

**Министерство энергетики РФ**

**Институт энергетической стратегии**

**РЕЗОНАНСНЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**Д.С. Стребков, академик РАСХН, д. т.н., профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ.  
Всероссийский научно – исследовательский институт  
электрификации сельского хозяйства  
109456, Москва, 1-й Вешняковский проезд,2  
E-mail: viesh@dol.ru**

Москва, 24 марта 2011г.

# Три главные проблемы современной электроэнергетики

---

- создание сверхдальних линий передач с низкими потерями без использования технологии сверхпроводимости;
- увеличение пропускной способности линий;
- замена воздушных линий на кабельные однопроводниковые волноводные линии и снижение сечения токонесущей жилы кабеля в 20-50 раз.

- 
- Современные системы передачи электрической энергии используют двух- и трехпроводные линии, в которых электрическая энергия передается от генератора к приемнику бегущими волнами тока, напряжения и электромагнитного поля. Основные потери обусловлены джоулевыми потерями на сопротивлении проводов от протекания активного тока проводимости по замкнутому контуру от генератора к приемнику и обратно.
  - Крупные энергетические компании во многих странах мира вкладывают гигантские средства и научные ресурсы в создание технологии высокотемпературной сверхпроводимости для снижения джоулевых потерь в линии.
-

---

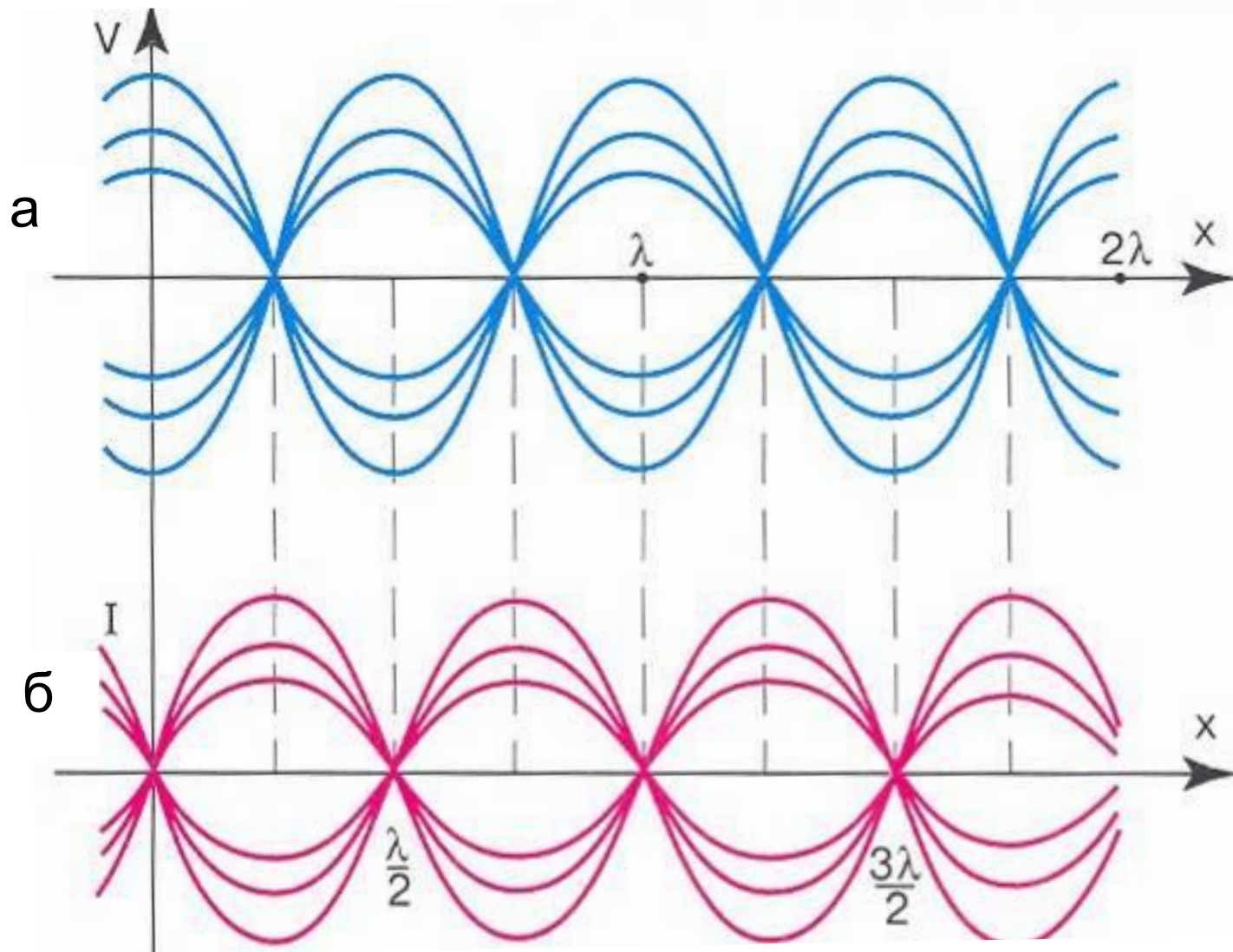
Существует другой, вероятно, более эффективный способ снижения потерь:

- разработать регулируемые резонансные волноводные системы передачи электрической энергии на повышенной частоте 1-100 кГц, которые не используют активный ток проводимости в замкнутой цепи.
-

В волноводной однопроводниковой линии нет замкнутого контура, нет бегущих волн тока и напряжения, а есть стоячие (стационарные) волны реактивного емкостного тока и напряжения со сдвигом фаз  $90^\circ$ . За счет настройки резонансных режимов, выбора частоты тока в зависимости от длины линии можно создать в линии режим пучности напряжения и узла тока (например, для полуволновой линии). высокотемпературной проводимости, а джоулевы потери становятся незначительными в связи с отсутствием замкнутых активных токов проводимости в линии и незначительными величинами незамкнутого При этом из-за отсутствия активного тока, сдвига фаз между стоячими волнами реактивного тока и напряжения  $90^\circ$  и наличия узла тока в линии отпадает необходимость и потребность в создании в такой линии режима емкостного тока вблизи узлов стационарных волн тока в линии.

