14} \approx \frac{C_0}{2 - \frac{C_0}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot (d-\Delta+h)}}, \quad (9)$$

$$C_{23} \approx \frac{C_0}{2 - \frac{C_0}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot (d+\Delta+h)}}, \quad (10)$$

$$C_{24} \approx \frac{C_0}{2 - \frac{C_0}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot h}}, \quad (11)$$

$$C_{34} \approx \frac{C_0}{2 - \frac{C_0}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot (d+\Delta)}}, \quad (12)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость среды, h – расстояние между антеннами 2 и 4, d – расстояние между антеннами 1 и 2, а также между антеннами 3 и 4, при расположении заряжаемого объекта строго по центру контейнера, C_0 – емкость уединенной прямоугольной пластины, которая рассчитывается по формулам:

при $l/a \geq 8$

$$C_0 \approx \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot l}{\ln\left(2,4 \cdot \frac{l}{a}\right)}, \quad (13)$$

при $l/a < 8$

$$C_0 \approx \frac{8 \cdot \varepsilon \cdot l}{\frac{l}{a} \cdot \operatorname{arcsch} \frac{a}{l} + \operatorname{arcsch} \frac{l}{a}}, \quad (14)$$

Используя метод эквивалентного генератора, рассчитаем процессы в рассматриваемой схеме.

В случае, когда внутренним сопротивлением инвертора и трансформатора Тр1 можно пренебречь, напряжение на ветви 24 определяется по формуле [10]

$$U_{24} = U_{\Gamma} \left(\frac{Z_4}{Z_3 + Z_4} - \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \right), \quad (15)$$

$$\text{где } Z_1 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{14}} \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{34}} \quad (16)$$

$$Z_3 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{23}} \quad Z_4 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{12}}$$

Ток в ветви 24 равняется

$$I_{24} = \frac{U_{24}}{\left(Z_{24} + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + \frac{Z_3 \cdot Z_4}{Z_3 + Z_4} \right)}, \quad (17)$$

где сопротивление ветви 24 и нагрузки, приведенное к первичной обмотке согласующего трансформатора Тр2, определяются по формулам

$$Z_{24} = \left(\frac{1}{Z_H} + j\omega \cdot C_{24} \right)^{-1}$$

$$Z_H = \frac{j\omega \cdot L_S}{2} + \frac{j\omega \cdot L_{\mu} \cdot \left(\frac{j\omega \cdot L_S}{2} + R_{\text{эКВ}} \cdot k_{\text{ТР}}^2 \right)}{j\omega \cdot L_{\mu} + \frac{j\omega \cdot L_S}{2} + R_{\text{эКВ}} \cdot k_{\text{ТР}}^2}, \quad (18)$$

где L_S , L_{μ} – индуктивность рассеивания и индуктивность ветви намагничивания, приведенные к первичной обмотке согласующего трансформатора Тр2, представленного в расчетах Т-образной схемой замещения; $k_{\text{ТР}}$ – коэффициент трансформации согласующего трансформатора, $R_{\text{эКВ}}$ – эквивалентное сопротивление нагрузки, определяемое отношением напряжения зарядки аккумулятора к току зарядки.

После некоторых преобразований ток нагрузки определяется выражением

$$I_H = \frac{I_{24} \cdot \left(Z_H - \frac{j\omega \cdot L_S}{2} \right) \cdot k_{\text{ТР}}}{(1 + Z_H \cdot j\omega \cdot C_{24}) \cdot \left(R_{\text{эКВ}} \cdot k_{\text{ТР}}^2 + \frac{j\omega \cdot L_S}{2} \right)}. \quad (19)$$

Напряжение нагрузки соответственно

$$U_H = R_{\text{эКВ}} \cdot I_H. \quad (20)$$

Полученные формулы дают возможность изучить зависимости энергетических параметров нагрузки от параметров схемы и выбрать требуемый режим.

