

ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет

Институт механизации и технического сервиса

Направление Агроинженерия

Профиль Электрооборудование и электротехнологии

Кафедра Машины и оборудование в агробизнесе

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на соискание квалификации (степени) «бакалавр»

Тема: «Электроснабжение фермы КРС на 200 голов с разработкой
резонансной однопроводной сети»

Шифр ВКР.35.03.06.166.18.ОПЭ.00.00.ПЗ

Студент	<u>243 группы</u>	_____	<u>Хайрутдинов И.И.</u>
		подпись	Ф.И.О.

Руководитель	<u>к.т.н., доцент</u>	_____	<u>Хусаинов Р.К.</u>
	ученое звание	подпись	Ф.И.О.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(протокол № 15 от 18 июня 2018 г.)

Зав. кафедрой	<u>д.т.н., профессор</u>	_____	<u>Зиганшин Б.Г.</u>
	ученое звание	подпись	Ф.И.О.

Казань – 2018 г.

ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра Машины и оборудование в агробизнесе

Направление Агроинженерия

Профиль Электрооборудование и электротехнологии

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой

/ Зиганшин Б.Г. /

« _____ » _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

Студенту Хайрутдинов И.И.

Тема ВКР «Электроснабжение фермы КРС на 200 голов с разработкой резонансной однопроводной сети»

утверждена приказом по вузу от « 24 » мая 2018 г. № _____

2. Срок сдачи студентом законченной ВКР 20.06.2018

3. Исходные данные

1. Материалы преддипломной практики;
2. Научно-техническая и справочная литература
3. Патенты зерноочистителей.

4. Перечень подлежащих разработке вопросов

1. Литературно-патентный обзор;
2. Электротехническая часть
3. Конструктивная часть;

5. Перечень графических материалов

1. Обзор существующих схем однопроводной передачи электроэнергии
2. Схемы подключения светильников.
3. Принципиальная схема силовой сети.
4. Принципиальная схема осветительной сети
5. Конструктивно-технологическая схема резонансного трансформатора
6. Сборочные чертежи трансформатора.

6. Консультанты по ВКР

Раздел (подраздел)	Консультант
Безопасность жизнедеятельности	доц. Гаязиев И.И.

7. Дата выдачи задания 04.05.2018

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов ВКР	Срок выполнения	Примечание
1	1 раздел	21.05.18	100%
2	2 раздел	4.06.18	100%
3	3 раздел	18.06.18	100%

Студент _____ / Хайрутдинов И.И. /

Руководитель ВКР _____ / Хусаинов Р.К. /

АННОТАЦИЯ

К выпускной квалификационной работе Хайрутдинов И.И. на тему:
«Электроснабжение фермы КРС на 200 голов с разработкой резонансной
однопроводной сети»

Работа состоит из пояснительной записки на листах машинописного текста и графической части на ____ листах формата А1.

Записка состоит из введения, трех разделов, выводов и включает ____ рисунков, ____ таблицы. Список использованной литературы содержит ____ наименований.

Во введении обоснована актуальность темы проекта.

В первом разделе выполнен литературно-патентный обзор. Рассмотрены существующие схем однопроводной передачи электроэнергии. Проведен анализ технических решений существующих конструкций трансформаторов, выявлены недостатки конструкций. Поставлены цели и задачи проектирования.

Второй раздел электротехническая часть. Здесь приведены расчет и выбор трансформатора, аппаратуры управления и защиты, электропроводки. Приведены результаты расчета обеспечения малого фермерского хозяйства электроэнергией.

В третьем разделе приведено описание предлагаемого конструктивного решения, выполнен расчет конструктивных элементов трансформатор. и дано экономическое обоснование конструкции. Разработаны мероприятия безопасности труда при работе с конструкцией.

Записка завершается выводами и предложениями.

ANNOTATION

To final qualifying work Khayrutdinov I.I. on the topic: "Power supply for a 200-head cattle farm with the development of a resonant single-wire network"

The work consists of an explanatory note on the pages of typewritten text and a graphic part on ____ sheets of the A1 format.

The note consists of an introduction, three sections, conclusions and includes ____ drawings, ____ tables. The list of used literature contains ____ titles.

In the introduction, the relevance of the topic of the project is substantiated.

In the first section, a literary-patent review is performed. Existing schemes of single-wire electricity transmission are considered. The analysis of technical solutions of existing transformer designs is carried out, the design flaws are revealed. The goals and objectives of the design are set.

The second section is the electrical part. Here are the calculation and selection of the transformer, control and protection equipment, electrical wiring. The results of calculating the provision of small-scale farming with electricity are presented.

In the third section, a description of the proposed design solution is given, the transformer components are calculated. and given the economic justification for the design. Work safety measures have been developed when working with a structure.

The note ends with conclusions and suggestions.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ЛИТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНЫЙ ОБЗОР	8
1.1 Общие сведения по однопроводной передаче электрической энергии	8
1.2 «Сверхпроводник» инженера С.В. Авраменко.....	15
2 ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	19
2.1. Передача энергии от генератора к приемнику в резонансном режиме	19
2.2. Резонансные схемы электроснабжения стационарных потребителей	21
2.3. Резонансные электрические системы с ударным возбуждением.....	25
2.4. Способ и устройство передачи электрической энергии	31
3. КОНСТРУКТИВНАЯ ЧАСТЬ	37
3.1 Выбор трансформатора для питания электрической нагрузки однопроводниковой системы	37
3.2 Резонансная однопроводная электрическая система мощностью на 0,1 кВт....	43
3.3 Техника безопасности.....	47
3.4 Физическая культура на производстве	48
3.5 Экономическое обоснование конструкции	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	57
СПЕЦИФИКАЦИИ	58
ПРИЛОЖЕНИЯ	

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей энергоснабжения потребителей на удаленных участках от генерирующих станций и электрических систем, является создание экономичных и надежных линий электропередач. Для увеличения потребляемой мощности необходимо спроектировать и смонтировать новые более мощные сети.

Большой объем потребляемой электроэнергии и большая протяженность линий электропередач, а так же необходимость капитальных и эксплуатационных затрат, являются факторами, которые определяют необходимость поиска удешевления систем централизованного энергоснабжения, уменьшением металлоемкости и других материалов на их сооружение и эксплуатацию.

Пока есть недостаток теоретических исследований и научно-методических разработок в области совершенствовании энергетики. Необходимость методической базы по внедрению однопроводной резонансной системы в систему организаций и предприятий для стимулирования деятельности по рациональному использованию энергоресурсов, что свидетельствует об актуальности проведения научных изысканий данной направленности.

1. ЛИТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНЫЙ ОБЗОР

1.1 Общие сведения по однопроводной передаче электрической энергии

Среди систем, обеспечивающих эффективное функционирование предприятий сельского хозяйства и промышленности, большое место занимают системы энергообеспечения. Большинство потребителей получает электроэнергию от централизованного источника - государственных энергосистем и основной системы электроснабжения - электрические сети.

В настоящее время передача электрической энергии производится различными способами и прежде всего наиболее широко распространенной трехфазной системой.

Для инженера-электрика, изучавшего курс электротехники и работающего в энергетической или сетевой компании, будет трудно поверить и понять, что существует другая электротехника, в которой:

- Для протекания тока не обязательно иметь замкнутую цепь из двух проводников между генератором и нагрузкой;
- 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.

С точки зрения радиоинженера лучевая антенна и однопроводниковый волновод являются классическими примерами однопроводниковых линий. В них существуют стоячие и бегущие волны тока и напряжения, а цепь замыкается токами смещения в пространстве, окружающем однопроводниковую линию. При высокой частоте однослойная электрическая катушка из классической индуктивности превращается в различных вариантах использования в замедляющую систему или линию

задержки электромагнитных волн, в спиральный волновод, спиральную антенну или электрический резонатор с распределенными параметрами, которые невозможно определить, используя классическую теорию расчета электрических цепей. Все рассмотренные выше эффекты в однопроводниковой линии и спиральных катушках существуют при частотах 1 - 100 кГц и их можно использовать для передачи электрической энергии.

Большая протяженность, разветвленность, малые мощности и объемы потребляемой электроэнергии, необходимость значительных капитальных и эксплуатационных затрат являются серьезными факторами, определяющими необходимость поиска удешевления систем централизованного электроснабжения, снижением металлоемкости и других материалов на их сооружение и эксплуатацию

Из всеобщего курса электротехники известно, что питание к нагрузке электрической цепи подаётся посредством двух проводников, ток в которых течёт в разных направлениях (рисунок 1.1).

Проводники образуют замкнутую электрическую цепь, что обеспечивает электрический ток через нагрузку. Этот принцип положен в работу современных систем питания различных устройств.

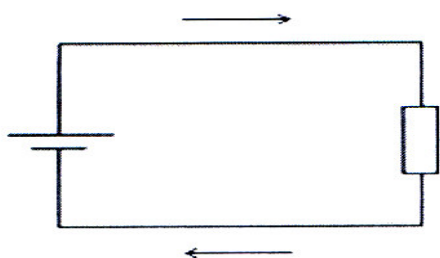


Рисунок 1.1 - Замкнутая электрическая цепь.

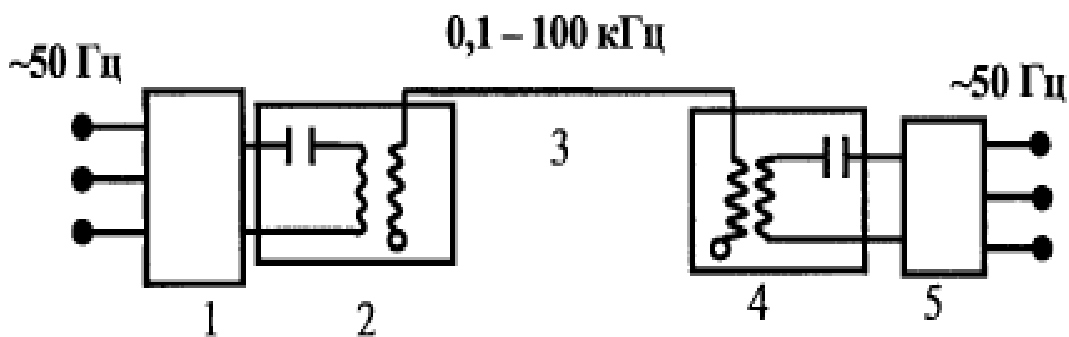
Система однопроводной передачи электроэнергии основана на другом принципиальном способе, суть которого заключена в том, что ток, текущий по проводнику, не несёт в себе электрическую энергию, а является лишь ее проводником.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к развитию технологий однопроводной системы передачи электрической энергии, как наиболее перспективной. Это вытекает из важнейшей задачи энергоснабжения потребителей удаленных от генерирующих станций и

электрических систем, задачи создание экономичных, эффективных и надежных линий электропередач.

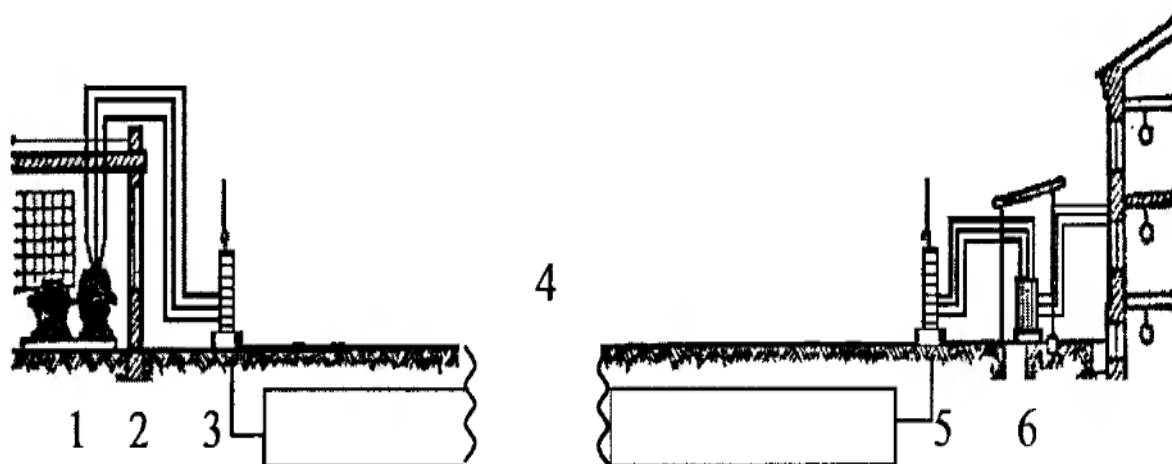
Наряду с традиционными, существующими способами передачи электрической энергии постоянного и переменного тока, которым присущи определенные недостатки, в настоящее время разрабатываются новые способы передачи электрической энергии, одним из которых является отмеченная выше передача электрической энергии по однопроводниковой кабельной линии тока повышенной частоты – резонансный метод.