# Механизм передачи энергии

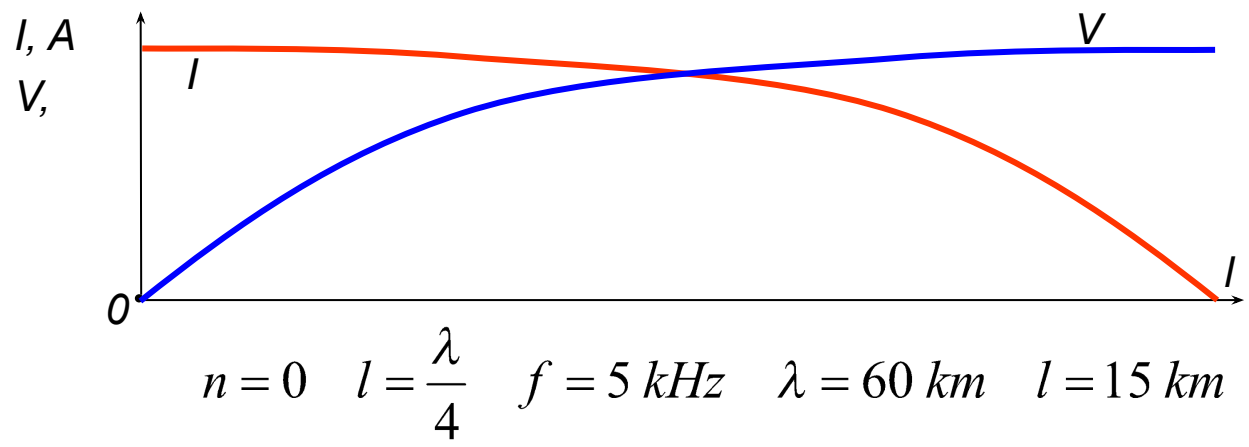
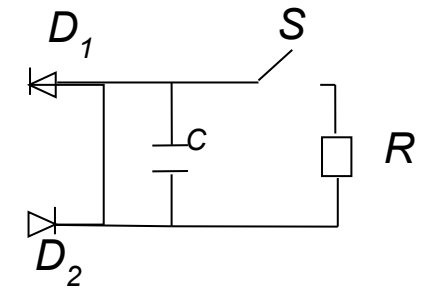
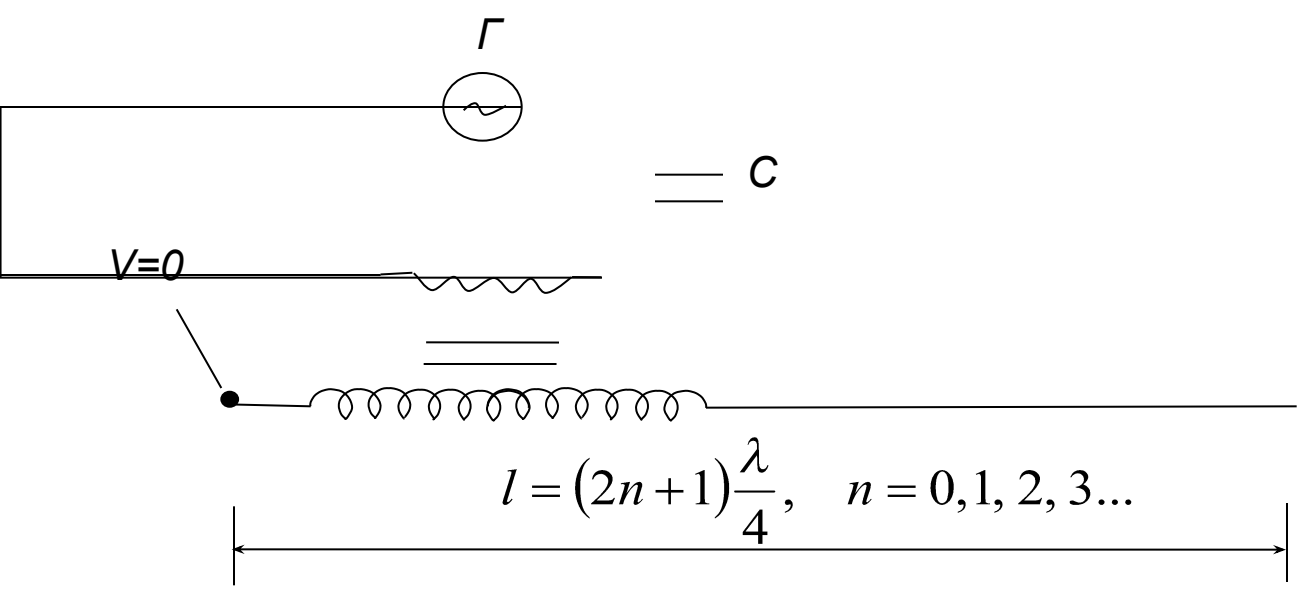
- Изменяется и механизм передачи электрической энергии. В обычных двух-трехпроводных линиях при включении генератора в линии возникают бегущие волны тока, которые должны достигнуть нагрузки и вернуться к генератору. В резонансной однопроводниковой волноводной линии при наличии стационарных волн незамкнутого электрического тока электрическая энергия присутствует в любой точке линии.



Стоячие волны напряжения и тока  
в разомкнутой линии.

Стоячие волны в разомкнутой линии получаются в результате сложения падающей и отраженной волн, имеющих одинаковую амплитуду. Фаза напряжения и тока во всех сечениях линии одинакова, а между током и напряжением существует сдвиг по фазе на  $90^{\circ}$  во времени и в пространстве. В сечениях линии с пучностями напряжения наблюдаются узлы тока, а при узлах напряжения наблюдаются пучности тока. Средняя мощность, отдаваемая генератором в разомкнутую линию без потерь или в линию, замкнутую на реактивное сопротивление, равна нулю.