Приведем некоторые характеристики процесса бесконтактной подзарядки аккумулятора, связанные с особенностями применения согласующего трансформатора. Введение согласующего трансформатора Тр2 позволяет увеличить ток нагрузки, уменьшив при этом перенапряжения на резонансной индуктивности. Так если в [8] для получения тока 400 мА требовалось выдерживать перенапряжения на резонансной индук-

тивности порядка сотен киловольт, то введение согласующего трансформатора позволяет снизить его до 1 кВ (рис. 3). Параметры схемы при этом: напряжение генератора $U_{\Gamma}=3000$ В, частота генератора $f=200$ кГц, ширина антенн $a=1$ см, длина антенн $l=15$ см, сопротивление нагрузки $R_{\text{эКВ}}=10$ Ом; параметры согласующего трансформатора, приведенные к первичной обмотке – $L_S=215$ мГн, $L_{\mu}=700$ мГн, коэффициент трансформации $k_{\text{ТР}}=65$.

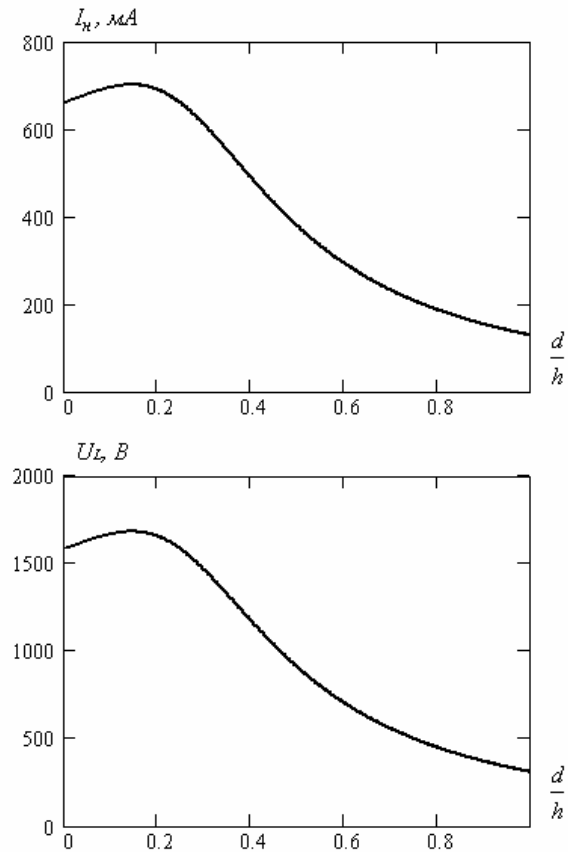
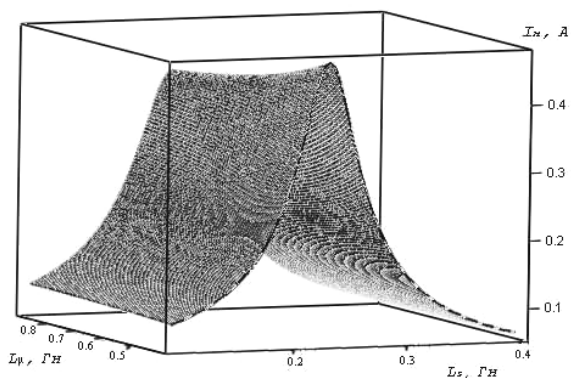


Рис.3

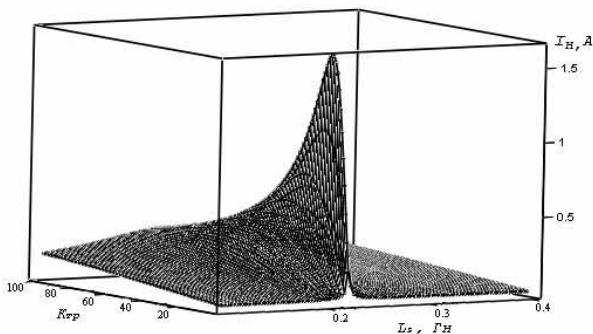
С ростом d/h после прохождения резонанса ($d/h > 0.5$) ток нагрузки уменьшается пропорционально $(d/h)^{-1.8}$, что обусловлено выравниванием плеч неравновесного моста с ростом d/h .