Впервые передачу электроэнергии по однопроводниковой линии на повышенной частоте предложил и осуществил Н. Тесла более 100 лет назад. Он рассматривал свою резонансную однопроводниковую систему передачи электрической энергии как альтернативу системе передачи энергии на постоянном токе, предложенной Т. Эдисоном. Соперничество меж системами передач на постоянном и переменном токе длится до реального времени, но все это происходит в рамках двух-трехпроводных замкнутых линий электропередач. Однопроводниковые резонансные системы (Рисунок 1.2, 1.3) дают возможность для создания сверхдальних кабельных линий электропередач и, в перспективе, замены существующих воздушных линий на кабельные однопроводниковые линии. Тем самым будет решена одна из важнейших проблем электрификации – повышение надежности электроснабжения.



1 – преобразователь; 2,4 – два резонансных высокочастотных трансформатора Тесла; 3 – однопроводниковая высоковольтная линия, соединяющая трансформаторы; 5 – инвертор.

Рисунок.1.2 - Резонансная система передачи электрической энергии;



1 – электрический генератор, 50Гц (1-100 кГц); 2 – преобразователь частоты 50Гц/1-100кГц (отсутствует, если генератор имеет частоту 1-100кГц); 3 – повышающий высокочастотный трансформатор 0,4 кВ/10-500кВ; 4 – однопроводниковая линия 10500кВ; 5 – понижающий высокочастотный трансформатор 10-500кВ/0,4кВ, 1-100кГц; 6 – инвертор 1-100кГц/50Гц

Рисунок 1.3 - Однопроводниковая резонансная энергетическая система

Стоячие волны в разомкнутой однопроводниковой 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° во времени и пространстве. Поэтому, когда во всей линии напряжение максимально, ток равен нулю и наоборот. Пространственный сдвиг выражается в том, что в сечениях линии с пучностями напряжения наблюдаются узлы тока, а при узлах напряжения наблюдаются пучности тока. Фаза во всех сечениях линии одинакова. Это значит, что во всей линии напряжение равно нулю или достигает максимума в один и тот же момент времени, но эти максимумы для разных сечений различны, поскольку амплитуда колебаний вдоль линии изменяется. То же самое происходит с волнами тока. Средняя мощность, отдаваемая генератором в разомкнутую однопроводниковую линию без потерь или в линию, замкнутую на реактивное сопротивление, равна нулю [1].

Большая протяженность, разветвленность, малые мощности и объемы потребляемой электроэнергии, необходимость значительных капитальных и эксплуатационных затрат являются серьезными факторами, определяющими

необходимость поиска удешевления систем централизованного электроснабжения, снижением металлоемкости и других материалов на их сооружение и эксплуатацию.

На рисунке 1.4, в качестве подтверждения актуальности использования в будущем, приведена гистограмма, отображающая сравнение некоторых параметров трёхфазных и однопроводных систем передачи электроэнергии.

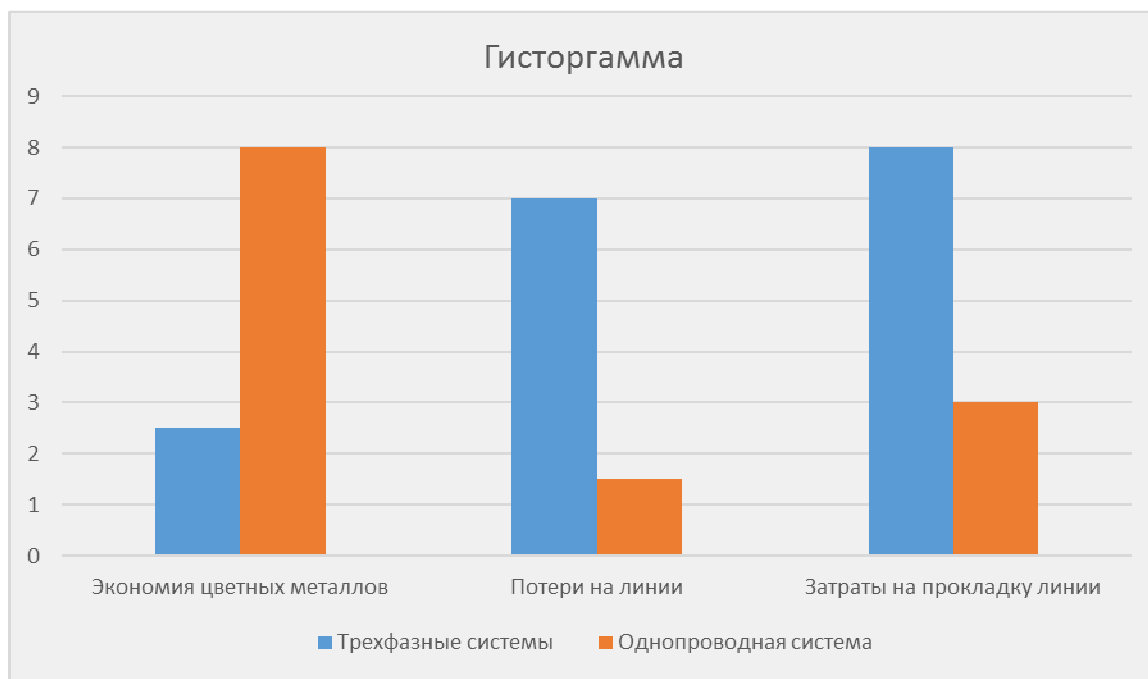


Рисунок 1.4 - Гистограмма, отображающая сравнение некоторых параметров трёхфазных и однопроводных систем передачи электроэнергии.

В настоящее время существует возможность передачи электроэнергии с помощью одного проводника, диэлектрика или вообще без проводника. Чтобы в обычной электрической цепи существовал ток, необходимо выполнение двух условий: цепь должна быть замкнута и должна присутствовать ЭДС.

Система однопроводной передачи электроэнергии основана на другом принципе, который заключен в том, что ток, текущий по проводнику, не несет в себе электрическую энергию.

Н. Тесла был гениальным ученым, предвидевшим развитие электротехники и энергетики на сотни лет вперед. Он получал напряжение

100 миллионов вольт простыми аппаратными средствами, передавал электрическую энергию на десятки километров, используя Землю в качестве проводящей среды, испытывал катер, управляемый через водную среду, изобрел асинхронный двигатель, многофазный ток и многое другое. Так же он был прекрасным конструктором механических систем. В настоящее время мы практически полностью можем повторить и развить резонансные технологии Н. Тесла по передаче электрической энергии с использованием однопроводниковых линий и проводящих сред. Сохранилось очень мало информации о работах Н. Тесла по беспроводным методам передачи электрической энергии. Последний патент в этой области на «Аппарат для передачи электрической энергии» в 1914 г. [2].

Технические возможности для широкой реализации «тесловских» идей долгое время были ограничены и это задержало их использование на многие годы. В настоящее время многое изменилось. Разработаны основы теории однопроводной передачи электроэнергии, многие теоретические аспекты проверенные экспериментально.

На сегодняшний день используются:

- способ однопроводной передачи энергии путем электромагнитного излучения;
- способ однопроводной передачи энергии, использующие резонансные методы.

В данном случае ведущую роль в системе однопроводной передачи электроэнергии играет электромагнитное излучение. Оно возникает вокруг различных проводников или катушек с переменным током. Причём, чем выше частота смены направления тока, тем мощность излучения будет больше, что следует из формулы:

$$W \approx \frac{v^4}{r^2}, \quad (1.2)$$

где W - мощность электромагнитного излучения;

v - частота колебаний;

r - расстояние от источника электромагнитного излучения.

Для однопроводной системы необходима высокая частота, поэтому используется генератор высокочастотного электромагнитного поля, задача которого - преобразовать энергию электрического тока в электромагнитное излучение.

Электромагнитное излучение, несущее в себе энергию, распространяется на некоторое расстояние вокруг активного элемента генератора. Затем надо преобразовать электромагнитное излучение в электрическую энергию. Тут используется известный постулат об образовании переменного тока в проводнике, внесённом в электромагнитное поле.

Представим себе проводник, находящийся в пространстве. Очевидно, его индуктивность, равно как и ёмкость, достаточно малы. Исходя из формулы Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (1.3)$$

можно показать, что резонансная частота такого проводника высока. Если у проводника есть резонансная частота, то существует возможность возбудить в нём колебания, войдя с ним в резонанс. Для этого непосредственно подключается к генератор, частота которого кратна частоте проводника.

На рисунке 1.5 представлена структурная схема системы однопроводной передачи электроэнергии.

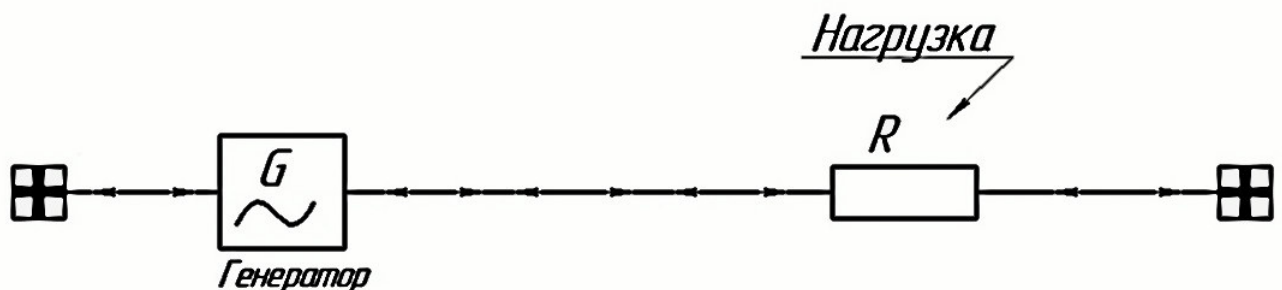


Рисунок 1.5 - Структурная схема системы однопроводной передачи электричества.

Второй способ однопроводной передачи энергии, использующий резонансный метод, базируется на идее Н. Тесла, которая доработана с учетом современного развития науки и техники.

Резонансный метод передачи электрической энергии по однопроводным линиям, или однолинейным проводящим каналам осуществляется емкостными токами повышенной частоты в режиме резонанса напряжений. Для передачи электрической энергии по одному проводнику или другой проводящей среде от источника энергии к приемнику используется четвертьволновой электрический трансформатор Тесла, изобретенный 1897 году [3], он представляет собой бессердечниковый или незамкнутым сердечником трансформатор, первичная обмотка которого расположена снаружи или соосно с вторичной обмоткой. Вторичная обмотка состоит из большого количества витков медной изолированной проволоки. Один конец вторичной обмотки остается свободным, а второй при передаче напряжения высокой частоты на первичную обмотку присоединяется к линии. В высоковольтной вторичной обмотке в условиях резонанса возникают высокочастотные колебания. Благодаря параметрам обмотки и колебательного контура, вывод вторичной обмотки прилегающий к первичной обмотке, имеет нулевой потенциал, а второй вывод имеет высокий потенциал, за каждый полупериод колебаний принимающий положительное или отрицательное значение. У вывода с высоким потенциалом электрический ток проводимости и магнитное поле линии равны нулю, а электрическое поле имеет наибольшее значение. В данном случае электрическая энергия передается не с помощью токов проводимости, а с помощью емкостного реактивного тока в проводнике и тока смещения в пространстве, окружающем проводник, при минимальных потерях на сопротивлении линии.

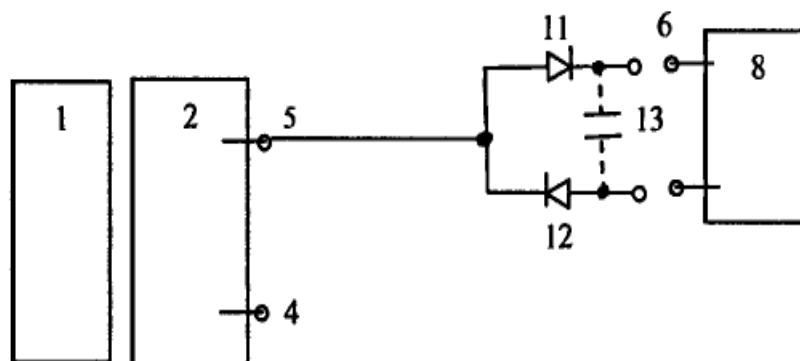
1.2 «Сверхпроводник» инженера С.В. Авраменко

Н. Тесла писал, что процессы переноса электрической энергии в его резонансных высоковольтных системах имеют электростатическую природу и поэтому характеризуются низкими потерями.