**(а) Электрическая схема, (б) Распределение токов и напряжений**  
 в четвертьволновой однопроводниковой резонансной линии, разомкнутой со  
 стороны нагрузки (или с нагрузкой в виде ёмкости)

Γ- генератор, С – ёмкость резонансного контура,  $D_1$  и  $D_2$  – диодный блок,  
 $C_H$  - ёмкость нагрузки, К- электронный ключ,  $R_H$  – сопротивление нагрузки

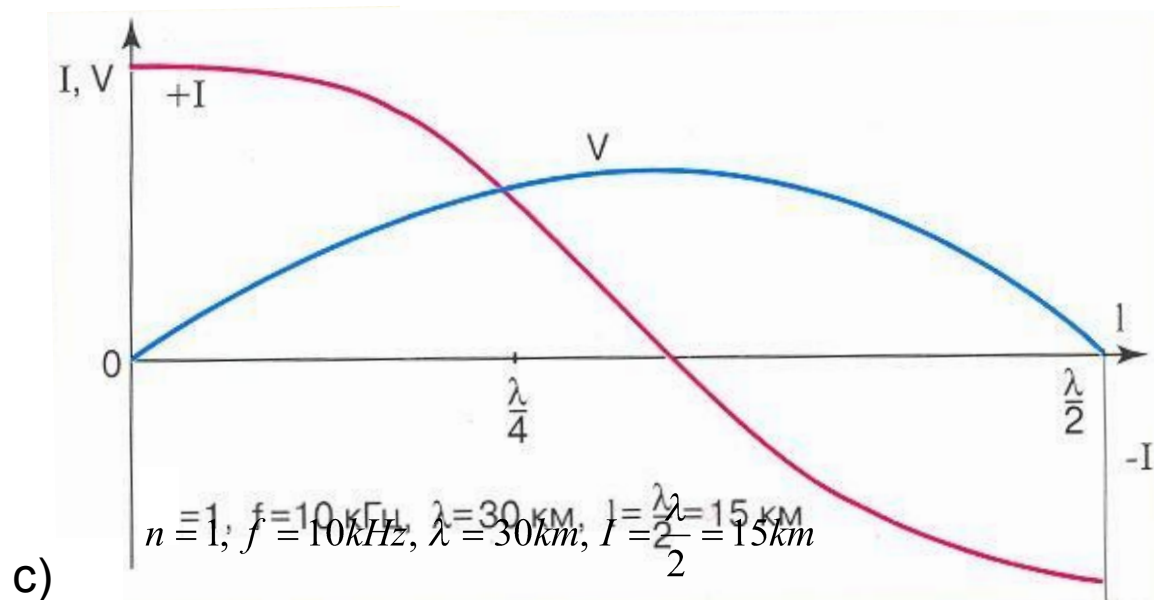
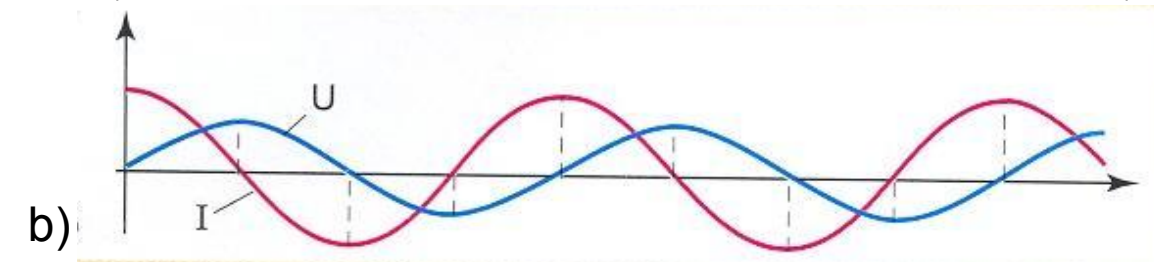
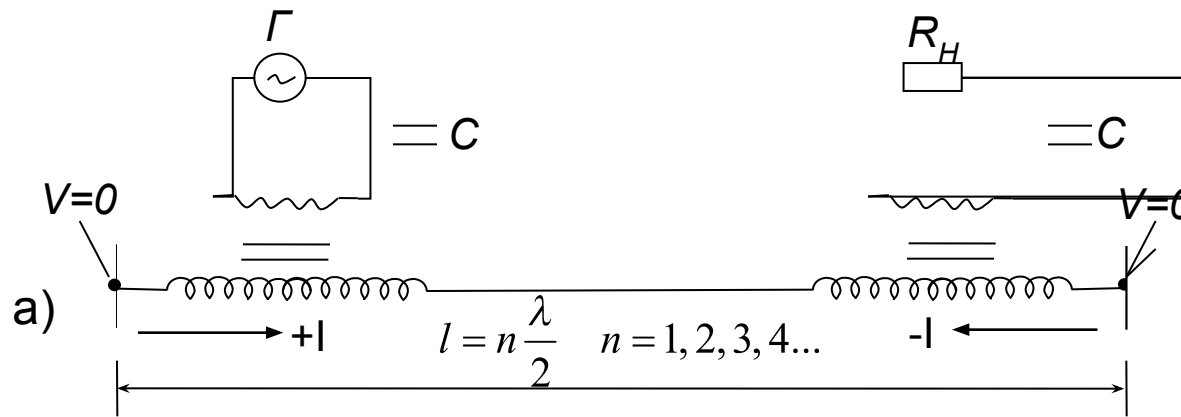
Разомкнутая линия длиной  $l = (2n + 1) \frac{\lambda}{4}$   
 $n = 0, 1, 2, 3 \dots$

имеет у зажимов генератора пучность тока и узел напряжения, а при длине  $l = n \cdot \frac{\pi}{2}$