Следует отметить, что применение согласующего трансформатора накладывает дополнительные требования к настройке схемы так как параметры трансформатора очень сильно влияют на резонансные свойства схемы (рис. 4).

Как видно из рис. 4,а, величина L_{μ} практически не влияет на форму тока и его максимальное значение, а величина L_S оказывает сильное влияние. Индуктивность рассеивания трансформатора образует резонансный контур с частичными емкостями среды между антеннами, которые зависят от геометрических параметров антенн, их взаимного расположения, непосредственно параметров самой среды передачи, поэтому при выборе рабочей точки в области резонанса необходимо большое внимание уделять индуктивности рассеивания согласующего трансформатора.



а)



б)

Рис. 4. Зависимость тока нагрузки от параметров согласующего трансформатора

Величина коэффициента трансформации согласующего трансформатора также значительно влияет на форму тока (рис. 4,б). При увеличении коэффициента трансформации добротность резонансного контура уменьшается, равно как и максимальное значение тока. Поэтому при выборе рабочей точки, в зависимости от назначения схемы, необходимо использовать очень точную настройку параметров схемы в целом при работе в области резонанса с малым коэффициентом трансформации согласующего трансформатора; либо же увеличивая коэффициент трансформации, при необходимости получения меньших токов, можно несколько снизить требования к точности подбора параметров схемы. В любом случае для каждого конкретного случая необходимо после предварительного расчета производить дополнительную настройку системы ввиду сложной взаимосвязи многих параметров.

ВЫВОДЫ

Предложена новая схема передачи энергии без проводов при помощи тесловских процессов с согласующим трансформатором.

Для данной схемы определены основные формулы для расчета процесса передачи энергии, рассмотрены некоторые особенности применения данной схемы для подзарядки аккумуляторов бытовых электронных устройств.

Данная статья затрагивает лишь некоторые вопросы, касающиеся передачи энергии без проводов на небольшие расстояния при помощи тесловских процессов и является очередным шагом в построении теории тесловских процессов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Заев Н.Е., Авраменко С.В., Лисин В.Н. Измерение тока проводимости, возбуждаемого поляризационным током // Журнал русской физической мысли. – 1991. – № 2. – С. 68-81.
- [2] Ермуратский П.В. Крах нового "сверхпроводника" или конденсаторы вокруг нас. // Наука и жизнь. – 1992. – № 5-6. – С. 88-92
- [3] Пентегов И.В. К теории тесловских процессов зарядки емкостных накопителей энергии // Электричество. – 1996. – №6. – С. 42-47.
- [4] Волков И.В., Пентегов И.В. Тесловские процессы в высоковольтных высокочастотных электрических цепях // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". – 2000. – Ч 1. – С. 7-11.
- [5] Пентегов И.В., Волков И.В. Тесловские процессы при работе схемы Латура на омическую нагрузку // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка і енергоефективність". – 2000. – Ч. 1. – С. 13-18.
- [6] Физические особенности тесловских процессов и их зависимость от диэлектрической проницаемости окружающей среды / Пентегов И.В., Стемковский Е.П., Шейковский Д.А., Волков И.В., Закревский И.С. // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". Ч. 3. – 2000. – С. 3-6.
- [7] Пентегов И.В., Приступа А.Л. О возможности беспроводной передачи энергии с помощью тесловских процессов // Техническая электродинамика. – 2005. – № 3. – С. 11-15.
- [8] Пентегов И.В., Волков И.В., Приступа А.Л. Применение тесловских процессов для бесконтактного заряда аккумуляторов бытовых электрических устройств // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". Ч. 2. – 2006. – С. 16-21.
- [9] Иосель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г. Расчет электрической ёмкости. – Л.: Энергоиздат, 1981 – 288 с.
- [10] Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т. I. Ч. II. – М.; Л.: Энергия, 1966.

Поступила 29.08.2006