В СССР возрождение резонансных технологий передачи электрической энергии началось с работ инженера Всесоюзного электрического института им. В.И. Ленина (ФГУП ВЭИ) С.В. Авраменко, который в 80-е годы XX века разработал и запатентовал однопроводные электрические системы мощностью 10-100 Вт, напряжением 1-100 кВ. С.В. Авраменко использовал теристорные преобразователи частоты 1-30 кГц и собственную емкость повышающих и понижающих трансформаторов Тесла для создания резонанса. С 1990 года эти работы получили дальнейшее развитие в ВИЭСХе, где С.В. Авраменко работал инженером в отделе энергоснабжения. Под руководством Стребкова .

С.В. Авраменко предложил для выпрямления токов и напряжений в однопроводной линии свою знаменитую «вилку Авраменко» - диодно-конденсаторный блок (рисунок 1.6), который не был известен Н. Тесла, так как в XIX веке не было высокоэффективных диодов. Однако «вилка Авраменко» - это составная часть известной схемы удвоения напряжения или однофазного входа любого мостового выпрямителя (рисунок 1.7).

На рисунке 1.6 показана схема питания приемных устройств на постоянном токе. С использованием свойств реактивной холодной плазмы возникающей в разрыве однопроводной линии, С.В. Авраменко разработал и запатентовал резонансный холодноплазменный коагулятор, который успешно используется в ветеринарии, косметологии и медицине [4,5]



1-генератор напряжения; 2-низковольтная обмотка; 4-изолированный вывод; 5-вывод; 6-соединяющий элемент; 8-потребитель; 11,12-диоды; 13-конденсатор.

Рисунок 1.6 - Вилка С.В. Авраменко для выпрямления тока в однопроводной линии.

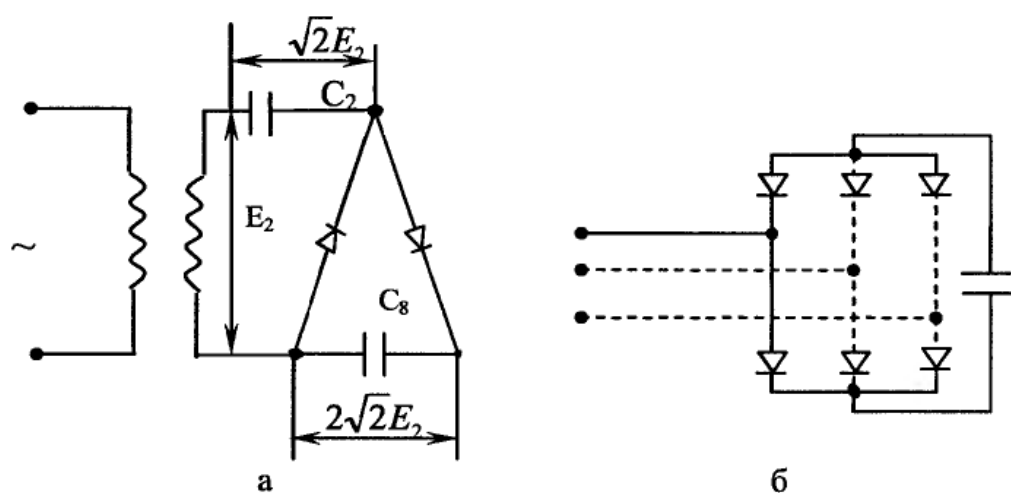


Рисунок 1.7 - Схема удвоения напряжения (а) и схема с однофазным входом трехфазного мостового выпрямителя (б)

С.В. Авраменко сделал очень много для популяции идей Н. Тесла. Он был прекрасным инженером-электротехником и в своих опытах демонстрировал свойства однопроводной электрической системы передавать электроэнергию. С малыми потерями по вольфрамовому проводу диаметром 10 мкм.

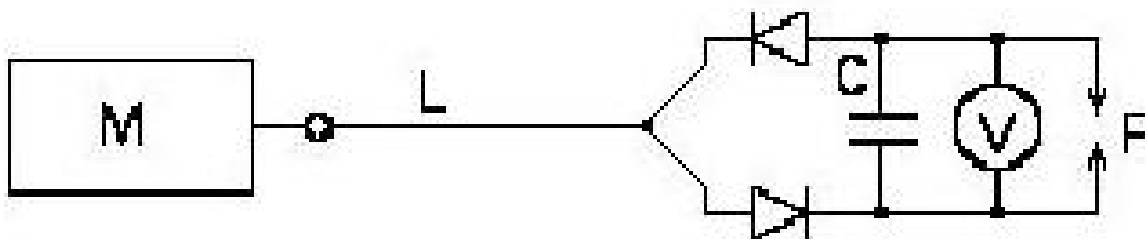


Рисунок 1.8 - Однопроводная передача по схеме С. Авраменко

Схема состоит из трансформатора М, линии электропередачи (провода) L, двух встречно включенных диодов, конденсатора С и разрядника Р. Трансформатор схож с резонансным трансформатором Тесла, в котором первичная обмотка питается напряжением с частотой, равной резонансной частоте вторичной обмотки.

Подключив входные выводы трансформатора к источнику переменного напряжения. Поскольку два других его вывода между собой не замкнуты, тока наблюдаться в них вроде бы не должно. Однако в разряднике возникает искра — происходит пробой воздуха электрическими зарядами. Он может быть непрерывным или прерывным, повторяться с интервалом, зависящим от емкости конденсатора, величины и частоты приложенного к трансформатору напряжения.

На противоположных сторонах разрядника периодически накапливается определенное число зарядов. Поступают туда они через диоды, выпрямляющие переменный ток, существующий в линии L. Таким образом в вилке Авраменко циркулирует постоянный по направлению и пульсирующий по величине ток.

Это дает нам возможность создания сверхдальних кабельных линий электропередач, экономить и предоставить высококачественную электроэнергию потребителю. Автоматика резонансной системы выполняет функцию защиты от перенапряжения.

2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Передача энергии от генератора к приемнику в резонансном режиме

Передача энергии от генератора к приемнику в резонансном режиме, благодаря выполняемым преобразованиями и настройке системы «генератор – линия – приемник», дает возможность осуществлять питание электроустановок по незамкнутой электрической цепи. Для осуществления работы электрооборудования в однопроводном режиме применяют частотный преобразователь и согласующий приемный блок, которые устанавливаются в начале и в конце однопроводного участка линии и позволяют использовать на входе и выходе обычное электротехническое оборудование переменного или постоянного тока.

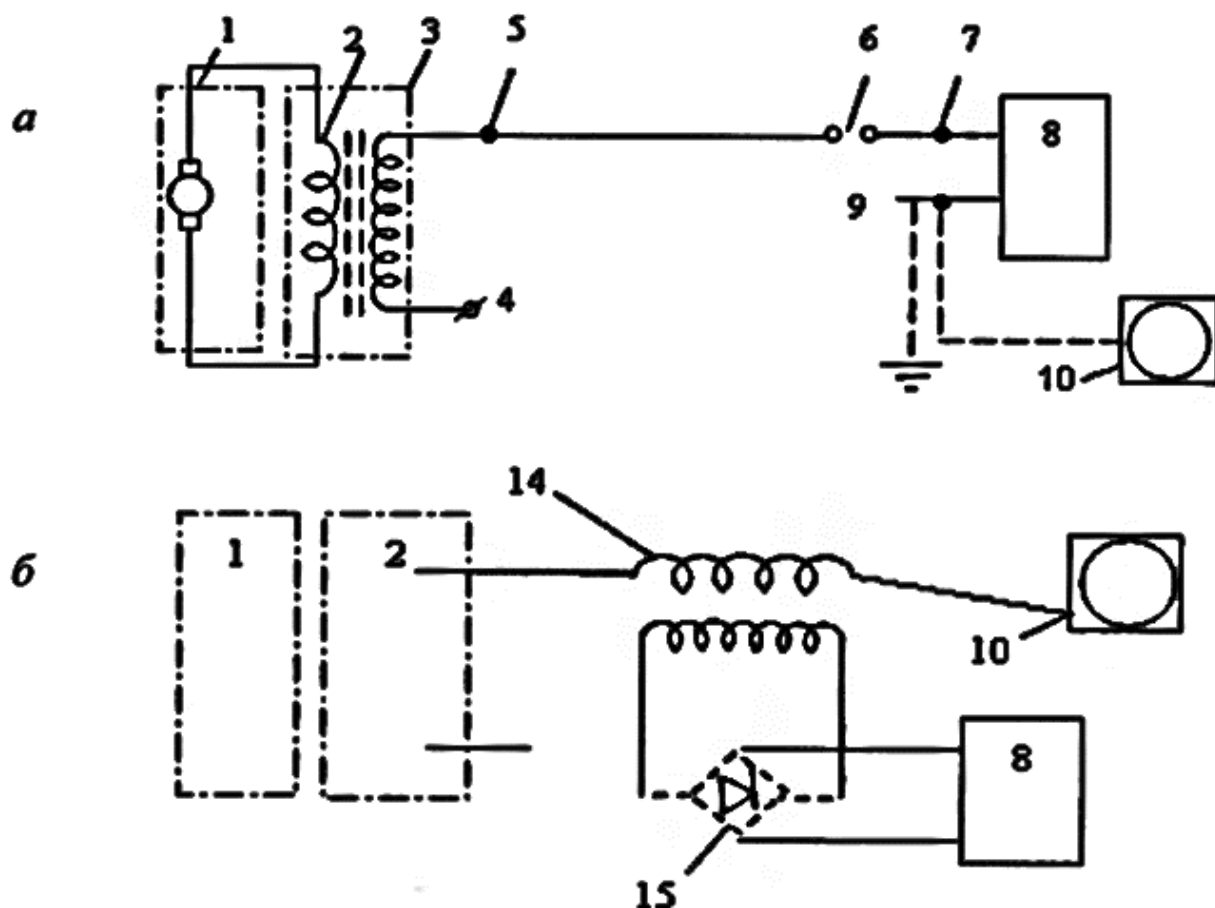
Питание электротехнической аппаратуры осуществляется путем подключения одной из его выходных клемм к одному из выводов высоковольтной секции высокочастотного трансформатора преобразователя, подключенного к источнику переменного напряжения, при этом подбором частоты источника переменного напряжения добиваются установления резонансных колебаний в образованной электрической цепи [6].

Само по себе устройство представляет собой генератор переменного напряжения с регулируемой частотой, включающий в себя средство изменения частоты, высокочастотный трансформатор, один вывод высоковольтной секции, которого изолирован, а второй предназначен для провода энергии потребителю.

На рисунке 2.1 изображена общая схема устройства, реализующего предложенный способ питания электротехнических устройств.

Согласно рисунку 2.1 к генератору 1 переменного напряжения с регулируемой частотой подключена низковольтная обмотка 2 высокочастотного трансформатора 3. Один из выводов 4 его высоковольтной обмотки изолирован, а второй 5 снабжен элементом 6 для соединения с одной из входных клемм 7 потребителя 8 электромагнитной энергии. Вторая клемма 9 потребителя либо заземлена, либо соединена с ёмкостью 10.

В случае питания электротехнических устройств постоянным током (рисунок 1.6) вывод 5 снабжается двумя диодами 11, 12, обеспечивающими прохождение однонаправленного тока в замкнутом контуре, образованном диодами 11, 12 и нагрузкой. Параллельно диодам может быть подключен конденсатор 13.



а) 1-генератор напряжения; 2-низковольтная обмотка; 3-высокочастотный трансформатор; 4-изолированный вывод; 5-вывод; 6-соединяющий элемент; 7-входная клемма; 8-потребитель; 9-заземленная/соединённая клемма; 10-ёмкость.

б) 1-генератор напряжения; 2-низковольтная обмотка; 8-потребитель; 10-ёмкость; 14-первичная обмотка трансформаторного преобразователя; 15-выпрямительное устройство.

Рисунок 2.1 -Электрическая схема питания передающего (а) и приемного (б) устройства инженера С.В. Авраменко для резонансной передачи электрической энергии;

Согласно рисунку 2.1,б вывод 5 соединен с первичной обмоткой трансформаторного преобразователя 14, вторичная обмотка которого подключается к потребителю либо непосредственно, либо через выпрямительное устройство 15. Высокочастотный трансформаторный

преобразователь представляет собой намотанные коаксиально на общем каркасе низковольтную (снаружи) и высоковольтную (внутри) обмотки, в этом случае может быть использован незамкнутый сердечник.