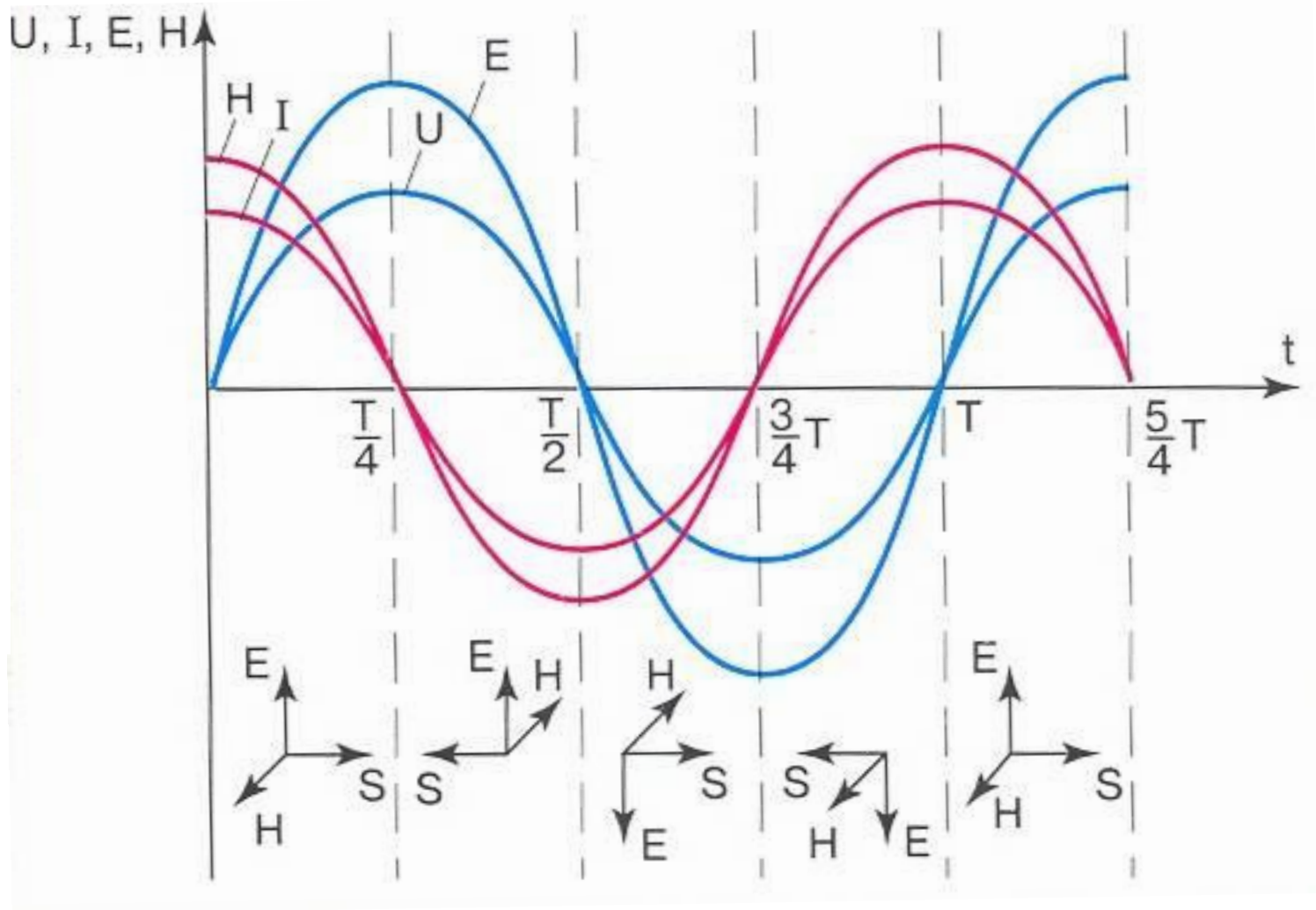
пучность напряжения и узел тока. В обоих случаях линия эквивалентна резонансному колебательному контуру.

Если линия работает в режиме стоячих волн, то ее входное сопротивление имеет реактивный характер. Если в линии имеются потери, то некоторая бегущая волна от генератора компенсирует эти потери. При наличии бегущих и стоячих волн в линии ее входное сопротивление содержит активную и реактивную составляющие.

# Распределение токов и напряжений в однопроводниковой линии, замкнутой с двух сторон на землю




- а) электрическая схема**  
*( $\Gamma$  - высокочастотный генератор,  $R_H$  - сопротивление нагрузки,  $C$  - ёмкость резонансного контура)*
- б) распределение стоячих волн тока и напряжения вдоль однопроводниковой линии**
- в) распределение токов и напряжений в полуволновой однопроводниковой линии**



**Направление вектора Умова-Пойнтинга  $\vec{S}$   
в случае работы линии в режиме стоячих волн.**

**$I, H$  – волны тока и напряженности магнитного поля  
 $U, E$  – волны напряжения и напряженности электрического поля**



---

Впервые передачу электроэнергии по однопроводниковой линии на повышенной частоте предложил и осуществил Н.Тесла более 100 лет назад. 10 июля 2006 года мировое электротехническое сообщество отметило 150 ление со дня рождения Н. Тесла.

## электротехники и электроэнергетики.

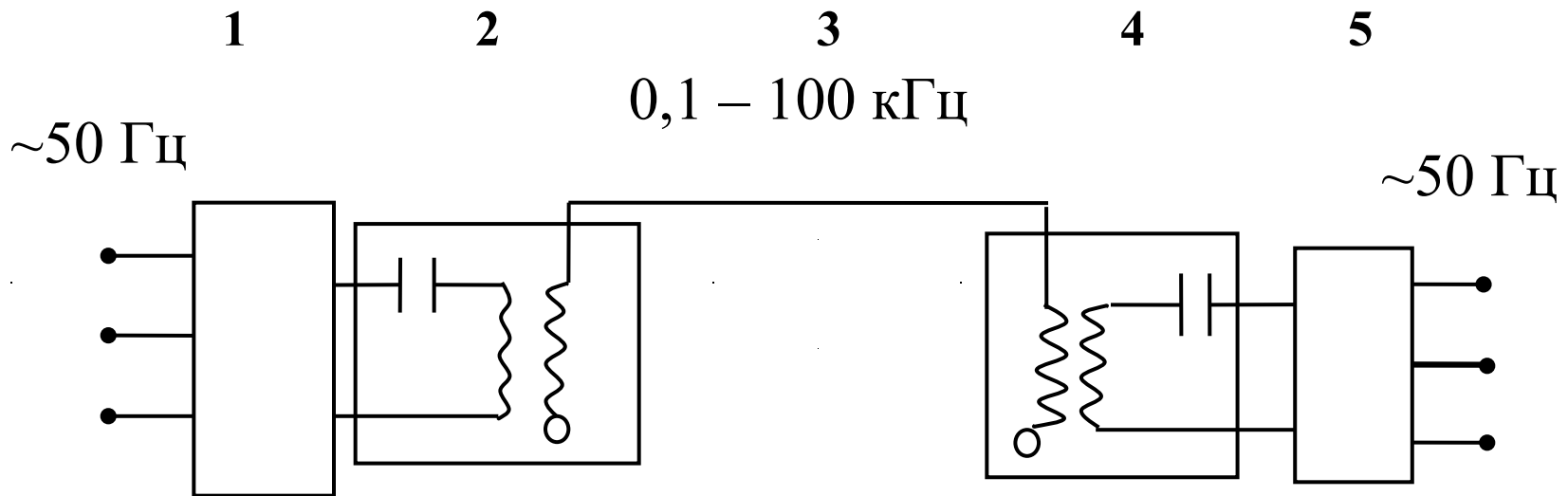
- «Исключительная трудность согласования законов электромагнетизма с существованием незамкнутых электрических токов – одна из причин среди многих, почему мы должны допустить существование токов, создаваемых изменением смещения». *Д. Максвелл.*
- «В 1893 г. я показал, что нет необходимости использовать два проводника для передачи электрической энергии... Передача энергии через одиночный проводник без возврата была обоснована практически» *Н. Тесла, 1927 г.*
- «Эффективность передачи может быть 96 или 97 процентов, и практически нет потерь... Когда нет приемника, нет нигде потребления энергии» *Н. Тесла, 1917 г.*
- «Мои эксперименты показали, что на поддержание электрических колебаний по всей планете потребуются несколько лошадиных сил». *Н. Тесла, 1905 г.*
- Н. Тесла ответил и на вопрос, который часто задают нам: почему электроэнергетика не восприняла его идеи? «Мой проект сдерживался законами природы. Мир не был готов к нему. Он слишком обогнал время. Но те же самые законы восторжествуют в конце и осуществят его с великим триумфом». *Н. Тесла, 1919 г.*