Способ питания электротехнических устройств по рассматриваемой схеме, представленной на рисунке 2.1, реализуется следующим образом [4].

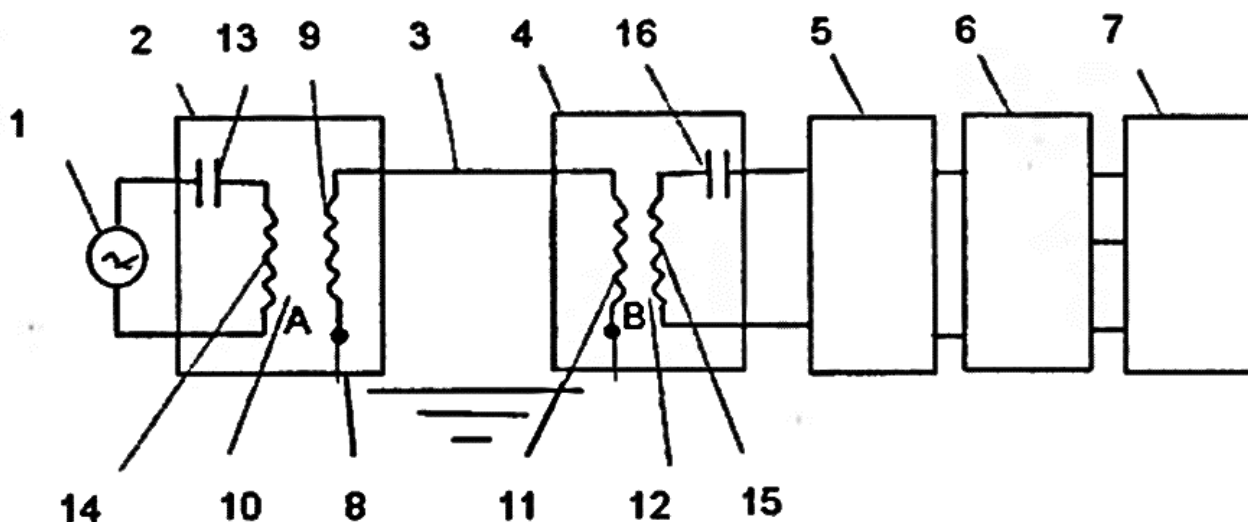
К генератору 1 переменного напряжения с регулируемой частотой подсоединяется низковольтная обмотка трансформаторного преобразователя 3, а к одному из выводов высоковольтной обмотки подсоединяется одна из входных клемм 7 потребителя 8 электроэнергии. Второй вывод высоковольтной обмотки изолируют. После этого изменяют частоту генератора переменного напряжения. При определенной частоте, лежащей преимущественно в пределах 0,5 – 100 кГц, в образованной электрической цепи возникают электрические резонансные колебания, что сразу видно, например, по загоранию электрической лампочки, используемой в качестве потребителя постоянного тока, подключенного согласно рисунку 2.1. Возникновение электрических колебаний свидетельствует о передаче энергии потребителю.

Питание потребителей электроэнергии осуществляется по незамкнутой электрической цепи.

Характерной особенностью этого метода является то, что передача энергии генератора 1 в режиме резонансных колебаний не сопровождается выделением тепла в проводящем проводнике 5, что обуславливает возможность использовать проводники малого поперечного сечения без потери электроэнергии на их нагрев [4].

2.2 Резонансные схемы электроснабжения стационарных потребителей

Резонансные методы и электрооборудование передачи электроэнергии с использованием резонансного режима разомкнутой высоковольтной линии показаны на рисунках 2.2 - 2.10; [1.1, 1.2].



1 - генератор повышенной частоты; 2 – резонансный контур повышающего трансформатора; 3 – однопроводная линия; 4 – резонансный контур понижающего высоковольтного трансформатора; 5 – выпрямитель; 6 – инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный; 7 – нагрузка; 8 – естественная емкость в виде земли ; 9-высоковольтная обмотка; 10-повышающий трансформатор; 11-высоковольтная обмотка; 12-понижающий трансформатор; 13-контурный конденсатор; 14-низковольтная обмотка; 15-низковольтная обмотка; 16-контурный конденсатор.

Рисунок 2.2 - Блок – схема передачи электрической энергии с заземлением выводов высоковольтных обмоток;

На рисунке 2.2 представлена блок – схема способа передачи электрической энергии, где 1- генератор повышенной частоты; 2 – резонансный контур повышающего трансформатора; 3 – однопроводная линия; 4 – резонансный контур понижающего высоковольтного трансформатора; 5 – выпрямитель; 6 – инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный; 7 – нагрузка; 8 – естественная емкость в виде Земли подключена к высоковольтной обмотке 9 повышающего трансформатора 10 и высоковольтной обмотке 11 понижающего трансформатора 12. Последовательный резонансный контур 2 повышающего трансформатора 10 состоит из конденсатора и низковольтной обмотки 14, соединенных параллельно с высокочастотным генератором 1. Резонансный контур 4 понижающего трансформатора 12 состоит из низковольтной обмотки 15, соединенной последовательно с контурным конденсатором 16.

Способом передачи электрической энергии реализуется следующим образом. Электрическая энергия от высокочастотного генератора 1 поступает в резонансный контур 2 повышающего трансформатора 10, настроенный на частоту f_0 генератора 1 ($0,5 \text{ кГц} < < 500 \text{ кГц}$). Длина электрической цепи L_{AB} , состоящая из длины однопроводной линии 3 и длины двух высоковольтных обмоток 9 и 11 повышающего 10 и понижающего трансформатора 12, связана с длиной волны λ в линии и с частотой f_0 резонансных колебаний в электрической цепи следующими соотношениями

$$\lambda = 2 \cdot \frac{L_{AB}}{n}, \quad f_0 = \frac{c_n}{2} \cdot L_{AB} \quad (2.1)$$

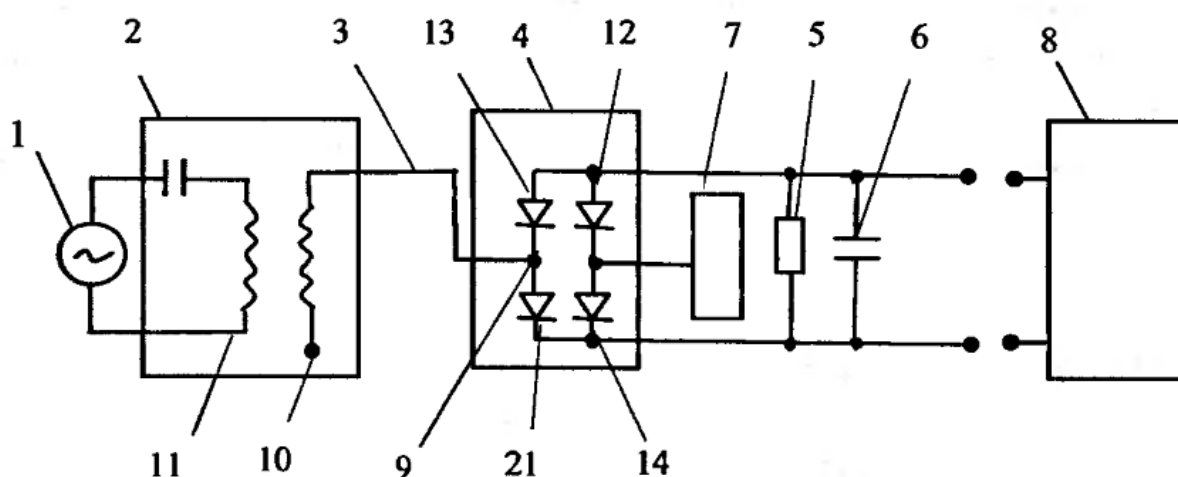
где n – натуральное число;

c – скорость света.

На рисунке 2.3 представлена блок – схема упрощенного варианта способа передачи электрической энергии, содержащая генератор повышенной частоты 1, повышающий высокочастотный трансформатор 2, однопроводную линию 3, однофазный мостовой выпрямитель 4, нагрузку 5, емкость нагрузки 6, естественную ёмкость в виде земли, воды или изолированного проводящего тела 7, инвертор 8, преобразующий постоянный ток в переменный [8].

Устройство работает следующим образом. Электрическая энергия из генератора высокой частоты 1 поступает в повышающий высокочастотный трансформатор Тесла 2. Резонансные колебания электромагнитной энергии создают цепи, состоящей из генератора 1, трансформатора Тесла 2 и однопроводной линии 3. Потенциал одного из выводов высоковольтной обмотки трансформатора 2 повышают и передают по однопроводной линии 3 на один из входов 9 однофазного мостового выпрямителя 4. Потенциал второго вывода 10 высоковольтной обмотки трансформатора Тесла 2 равен нулю, поэтому этот вывод 10 изолируют или соединяют с низковольтной обмоткой 11 трансформатора Тесла 2 и с землей.

Положительную полуволну резонансных высокочастотных колебаний тока и напряжения после прохождения через вход 9 однофазного выпрямителя 4 выпрямляют на диоде 21 и передают через нагрузку 5 и конденсатор нагрузки 6, диод 12 в естественную ёмкость 7. Отрицательную полуволну резонансных высокочастотных колебаний тока и напряжения выпрямляют на диоде и передают через нагрузку 5 и конденсатор нагрузки 6, диод 14 в естественную ёмкость 7. В качестве естественной ёмкости используют изолированное проводящее тело, заземление или присоединение к водной среде. На нагрузке 5 и конденсаторе нагрузки 6 получают постоянное выпрямленное напряжение. Для получения переменного напряжения стандартной частоты 50 или 60 Гц выпрямленное напряжение подают с конденсатора 6 на вход инвертора 8, в этом случае сопротивление нагрузки 5 устанавливают на входе инвертора 8.



1- генератор повышенной частоты; 2 – резонансный контур повышающего трансформатора; 3 – однопроводная линия; 4 –; 5-нагрузка; 6-конденсатор нагрузки; 7- естественная ёмкость; 9-вход; 10-вывод; 11-высоковольтная обмотка; 12-диод; 13-диод; 14-диод; 21-диод.

Рисунок 2.3-Блок – схема способа передачи электрической энергии с использованием в качестве естественной ёмкости изолированного проводящего тела

Благодаря электростатическому механизму передачи электроэнергии в линии снижаются джоулевые потери, что позволяет увеличить длину линии при передачи электрической энергии на стационарные объекты и на мобильные объекты на земле, в водной и воздушной среде.

2.3 Резонансные электрические системы с ударным возбуждением

При сильной трансформаторной связи двух резонансных контуров, необходимой для передачи энергии, энергия переходит из одного контура в другой и возникает явление «биение колебаний». Метод ударного возбуждения используется для устранения биений.

В каждом из связанных резонансных контуров возникают одновременно два колебания, частоты которых f_1 и f_2 отличаются от резонансной частоты f_0 каждого контура, причем это отличие увеличивается с увеличением коэффициента связи K между контурами

$$f_1 = \frac{f_0}{\sqrt{1+K}}, \quad f_2 = \frac{f_0}{\sqrt{1-K}}. \quad (2.2)$$

Фазы биений будут также различны: когда в одном из контуров ток максимален, а в другом контуре равен нулю. Электромагнитная энергия будет поочередно перекачиваться из одного контура в другой и обратно, при этом колебания затухают из-за наличия омического сопротивления контуров и линии связи. Картина усложняется, если линия связи проявляет резонансные свойства. Если в передающем контуре действует ЭДС $E = E_0 \cdot \sin 2\pi f \cdot t$, то при изменении ее частоты кривая резонанса будет иметь два максимума при частоте f_1 и f_2 . КПД передачи η растет, а передаваемая мощность уменьшается при увеличении коэффициента связи

$$\eta = \frac{\Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1} \quad (2.3)$$

где R_1 – активное сопротивление передающего контура; ΔR_1 – активное сопротивление, вносимое из принимающего контура в передающий. ΔR_1 зависит от частоты питающего генератора, от коэффициента взаимной индукции и параметров принимающего контура. Максимальная мощность передается при $\Delta R_1 = R_1$, при этом КПД передачи равен 50 %, а коэффициент

$$k = \sqrt{\frac{1}{Q_1 \cdot Q_2}} \quad (2.4)$$

где Q_1 , Q_2 - добротность контуров. Все рассмотренные выше формулы справедливы при постоянном возбуждении передающего контура. При ударном возбуждении КПД передачи увеличивается за счет снижения потерь в передающем контуре линии.

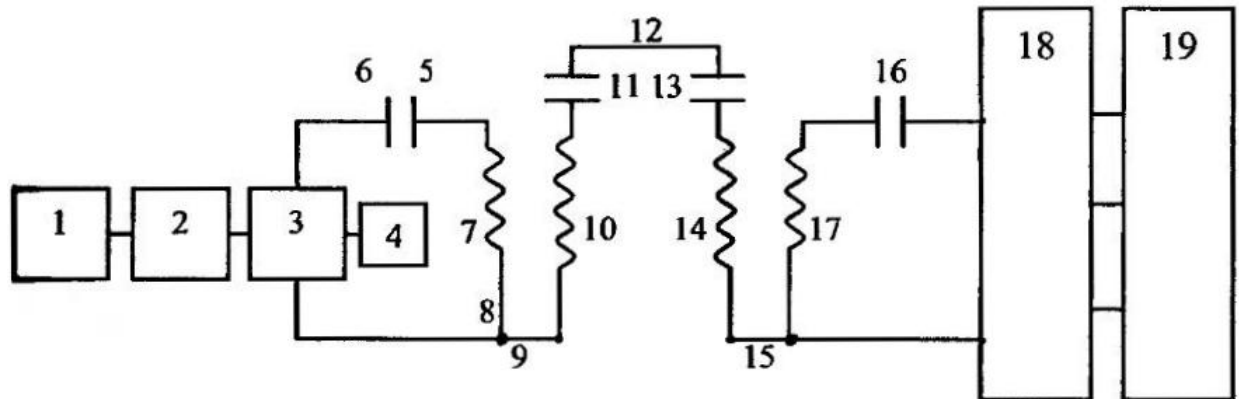
При переходе энергии из первого контур во второй, первый контур размыкается, и второй контур начинает колебаться как свободная система. При этом снижаются потери в первом контуре, который разомкнут, и в линии, в которой не происходит перекачка энергии из второго контура в первый контур.

Принцип работы резонансной электрической системы с ударным возбуждением заключается в том, что электрическую энергию генератора повышают по напряжению в высоковольтном трансформаторе до 1 – 1000 кВ и подают на управляемый быстродействующий коммутатор тока и на последовательный резонансный контур из емкости и индуктивности, образующей первичную обмотку высокочастотного высоковольтного трансформатора. Затем заряжают емкость резонансного контура до напряжения 1 – 1000 кВ, разряжают ёмкость в резонансном режиме на частоте 0,4 – 1000 кГц, через индуктивность и быстродействующий прерыватель тока за время 10 – 1000 мкс при величине тока 1 -500 кА. Энергию генератора накапливают в магнитном поле высокочастотного трансформатора, разрывают цепь коммутатора тока первичной обмотки и преобразуют накопленную энергию магнитного поля в электрическую энергию во вторичной обмотке высокочастотного трансформатора, повышают электрическую энергию по напряжению до 10 – 100000 кВ и передают ее в резонансном режиме потребителю.

Н. Тесла использовал в качестве коммутаторов тока искровые и дуговые механические и ртутные разрядники [П.3 – П.5]. В настоящее время

для этих целей используют полупроводниковые и газоразрядные приборы [1.4, 1.5].

На рисунке 2.4 представлена блок – схема способа передачи электрической энергии.



1 – генератор электрической энергии; 2 – высоковольтный трансформатор; 3 – быстродействующий сильноточный коммутатор; 4 блок управления; 5 – зарядная ёмкость; 6-последовательный резонансный контур; 7 – индуктивность L_0 резонансного контура; 8 - первичной обмоткой; 9- резонансный высокочастотный повышающий трансформатор; 10 – вторичная высоковольтная обмотка высокочастотного трансформатора; 11 – ёмкость резонансного контура вторичной обмотки повышающего высокочастотного трансформатора; 12 – однопроводниковая высоковольтная линия; 13 – ёмкость резонансного контура; 14- высоковольтная обмотка; 15-резонансный высокочастотный понижающий трансформатор; 16 – ёмкость резонансного контура; 17 низковольтная обмотка понижающего высокочастотного трансформатора; 18 – инвертор; 19 – нагрузка.

Рисунок 2.4- Блок – схема передачи электрической энергии при ударном возбуждении

Передача электрической энергии осуществляется следующим образом. Электрическая энергия от генератора 1 поступает в высоковольтный трансформатор 2. Высокое напряжение с трансформатора 2 подают на коммутатор тока 3 и на последовательный резонансный контур 6, при этом происходит заряд конденсатора 5 с емкостью C_0 . При увеличении напряжения на емкости C_0 блок управления 4 коммутатора 3 замыкает. Резонансные колебания с частотой

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}} \quad (2.5)$$

создают в цепи последовательно резонансного контура 6. На индуктивности L_0 возникает напряжение V_0 , которое превышает выходное напряжение высоковольтного трансформатора 2 в Q раз, где $Q = \frac{L_0}{R_0}$ - добротность резонансного контура 6, а R_0 – активное сопротивление контура 6.

Ток разряда конденсатора через коммутатор тока 3 и первичную обмотку 8 создает магнитное поле в резонансном трансформаторе 9. Когда энергия магнитного поля трансформатора 9 достигнет максимального значения, блок управления 4 коммутатора тока 3 разорвет цепь коммутатор 3. Так как первичная обмотка резонансного трансформатора 9 будет разомкнута, энергия магнитного поля резонансного трансформатора 9 выделится в виде энергии электрического поля в резонансном контуре высоковольтной обмотки 10 резонансного трансформатора 9. Напряжение на высоковольтной однопроводниковой линии 12, которая соединена с высокопотенциальным выводом высоковольтной обмотки 10 резонансного трансформатора 9, составит:

$$U_L = U_{\Gamma} \cdot n_{T_2} \cdot Q \cdot n_{T_9} \quad (2.6)$$

где U_{Γ} - напряжение на генераторе;

n_{T_2} – коэффициент трансформации высоковольтного трансформатора 2;

Q – добротность контура;

n_{T_9} – коэффициент трансформации резонансного трансформатора 9.

Принимая $U_{\Gamma} = 400$ В, $n_{T_2} = 25$, $Q = 50$, $n_{T_9} = 40$, получим напряжение на однопроводниковой линии 12

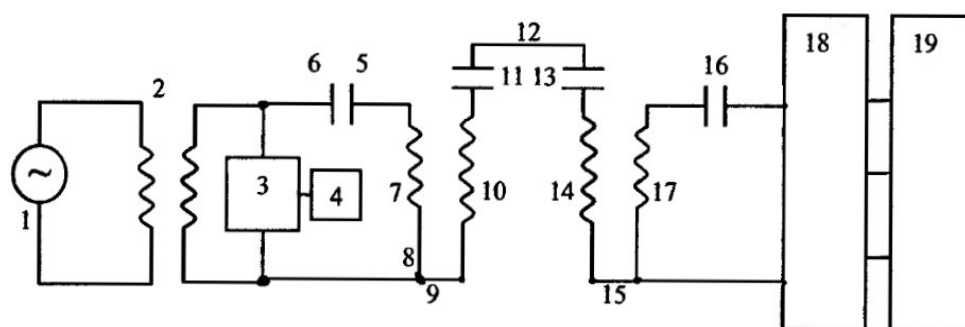
$$U_L = 400 \cdot 25 \cdot 50 \cdot 40 = 20 \text{ млн В}$$

Электрическая энергия распределена в однопроводниковой линии 12 в виде стоячих волн тока и напряжения со сдвигом фаз между волнами тока и напряжения во времени и пространстве. При длине 12 с учетом высоковольтных обмоток 10 и 14 высокочастотных трансформаторов 9 и 15, кратной четверти волны, линия 12 является последовательным резонансным контуром, а при длине линии 12, кратной целому числу полуволн, линия

ведет себя как параллельный резонансный контур [1]. На конце однопроводниковой линии 12 возникают резонансные колебания с частотой f_0 в резонансных контурах высоковольтной 14 обмотки и низковольтной 17 обмотки понижающего трансформатора 15. Электрическая энергия из резонансных контуров поступает в инвертор 18 и в нагрузку 19. Высоковольтный трансформатор 2 служит для увеличения передаваемой мощности и длины однопроводниковой волноводной линии.

На рисунке 2.5 представлена электрическая схема устройства для передачи электрической энергии с использованием однофазного генератора электрической энергии.

Однофазный генератор 1 соединен с высоковольтным трансформатором 2, к которому присоединен параллельно коммутатор тока 3 и последовательный резонансный контур 6 с зарядной емкостью 5 C_0 и индуктивностью 7 L_0 .

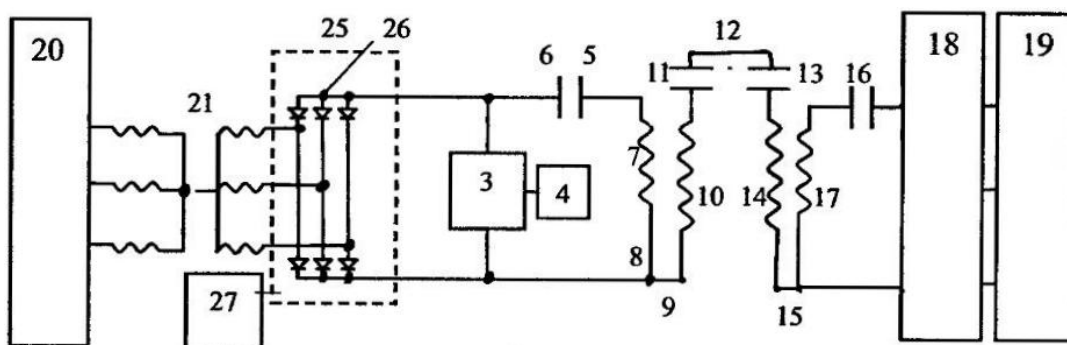


1 – генератор электрической энергии; 2 – высоковольтный трансформатор; 3 – быстродействующий силовоточный коммутатор; 4 блок управления; 5 – зарядная ёмкость; 6-последовательный резонансный контур; 7 – индуктивность L_0 резонансного контура; 8 – первичной обмоткой; 9- резонансный высокочастотный повышающий трансформатор; 10 – вторичная высоковольтная обмотка высокочастотного трансформатора; 11 – ёмкость резонансного контура вторичной обмотки повышающего высокочастотного трансформатора; 12 – однопроводниковая высоковольтная линия; 13 – ёмкость резонансного контура; 14-высоковольтная обмотка; 15-резонансный высокочастотный понижающий трансформатор; 16 – ёмкость резонансного контура; 17 низковольтная обмотка понижающего высокочастотного трансформатора; 18 – инвертор; 19 – нагрузка.

Рисунок 2.5. Электрическая схема устройства для передачи электрической энергии с использованием однофазного генератора

На рисунке 2.6 представлена электрическая схема устройства для передачи электрической энергии с использованием трехфазного генератора, управляемого выпрямителями и стабилизированного зарядного устройства, и однофазного высокочастотного трансформатора.

Трехфазный генератор 20 соединен с трехфазным трансформатором 21, у которого высоковольтные обмотки 22,23,24 соединены с управляемыми зарядным электрическим аппаратом 25 с блоком выпрямления 26, регулирования и стабилизации напряжения 27. Зарядный аппарат 25 соединен параллельно с коммутатором тока 3, с блоком управления 4 и последовательный резонансный контур 6 с зарядной емкостью 5 C_0 и индуктивностью 7 L_0 аналогично рисунку 2.14 и 2.15. Зарядный электрический аппарат 25 с блоком управления 27 имеет функции регулирования величины напряжения, выпрямления тока и стабилизации входного напряжения.



3 – быстродействующий сильноточный коммутатор; 4 блок управления; 5 – зарядная ёмкость; 6-последовательный резонансный контур; 7 – индуктивность L_0 резонансного контура; 8 - первичной обмоткой; 9- резонансный высокочастотный повышающий трансформатор; 10 – вторичная высоковольтная обмотка высокочастотного трансформатора; 11 – ёмкость резонансного контура вторичной обмотки повышающего высокочастотного трансформатора; 12 – однопроводниковая высоковольтная линия; 13 – ёмкость резонансного контура; 14-высоковольтная обмотка; 15-резонансный высокочастотный понижающий трансформатор; 16 – ёмкость резонансного контура; 17 низковольтная обмотка понижающего высокочастотного трансформатора; 18 – инвертор; 19 – нагрузка; 20 – генератор; 21 – трехфазный трансформатор; 22,23,24 – высоковольтные обмотки; 25 – электрический аппарат; 26 – блок выпрямления, 27 – блок стабилизации и регулирования напряжения.