# Основы резонансной электроэнергетики

---

- Для протекания тока не обязательно иметь замкнутую цепь из двух проводников между генератором и нагрузкой.
- Ток может протекать по однопроводной линии, так же, как вода по трубе из верхнего бассейна перетекает в нижний, или как теплота от горячего конца теплопроводящего бруска движется к холодному концу. Впервые В. Томсон указал на аналогию между теплопроводностью и электростатикой, а Д. Максвелл на аналогию между гидродинамикой и электродинамикой.
- В однослойной катушке с проводом фазовая скорость движения электромагнитной волны вдоль оси катушки может быть в сотни раз меньше, чем в воздушной линии электропередачи или скорости света в свободном пространстве.
- Ток изменяется по длине линии в разных витках катушки и в разных частях однопроводниковой линии и может иметь любые локальные значения, в том числе и равные нулю. Более того, в разных участках однопроводной цепи ток может быть направлен в противоположные стороны.

# Резонансная система передачи электрической энергии



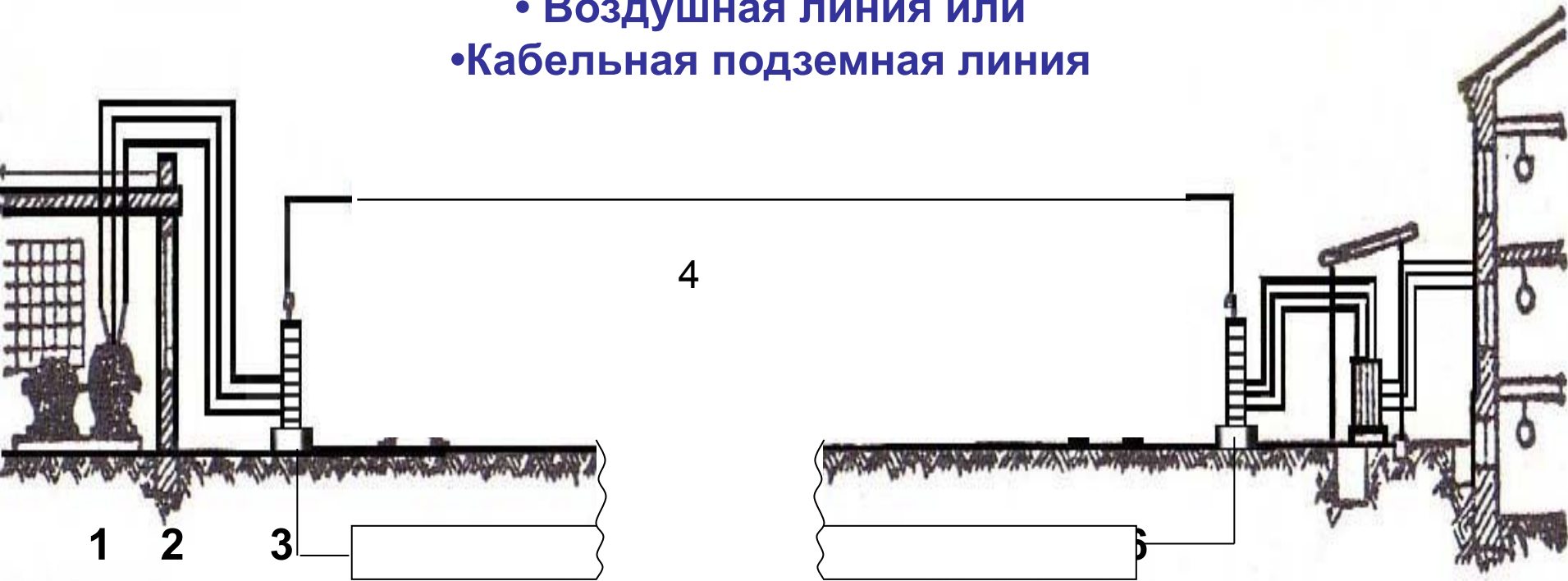
Резонансная система передачи электрической энергии состоит из двух резонансных высокочастотных трансформаторов Тесла 2 и 4, соединенных однопроводниковой высоковольтной линией 3.