Рисунок 2.6. Схема устройства для передачи электрической энергии с использованием трёхфазного генератора, управляемого выпрямителя и стабилизированного зарядного устройства, и однофазного высокочастотного трансформатора

Раздел 2.4. Способ и устройство передачи электрической энергии

Трехфазный генератор 20 (рисунок 2.6) с напряжением 400 В соединен с трехфазным повышающим трансформатором 21 0,4/10 кВ. Трехфазный выход трансформатора соединен с зарядным электрическим аппаратом 25 типа ИВН – 4, который выпрямляет токи, повышает напряжение генератора до 50 кВ. Аппарат ИВН – 4 имеет дистанционный блок управления 27 и стабильность поддержания напряжения 5% с уровнем пульсации напряжения не более 0,1%. Выход аппарата соединен с коммутатором тока 3 типа РГУ -1 - 50 -100 на основе газового разрядника с блоком управления 4. Технические характеристики коммутатора тока 3: рабочее напряжение 50 кВ, максимальный ток 100 кА, длительность тока 100 мкс – 1000 мкс, масса 5кг. Резонансный контур 6 настроен на частоту 50 кГц. Коэффициент трансформации трансформатора 21 $n = 20$. Добротность резонансного контура 6 $Q = 20$. Напряжение на однопроводниковой высоковольтной линии 12 $U = 500$ кВ.

Электрическая мощность, передаваемая от генератора 1 (рисунок 2.5) в первичную обмотку 8 высокочастотного резонансного повышающего трансформатора 9, равна:

$$P_{эл} = \frac{1}{2} \cdot C_o \cdot U^2 \cdot f_k \quad (2.7)$$

где U – напряжение на конденсаторе 5; C_o – ёмкость конденсатора 5; f_k – частота коммутатора 3,

$$f_k = \frac{1}{\tau_0 + \tau_p} ; \quad (2.8)$$

τ_0 – продолжительность резонансных колебаний с частотой f_0 в резонансном контуре 6, которая определяется временем нахождения коммутатора 3 в замкнутом состоянии;

τ_p – время заряда конденсатора 5 высоковольтного трансформатора 2 (рисунок 2.5) или от зарядного аппарата 25 (рисунок 2.6), равное времени нахождения коммутатора тока 3 в разомкнутом состоянии.

Для эффективной работы устройства необходимо, чтобы частота переключения коммутатора тока 3 f_k была значительно меньше частоты f_0 резонансных колебаний в контуре 6. Принимая $C_0 = 0,12$ мкф, $U = 70$ кВ, $\tau_0 = 100$ мкс, $\tau_p = 100$ мкс, получим:

$$f_k = \frac{1}{100 + 100} = 5 \text{ кГц}$$

В отличие от известных резонансных способов и устройств передачи электрической энергии в предлагаемом способе функции преобразователя частоты выполняет коммутатор тока 3 и резонансный контур 6, который выделяет из всего спектра электромагнитных колебаний, возникающих при замыкании коммутатора тока 3, колебания с резонансной частотой

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}} \quad (2.9)$$

которые через магнитное поле трансформатора 9 передают в высоковольтную обмотку 10 и в однопроводниковую линию 12. Это значительно снижает потери электрической энергии при преобразовании частоты и снижает стоимость устройства для передачи электрической энергии. Автоматическая настройка частоты резонанса f_0 в резонансном контуре 6 исключает необходимость согласования частоты преобразователя частоты с частотой f_0 резонансного контура, что упрощает управление устройством передачи электрической энергии и увеличивает его надежность.

Плюсом этой этого устройства является отсутствие ограничений передаваемой мощности, которые существуют в известных устройствах передачи электрической энергии по однопроводниковой линии в резонансном режиме и связаны с необходимостью изготовления и использования преобразователя частоты большой мощности. Так же можно выделить, возможность передачи мощных потоков электрической энергии с малыми потерями по однопроводниковому высоковольтному кабелю из многожильного провода сечением $0,1 - 100 \text{ мм}^2$ на расстояние $1 - 40000 \text{ км}$ при уровне мощности $1 - 100 \text{ ГВт}$ и напряжении $(10 - 100) \cdot 10^6 \text{ В}$.

Высокий КПД передачи электрической энергии объясняется тем, что передача электрической энергии не в виде бегущих волн тока и напряжения, как в обычных трехфазных линиях передач переменного тока, а в стационарном режиме, когда в однопроводниковой высоковольтной линии сформированы пучности и узлы стоячих волн напряжения и тока, генератор 20 затрачивает энергию на холостом ходу только на поддержание этих стоячих волн, в том числе и у потребителя, и ее не надо передавать вдоль линии в виде бегущих волн.

Трансформатор Н. Тесла [П.11] имел высоковольтную обмотку из тонкого проводника сечением $1 - 2 \text{ мм}^2$.

Если разработать конструкцию электрического высокочастотного трансформатора со спиральной высоковольтной обмоткой, которая состоит из нескольких последовательно соединённых секций изолированного проводника, площадь сечения которого различна для каждой секции и уменьшается по мере удаления секции от начала спиральной обмотки согласно уравнению:

$$\frac{\cos \varphi_i}{S_i} = \text{const}, \quad (2.10)$$

где $\cos \varphi_i$ – нормированное значение тока i – й секции; $\cos \varphi_i = I_i / I_0$, где I_i – ток в i -й секции, I_0 – ток в начале первой секции; S_i – сечение проводника в i -й секции; $0 \leq \varphi_i \leq \frac{\pi}{2}$.

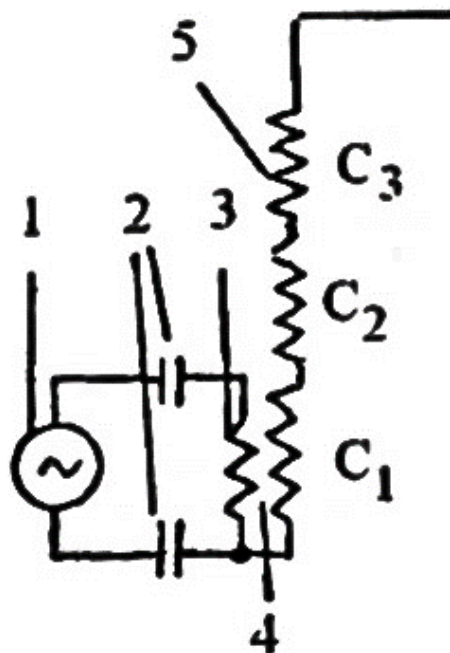
Начало спиральной обмотки соединено с концом низковольтной обмотки и через емкость с одним из выводов высокочастотного генератора.

На рисунке 2.7 представлена электрическая схема высокочастотного трансформатора, а на рисунке 2.8 показано распределение тока в секциях его высоковольтной обмотки.

Согласно рисунку 2.7 высокочастотный генератор 1 через ёмкости 2 подключен к низковольтной обмотке 3 высокочастотного трансформатора 4. Высоковольтная обмотка 5 выполнена в виде спиральной катушки с длиной проводника l_{Σ} равной $1/4$ длины волны тока и напряжения.

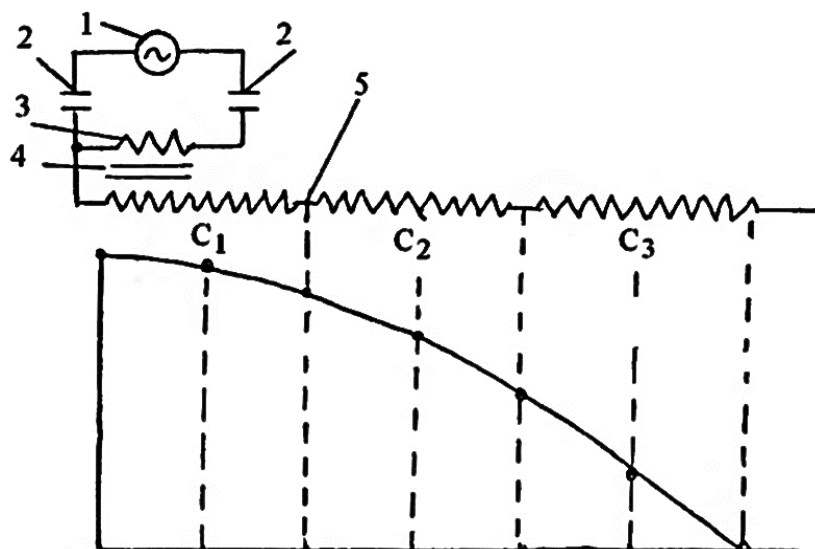
$$l_{\text{в}} = \frac{C}{4f_{\sigma}}, \quad (2.11)$$

где C – скорость электромагнитной волны.



1-генератор; 2 –ёмкости; 3- низковольтная обмотка;4-высокочастотный трансформатор;5высоковольтная обмотка.

Рисунок 2.7 - Электрическая схема высокочастотного резонансного трансформатора



1-генератор; 2 –ёмкости; 3- низковольтная обмотка;4-высокочастотный трансформатор;5высоковольтная обмотка.

Рисунок 2.8 - Распределение тока в секциях высоковольтной обмотки высокочастотного трансформатора

При частоте генератора $f_o = 25 \text{ кГц}$:

$$l_{\Sigma} = \frac{3 \cdot 10^9}{4 \cdot 25 \cdot 10^3} = 3000 \text{ м.}$$

Высоковольтная обмотка 5 состоит из секций C_1, C_2, C_3 с разным сечением проводника.

На рисунке 2.8 показано распределение волны тока в четвертьволновой линии спиральной высоковольтной обмотки.

Средняя плотность тока j_i в каждой секции C_i равна:

$$j_i = \frac{I_i}{S_i} = \frac{I_o \cdot \cos \varphi_i}{S_i}, \quad (2.12)$$

где $I_i = I_o \cdot \cos \varphi_i$ – средний ток в i – й секции; I_o – ток в первой секции; S_i – сечение проводника в i -й секции.

Считая плотность тока $j_i = A$ постоянной вдоль проводника высоковольтной обмотки, получим уравнение:

$$\frac{I_o \cdot \cos \varphi_i}{S_i} = A, \quad (2.13)$$

где $A = \text{const}$, постоянная величина.

Так как I_o – фиксированная величина тока для данного трансформатора и режима передачи электроэнергии, разделим обе части равенства на I_o получим уравнение:

$$\frac{\cos \varphi_i}{S_i} = B, \quad (2.14)$$

где B – новая постоянная величина, а $\cos \varphi_i$ – нормированное значение тока в i -й секции спиральной обмотки.

$$\cos \varphi_i = \frac{I_i}{I_o}. \quad (2.15)$$

На рисунке 3.1 высоковольтная спиральная обмотка четвертьволновой длиной 3000 м при частоте 25 кГц содержит три секции по 1000 м каждая. Примем средние значения нормированных токов для секции C_1 : $\varphi_1 = 15^\circ$, $\cos \varphi_1 = 0,996$; для секции C_2 : $\varphi_2 = 45^\circ$, $\cos \varphi_2 = 0,707$; для секции C_3 : $\varphi_3 = 75^\circ$, $\cos \varphi_3 = 0,26$.