# Однопроводная резонансная система электроснабжения

Разрабатывается в двух вариантах

- Воздушная линия или
- Кабельная подземная линия



1. Электрический генератор, 50 Гц (1-100 кГц)

2. Преобразователь частоты 50 Гц/1-100 кГц (отсутствует, если генератор имеет частоту 1-100 кГц)

3. Повышающий высокочастотный трансформатор 0,4 кВ/ 10-50 кВ , 1-100Гц

4. Однопроводная линия 10 – 500 кВ

5. Понижающий высокочастотный трансформатор 10 – 500 кВ/0,4 кВ, 1-100 кГц

6. Инвертор 1-10 кГц/50 Гц

**ВИЭСХ**



**Преобразователь частоты и резонансный контур передающего  
высокочастотного трансформатора**



**Резонансный  
контур  
понижающего  
высокочастотного  
трансформатора**

**ВИЭСХ**

# Выходной преобразователь частоты для резонансной системы питания электроустановок

Мощность преобразователя – 30 кВт

Входное напряжение – 500 В

Выходное напряжение – 380 В

Частота входного напряжения 0–20кГц

Частота выходного напряжения–50 Гц

Число фаз на выходе 3





***Испытания резонансной энергетической системы 20 кВт  
с однопроводниковой кабельной линией 1,2 км в  
лаборатории ВИЭСХ***

**ВИЭСХ**

# Результаты испытаний резонансной системы передачи электрической мощностью 20 кВт

ВИЭСХ

Электрическая мощность на нагрузке Ток Напряжение	20,52 кВт 54 А 380 В
Напряжение линии	6,8 кВ
Частота линии	1 кГц
Длина линии	6 м      1,2 км
Диаметр провода линии	0,08 мм      1 мм
Максимальная эффективная плотность тока на единицу площади поперечного сечения проводника линии	600 А/мм <sup>2</sup>
Максимальная удельная электрическая мощность в однопроводниковой линии	4 МВт/мм <sup>2</sup>

В экспериментальной резонансной однопроводниковой системе передачи электрической энергии, установленной в экспериментальном зале ВИЭСХ, мы передавали электрическую мощность 20 кВт при напряжении 6,8 кВ на расстояние 6 м по медному проводнику диаметром 80 мкм при комнатной температуре, при этом эффективная плотность тока в проводнике составила  $600 \text{ А/мм}^2$ , а эффективная плотность мощности –  $4 \text{ МВт/мм}^2$ .

**На основании теоретических исследований с использованием компьютерного моделирования разработаны, изготовлены и испытаны высокочастотные трансформаторы для нового поколения резонансных систем, позволяющие получить напряжение до 1 млн. В**





# Преимущества резонансного метода

- Электрическая энергия передается с помощью реактивного емкостного тока в резонансном режиме. Несанкционированное использование энергии затруднено;
- Содержание алюминия и меди в проводах может быть снижено в 10 раз;
- Потери электроэнергии в однопроводной линии малы и электроэнергию можно передавать на большие расстояния
- Воздушные трехфазные линии передачи электроэнергии могут быть заменены на кабельные однопроводные линии;
- Экранирование кабелей снижает до безопасных значений электрические и магнитные поля вокруг кабельной линии;
- В однопроводном кабеле невозможны короткие замыкания и однопроводный кабель не может быть причиной пожара

# Бесконтактный метод передачи электроэнергии

основан на физическом принципе, который до настоящего времени не использовался при передаче электрической энергии. В предлагаемом бесконтактном троллее вместо явления электромагнитной индукции и передачи электроэнергии через воздушный трансформатор используется явление электростатической индукции с передачей электроэнергии через воздушный конденсатор.

# Резонансная беспроводная система передачи электрической энергии на мобильные объекты

Предназначена для питания мобильных объектов электрической энергией в резонансном режиме.



Трактор на электрической тяге с бесконтактной системой питания для сельскохозяйственных работ



Водно-моторный транспорт с получением электрической энергии через воду

- Обеспечивает:**
- КПД использованной мощности 90%;
  - КПД ДВС – 35%;
  - возможность полностью программировать технологические процессы;
  - повышение энергетической безопасности передачи;
  - исключение аварий на линии, связанных с погодными явлениями;
  - получение 70% экономии цветных металлов



Дорожная бесконтактная система питания расположенной под автомобилем в дорожном покрытии

Бесконтактной системой питания расположенной в междурельсовом пространстве



# Преимущества бесконтактного метода передачи электроэнергии

---

1. Освобождение от опор, тросов, проводов и троллеев;
2. Возможность электропитания электрических тракторов, комбайнов, грузовых и легковых автомашин, внутрискладского транспорта;
3. Однопроводниковая линия выполняется изолированной и она безопасна в отличие от голого контактного провода при троллейном способе электропитания;
4. Высокая надежность по сравнению с троллейным способом электропитания благодаря отсутствию износа и искрения при бесконтактном методе передачи электроэнергии.

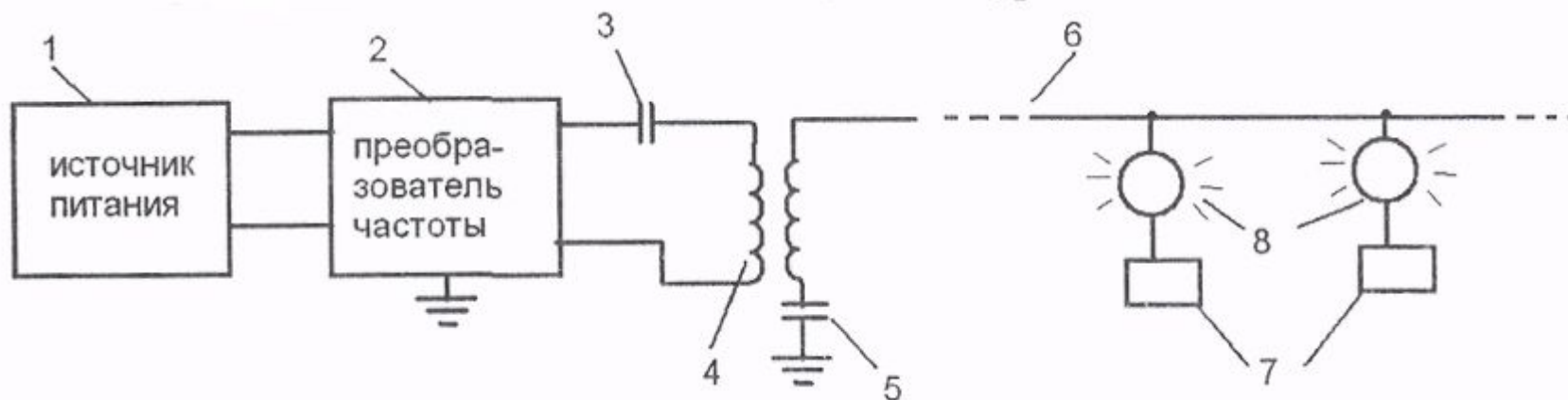
---

Использование электрического бесконтактного привода открывает перспективы большой экономии топлива и создания беспилотных, управляемых компьютером со спутниковой навигацией роботов-автоматов для электроснабжения любых наземных транспортных средств: электробусов, электропогрузчиков на складах, троллейбусов, трамваев, железнодорожного и шахтного электротранспорта, инвалидных колясок и т.д.

Таким образом, могут быть решены три современные проблемы крупных городов – энергосбережение, снижение вредных выбросов и шума, автоматизация вождения

---

# Блок-схема однопроводниковой системы освещения



Разработанная резонансная система электрического освещения (РСЭО) предназначена для питания светильников уличного освещения по однопроводниковой линии. Экспериментальный образец установки РСЭО содержит источник питания, преобразователь частоты, высоковольтный резонансный трансформатор, соединенный однопроводниковой линией со светильниками с газоразрядными лампами низкого давления

# Резонансная электрическая система освещения зданий

Предназначена для освещения жилых и бытовых помещений с электропитанием по одному проводу в резонансном режиме

Обеспечивает:

- снижение капитальных затрат на электроснабжение на 36%;
- уменьшение потерь в линии при передаче электроэнергии;
- повышение энергетической безопасности передачи;
- исключение аварий на линии, связанных с погодными явлениями;
- получение 60% экономию цветных металлов;



Применение :

- освещение больших помещений, интерьеров подземных и наземных сооружений, вокзалов, выставочных павильонов, вагонов.
- освещение жилых, спортивных, промышленных, железнодорожных и сельскохозяйственных объектов.



# Резонансная электрическая система питания уличного освещения

Предназначена для питания удаленных от системы стационарного электроснабжения уличных фонарей, прожекторов, светофоров, рекламных щитов по однопроводниковой воздушной или кабельной линии в резонансном режиме.

Обеспечивает:

- снижение капитальных затрат на электроснабжение на 30%;
- уменьшение потерь в линии при передаче электроэнергии;
- повышение энергетической безопасности передачи;
- высвобождение земель от воздушных линий;
- исключение аварий на линии, связанных с погодными явлениями;
- получение 50% экономии цветных металлов;



*Система уличного освещения на озере  
Селигер 2007*





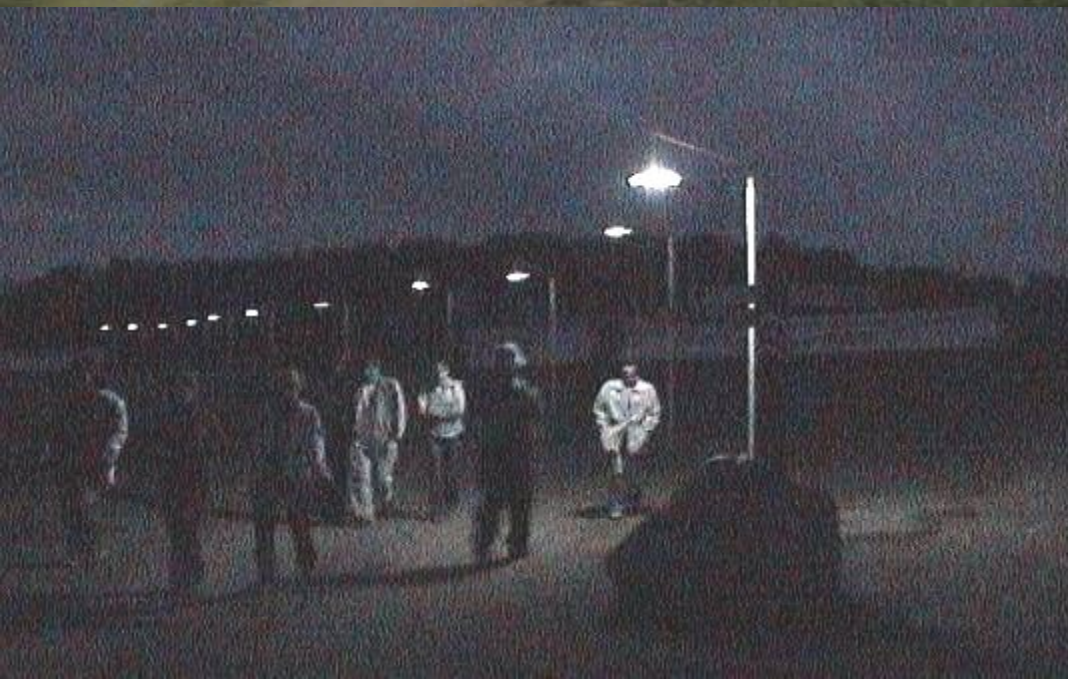


## *Работа резонансной системы уличного освещения в ночное время*

### *Техническая характеристика:*

- мощность до 0,5 кВт;
- напряжение в кабельной линии 1,35 кВ;
- частота 5 кГц;
- длина кабельной линии до 1 км.





8-я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



ИЗДЕЛИЯ И ТЕХНОЛОГИИ  
ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.  
ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ОПК

# ДИПЛОМ

С МЕДАЛЬЮ

НАГРАЖДАЕТСЯ

## ГНУ ВИЭСХ

За разработку системы передачи энергии по  
квасисверхпроводникам

Председатель Оргкомитета,  
Академик РАН

К.В. Фролов

Руководитель Федерального  
Агентства по промышленности

Б.С. Алёшин

Русская Выставочная Компания  
"Эксподизайн"