Для выполнения условия (1.9) одинаковой плотности токов во всех секциях обмотки 5 получаем соотношения для сечений проводника в секциях:

$$S_1 = 0.996 B, \text{ где } B = \text{const};$$

$$S_2 = 0.707 B;$$

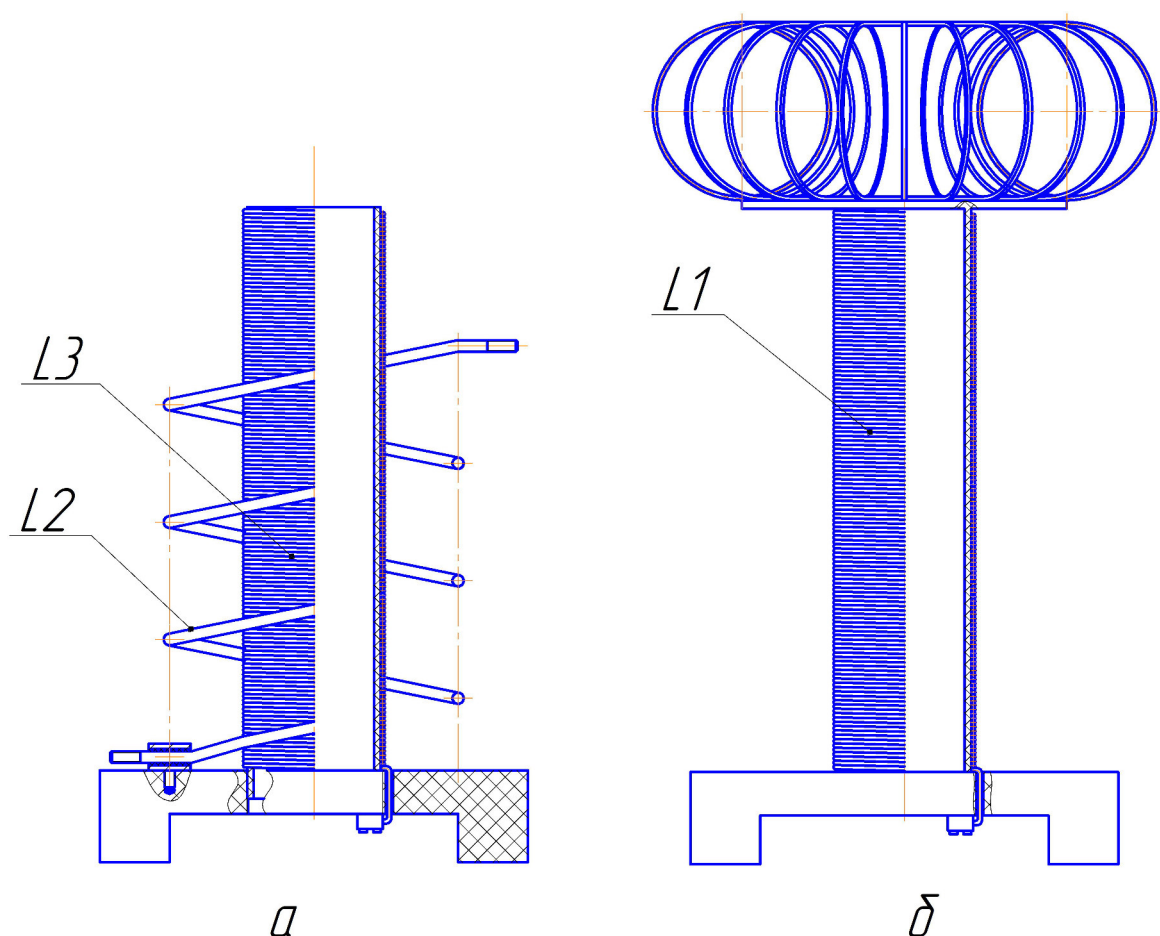
$$S_3 = 0.26 B;$$

$$\frac{S_1}{S_2} = 1.37; \quad \frac{S_2}{S_3} = 2.72; \quad \frac{S_1}{S_3} = 3.71.$$

Выбираем сечения для секций проводника: $S_1 = 1,37 \text{ мм}^2$, $S_2 = 2,72 \text{ мм}^2$, $S_3 = 3,71 \text{ мм}^2$.

3. КОНСТРУКТИВНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Выбор трансформатора для питания электрической нагрузки однопроводниковой системы



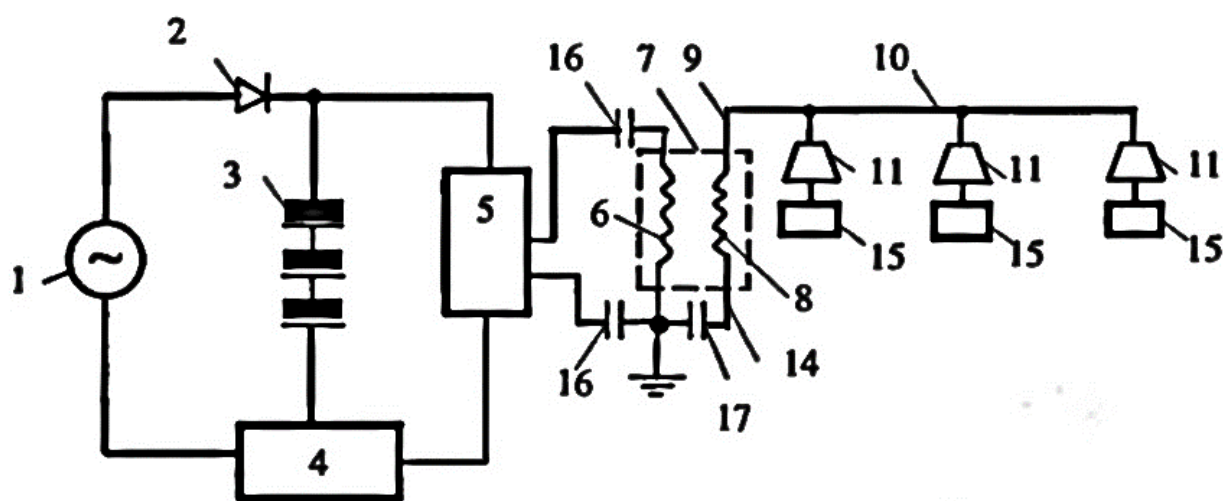
а – трансформатор источник, б – трансформатор приемник, L1 – катушка приемника, L2 – первичная катушка источника, L3 – вторичная катушка источника,

Рисунок 3.1 – Резонансный трансформатор Тесла

В существующий линиях электропередач и электрических приборах используют активный ток и поэтому для согласования традиционного и резонансного метода передачи электрической энергии в начале и в конце однопроводной линии электропередач устанавливают преобразователи, что

					В И Р Э Е Л З Л С 1 С С 1 0 О П З О О О О						
					Высокочастот ный	Лит.			Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					-	-	
Разр		Хайрутдинов									
Провер.		Хусаинов Р.К.									
Т. Контр.											
Реценз.						Лис 1			Листов		
Н. Контр.		Хусаинов Р.К.				Казанский ГАУ каф					
Утверд.		Халиуллин Д.Т.									

увеличивает стоимость системы. В ВИЭСХе проводят работы по созданию резонансных аппаратов, которые непосредственно вырабатывают и используют электрическую энергию в однопроводной системе [8,9]. Более надежными и экономичными осветительными приборами являются светильники с полупроводниковыми светодиодами, которые имеют КПД до 75 % и срок службы до 100 тысяч часов. Экспериментально подтверждено, что светодиодные светильники обладают свойством работать от однопроводной линии, используя при этом положительные и отрицательные полуволны реактивного тока однопроводной линии [10].



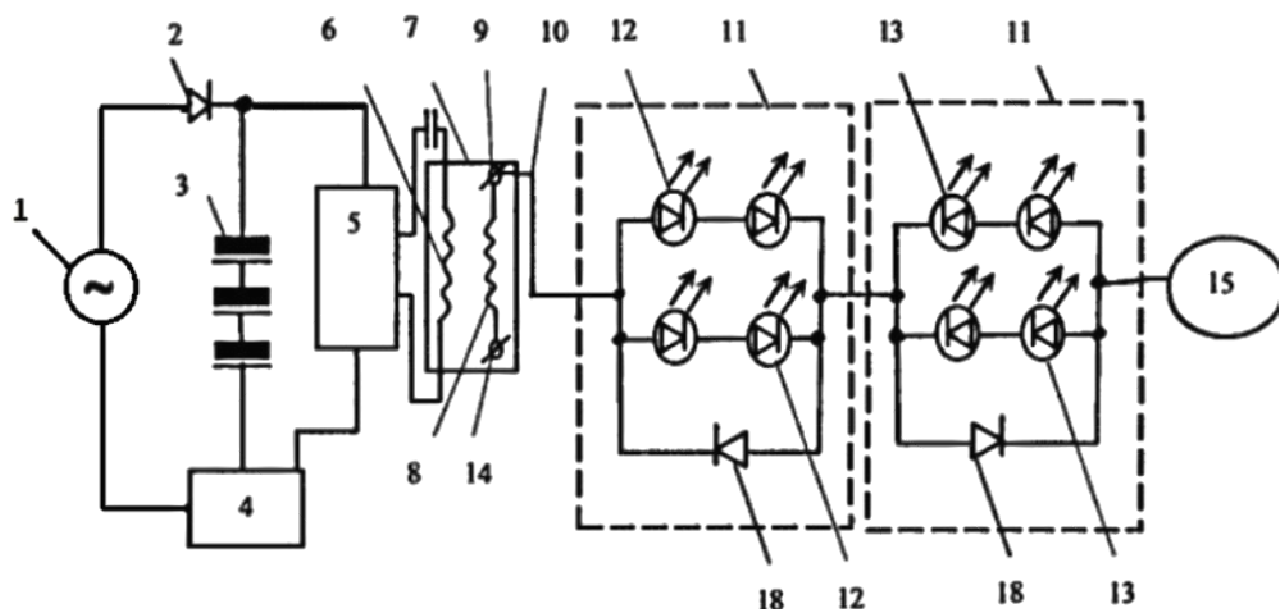
1-источник электрической энергии; 2-диод; 3-аккумулятор; 4-контроллер заряда; 5-преобразователь; 6-низковольтная обмотка; 7-повышающий высоковольтный резонансный трансформатор; 8-высоковольтная обмотка; 9-высоковольтный вывод; 10-однопроводная линия; 11- светильники; 14-низкопотенциальный вывод; 15-естественная ёмкость; 16- резонансные конденсаторы.

Рисунок 3.2 - Общая схема подключения светильников к однопроводной линии

На рисунке 3.2 представлена схема подключения светильников к однопроводной линии, где принцип работы таков, что электрическая энергия от источника электроэнергии или от аккумулятора с контроллером подается на вход преобразователя, потом через резонансные конденсаторы на низковольтную обмотку повышающего высокочастотного трансформатора. Диод не дает разрядится аккумулятору и низко потенциалный вывод 12

высоковольтной обмотки через разделительный конденсатор заземлен. Высоковольтная обмотка своим высоковольтным выводом соединена однопроводной линией со светильниками, имеющими естественную ёмкость. Это способствует осуществлению подачи электроэнергии к светильникам и собственно, их работа.

На рисунке 3.3 представлен светильник, состоящий из двух светодиодных светильников 11, каждый из которых содержит по две встречно включенные цепи из двух последовательно соединенных светодиодов параллельно которых подключены диоды.



1-источник электрической энергии; 2-диод; 3-аккумулятор; 4-контроллер заряда; 5-преобразователь; 6-низковольтная обмотка; 7-повышающий высоковольтный резонансный трансформатор; 8-высоковольтная обмотка; 9-высоковольтный вывод; 10-однопроводная линия; 11- светильники; 12,13-светодиоды; 14-низкопотенциальный вывод; 15-естественная ёмкость; 18-диод.

Рисунок 3.3 – Схема светильника из двух параллельно соединенных цепей сверхярких светодиодов с диодом

Светильник работает следующим образом. Электрическую энергию от источников энергии преобразуют по частоте в преобразователе частоты 5, повышают по напряжению с помощью повышающего высокочастотного

резонансного трансформатора и создают резонансные колебания тока и напряжения в первичной обмотке, вторичной обмотке и в однопроводной линии с частотой $f_o = 1 - 100$ кГц, равной частоте преобразователя.

Так как однопроводная линия относительно обмотки разомкнута, между током и напряжением существует фазовый сдвиг 90 градусов. Ток опережает напряжение на 90 градусов и перезаряжает ёмкость однопроводной линии, ёмкость светильников и естественную ёмкость 15.

Электромагнитная энергия в виде потока волн ёмкостного тока и напряжения перемещается от вывода 9 с высоким потенциалом через светильники к естественной ёмкости с более низким потенциалом, поэтому джоулевые потери энергии в незамкнутом проводнике малы. Положительная полуволна тока и напряжения проходит через светодиоды, включенные в прямом направлении, создавая на них падение напряжения 2 – 6 В. Положительные полуволны вызывают свечение согласно включенных светодиодов, а отрицательные полуволны тока и напряжения вызывают свечение встречно включенных светодиодов.