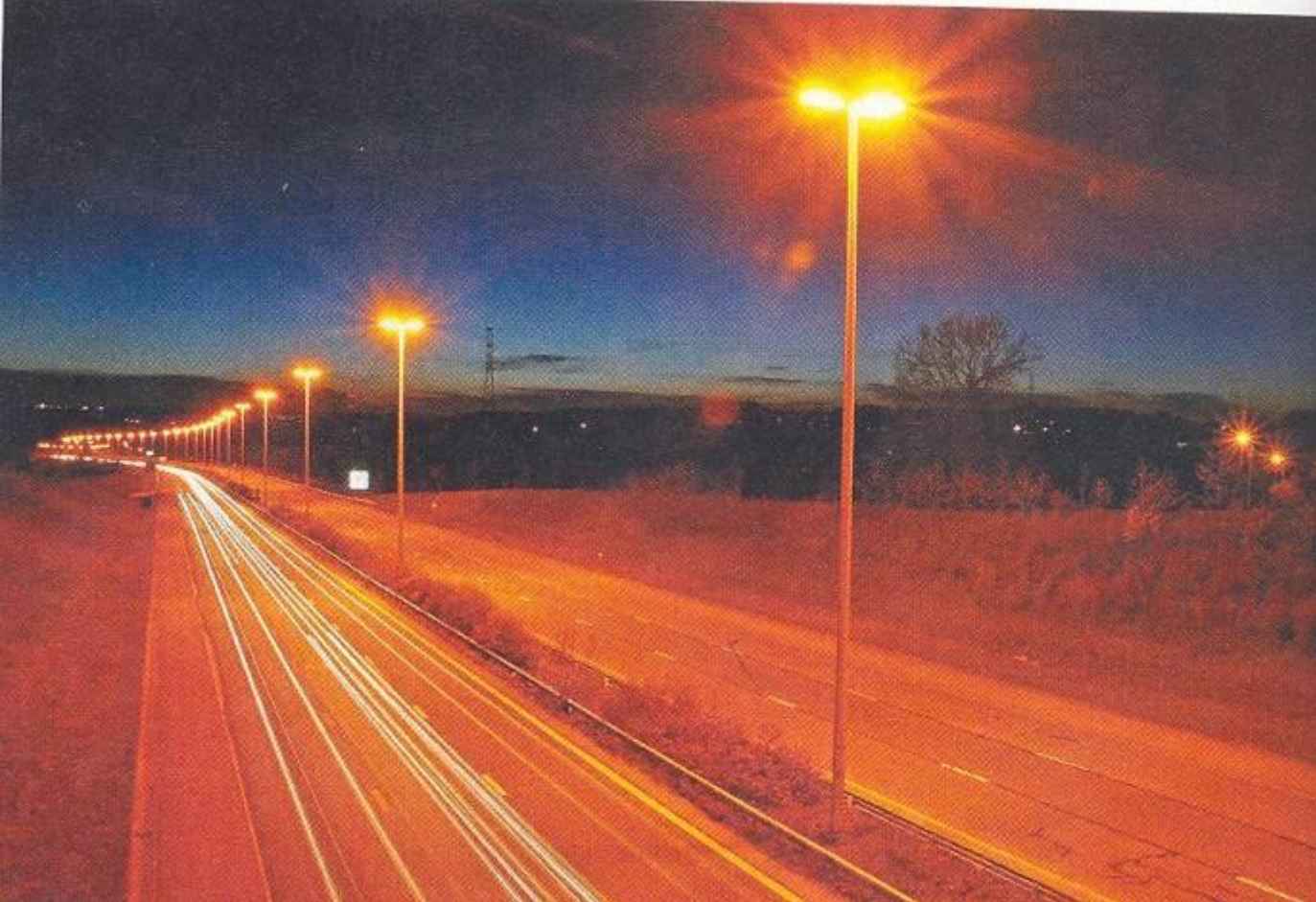
Директор Выставки

Ю. А. Баранник

Москва 2007

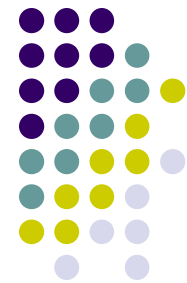
# Электроснабжение светодиодов по однопроводной линии





Уличное освещение на солнечной энергии в Бельгии.

- Диплом выставки двойного назначения за разработку пожаробезопасной системы освещения.
- На 6 международном симпозиуме, посвященном 150-летию Н. Тесла в Белграде в октябре 2006 г. Правительство Сербии наградило ВИЭСХ за вклад в практическую реализацию технологий Н. Тесла по передаче электрической энергии.



**GOVERNMENT  
OF THE REPUBLIC OF SERBIA  
ANNIVERSARY CELEBRATION BOARD**



**TESLA 2006**



Правительство Республики  
Сербия и комитет по  
празднованию 150-летнего  
юбилея Никола Тесла  
наградили академика  
РАСХН Стребкова Д. С.  
и Всероссийский научно-  
исследовательский  
институт (ВИЭСХ) в  
благодарность за  
реализацию технологии Н.  
Тесла по передаче  
электрической энергии



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК

Государственное научное учреждение  
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
(ГНУ ВИЭСХ)

Д.С. Стребков, А.И. Некрасов

## РЕЗОНАНСНЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ И ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Под редакцией академика РАСХН Д.С. Стребкова

Издание третье, переработанное и дополненное

Посвящается памяти Николы Тесла

Москва  
2008

По теме проведены научные исследования, разработаны экспериментальные образцы и поданы заявки на патенты. По результатам исследований опубликовано третье издание книги «Резонансные методы передачи и применения электрической энергии»

## ВЫВОДЫ

- Наши предсказания по развитию глобальных энергетических технологий сводятся к следующему.
- Воздушные линии электропередачи будут заменены на подземные волноводные однопроводниковые кабельные линии.
- Бесконтактный высокочастотный электрический транспорт будет получать электрическую энергию от однопроводниковой резонансной линии, установленной в дорожном покрытии.
- На сельскохозяйственных плантациях будут работать электрические машины-роботы с активными рабочими органами.
- Будет создана глобальная солнечная резонансная энергетическая система, производящая электроэнергию, водородное топливо и тепло для каждого человека на Земле.



- Жидкое топливо и газ будут вырабатываться из биомассы энергетических плантаций с помощью резонансных одноэлектродных плазматронов.
- Космические корабли будут стартовать с Земли на электрических ракетных двигателях, имея отношение массы полезного груза к стартовой массе 80 – 90% вместо сегодняшних 5%.
- Электроснабжение летательных аппаратов в космическом пространстве и передача электрической энергии на мобильные объекты на Земле будут осуществляться резонансными беспроводными методами.
- Резонансные методы будут использоваться для лечения болезней человека и животных, уничтожения сорняков (вместо пестицидов), обеззараживания питьевой воды и отходов, создания новых особо чистых материалов (в первую очередь, солнечного кремния).