Пример выполнения устройства солнечного светильника

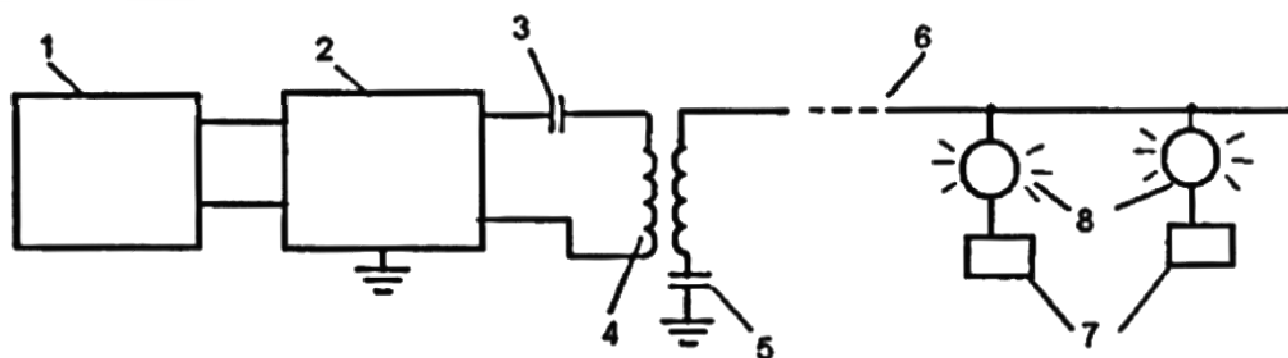
Данные устройства:

- Батарея мощностью 30 Вт, напряжением 12 В;
- Аккумулятора батарея 12 В включены для работы с преобразователем частоты 50 кГц, мощностью 15 Вт, с выходным напряжением 12 В.
- Повышающий высокочастотный резонансный трансформатор содержит 8 витков низковольтной обмотки и 2500 витков высоковольтной обмотки, при этом на высоковольтном выводе генерируется потенциал с напряжением 1,5 кВ при частоте 50 кГц.
- Светильник состоит из 4 пар встречно-параллельно соединенных светодиодов типа СКЛ – 19 белого свечения, с рабочим напряжением 6 В, силой света по 450 мкд и рабочим током до 30 мА каждый.

					<i>ВКР ЭГ ПЗ ПС 1СС 10 ОПЗ ПП П</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

За счет потребления высокочастотной электрической энергии в резонансном режиме осуществляется работа светильников с высоким КПД, равным 70 – 75% с передачей энергии от источника энергии к светильнику по однопроводной линии с малыми потерями в проводнике. При питании светильника по однопроводной линии исключается возможность короткого замыкания, так как отсутствуют проводники с разностью потенциалов между ними, как обычных электрических сетях. В качестве источника электрической энергии может быть использован любой источник энергии.

Разработана так же резонансная система электрического освещения с люминесцентными лампами ЛДЦ – 20. Блок питания содержит источник питания, преобразователь частоты, резонансный трансформатор, электрическую линию и светильники на основе газоразрядных ламп низкого давления. Преобразователь частоты соединен с резонансным трансформатором и последовательным резонансным контуром, выход которого соединен с однопроводниковой линией. Блок-схема резонансной системы освещения представлена на рисунке 3.4



1-источник питания; 2-преобразователь частоты; 3-конденсатор; 4-резонансный трансформатор; 5-конденсатор; 6-однопроводная линия; 7-естественная ёмкость; 8-светильники.

Рисунок 3.4 – Блок-схема резонансной системы освещения

Установка резонансной системы электрического освещения работает следующим образом. Напряжение источника электрической

					Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР 25 02 06 166 10 ОПЗ 00 0	

энергии, подводимое к преобразователю частоты, преобразуется в напряжение высокой частоты и через конденсатор подаётся на резонансный трансформатор, с высоковольтного вывода которого напряжение подается в однопроводную линию. К высоковольтной линии светильники соединены параллельно, одним выводом, второй вывод каждого светильника соединён с естественной ёмкостью в виде изолированного проводящего тела или с землёй.

Таблица 3.1-Параметры резонансной системы электрического освещения

Кол-во ламп на линии, шт.	Преобразователь частоты		Напряжение на линии, $U_{л}$, В	Светильник (3-х ламповый)			
	Напряжение питания U , В	Потребляемая мощность P , Вт		Напряжение на лампах $U_{л}$, В	Ток через лампы I , А	Мощность суммарная P , Вт	КПД передачи
3	220	40	1200	100	0,3	30	75
6	220	90	1100	97	0,27	78	86
15	220	150	1000	95	0,26	123	82
30	220	290	970	93	0,24	223	78

Электромагнитная энергия в виде потока волн тока и напряжения перемещается от вывода с высоким потенциалом через светильники к естественной ёмкости с более низким потенциалом. За счет разности потенциалов происходит ионизация газа внутри ламп низкого давления и пробой промежутка между катодами. Через лампу протекает электрический ток, вызывающий полную ионизацию газа и свечение люминофора. Результаты измерения электрических параметров оборудования резонансной системы электрического освещения при работе с различным количеством ламп ЛДЦ представлены в таблице 3.1. Технические характеристики резонансной системы электрического освещения показаны в таблице 3.2.

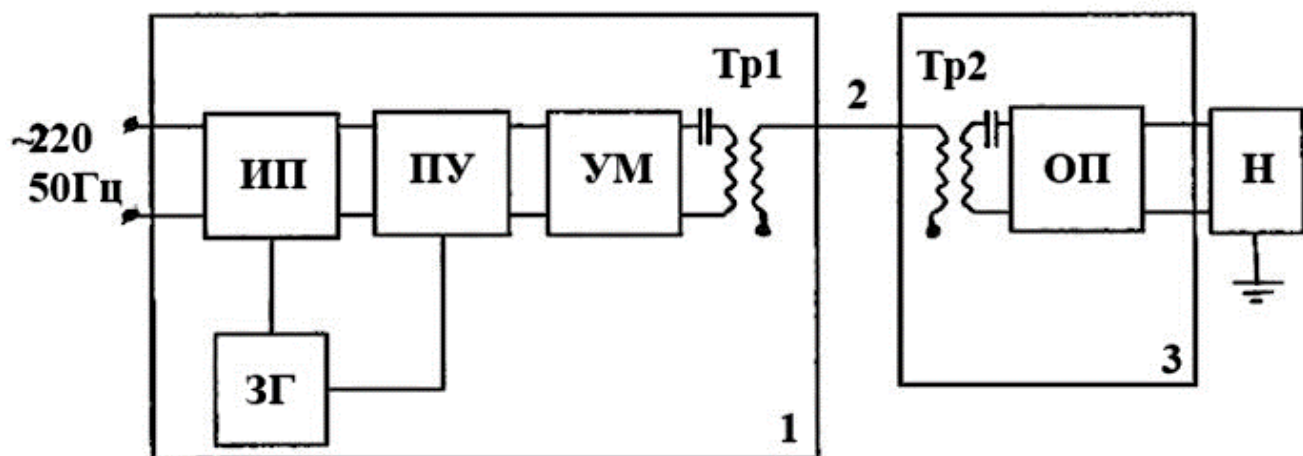
**Таблица 3.2 - Техническая характеристика резонансной системы
электрического освещения**

<i>Светильники</i>	
Источники света	люминесцентные лампы ЛДЦ-20
Габаритные размеры светильника, см	55×40
Количество ламп в светильнике, шт.	3
Количество светильников, шт.	10
Высота подвеса, м	4
<i>Преобразователь частоты</i>	
Потребляемая мощность, Вт	290
КПД передачи, %	75-85
Рабочая частота, кГц	3,5-5,0
Масса блока питания, кг	2
<i>Однопроводная линия</i>	
Напряжение на линии, В	950...1200
Материал	провод ПВВ 1×1 мм ²
Длина опоры, м	5

3.2 Резонансная однопроводная электрическая система мощностью на 0,1 кВт

Экспериментальный образец малогабаритной резонансной однопроводной электрической системы мощностью 0,1 кВт предназначен для демонстрации нового метода передачи электрической энергии и питания электроустановок по различным проводящим средам и материалам, для использования в качестве генератора при проведении опытов с разрабатываемыми электротехнологическими установками. Комплект оборудования ОЭС состоит из резонансного частотного преобразователя, линии связи и приемного блока с нагрузкой. На рисунке 3.5 представлена структурная блок - схема резонансной однопроводной электрической системы на 0,1 кВт, с обозначениями отдельных узлов и элементов.

					ВКР ЭБ ОЭ ОБ 166 10 ОПЗ ОО П	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



ИП – источник питания 9В, 16-35 В
ЗГ – задающий генератор 20-80 кГц
ПУ – предварительный усилитель мощности
УМ – усилитель мощности
Тр1 – передающий ВЧ-трансформатор
Тр2 – принимающий ВЧ-трансформатор
ОП – обратный преобразователь
Н – нагрузочный модуль 24В, 100 Вт
1 – частотный преобразователь
2 – однопроводная линия связи
3 – приемный блок

Рисунок 3.5 - Структурная блок - схема резонансной однопроводной электрической системы на 0,1 кВт

Техническая характеристика переносной малогабаритной однопроводной системы в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Техническая характеристика переносной малогабаритной однопроводной системы

Частотный преобразователь	
Источник питания	Электрическая сеть 220 В, 50 Гц
Напряжение питания узлов схемы, В	9;35
Максимальная потребляемая мощность, Вт	120
Частота, кГц	20 – 80
Масса, кг	5,5
Габаритные размеры, мм	290×240×120

Обратный преобразователь	
Выходное напряжение, В	12
Выходная мощность, не менее, Вт	100
Масса, кг	2
Габаритные размеры, мм	260×160×95

Установка позволяет передавать по медному высоковольтному изолированному проводу марки ПВВ – 1 сечением 1мм² длиной 3 и 10 м и другим проводникам электрическую мощность 100 Вт, выделяемую на нагрузочном модуле, состоящем из ламп накаливания и двигателя постоянного тока, что определено по показаниям электроизмерительных приборов, а также визуально по яркости света ламп и вращающемуся электродвигателю.

Частотный преобразователь с передающим повышающим трансформатором соединяется одним проводником с приемным понижающим трансформатором обратного преобразователя и нагрузкой. Установка резонансной однопроводной электрической системы на 0,1 кВт, питается от электрической сети 220 В, 50 Гц. Источник питания состоит из трансформатора и двух стабилизаторов напряжения. Стабилизатор напряжения питания схемы 9 В, 0,3 А собран по схеме стабилизатора с эмиттерным повторителем.

Регулируемый стабилизатор напряжением 1 – 35 В собран по двухтранзисторной схеме с обратной связью и имеет защиту от перегрузок и коротких замыканий. Задающий генератор собран на двух логических элементах микросхемы с задающими резисторами, которыми регулируется частота прямоугольных импульсов в пределах 20 – 80 кГц, а два других элемента этой микросхемы служат буферными усилителями. Предварительный усилитель и усилитель мощности выполнены на транзисторах, установленных на теплоотводе, и содержит развязывающий

					<i>ВКР ЭБ 02 06 166 10 ОПЗ 00 0</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

трансформатор, предотвращающий прохождение высокого напряжения в выходной каскад усилителя.

Преобразователь частоты с вентилятором охлаждения и повышающим трансформатором смонтированы в пластиковом корпусе. На передней панели частного преобразователя расположены тумблер включения установки, световой индикатор напряжения, регуляторы плавной перестройки частоты и напряжения, амперметр, две клеммы вывода от трансформатора и клемма заземления.

Обратный преобразователь с повышающим трансформатором собраны также. На передней панели обратного преобразователя расположен индикатор напряжения, переключатель диапазонов частоты, амперметр и вольтметр. На задней панели расположены два вывода приемного понижающего трансформатора, выходные клеммы для подключения нагрузки, клемма заземления.

Пониженное до 12 В напряжение выпрямляется и подается на нагрузку, которой служат две лампы накаливания по 55 Вт и электродвигатель постоянного тока мощностью 5 Вт. Величина напряжения и тока нагрузки контролируется вольтметром и амперметром, которые установлены на передней панели корпуса обратного преобразователя.

При включении установки регулятором частоты задающего генератора необходимо по максимальному значению тока найти резонансную частоту системы, которая зависит от длины линии и величины нагрузки, а затем регулятором напряжения установить требуемое напряжение 12 В нагрузки. На нагрузочном модуле, подключенном к выходу обратного преобразователя, зажигаются лампочки и вращается электродвигатель.

Для оценки технических характеристик установки резонансной однопроводной электрической системой на 0,1 кВт исследована зависимость передаваемой мощности от напряжения U_n на однопроводной линии. Напряжение на однопроводной линии контролировалось киловольтметром С50 с пределом измерений от 0 до 1,5 кВ. Регулятором напряжения

передающего блока изменялось напряжением на однопроводной линии в пределах 410 – 1500 В, а измерительным комплектом К–505 измерялись электрические параметры в цепи нагрузки. Результаты измерений приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Результаты измерений параметров резонансной однопроводной электрической системы на 0,1 кВт

Параметры	Величина показателей									
Напряжение на линии, U_n , В	410	510	600	700	800	900	1000	1100	1200	1500
Напряжение на грузки, $U_{нагр}$, В	2,7	4,5	6	7,5	8	8,5	9	10	11	12
Ток нагрузки $I_{нагр}$, А	3	4,5	6	6,5	7	7,5	7,8	8,1	8,5	8,7
Мощность нагрузки $P_{нагр}$, Вт	8,1	18	36	48,7	56	63,7	70,2	81	93	104,4

Из результатов приведенных исследований резонансной однопроводной электрической системы на 0,1 кВт, следует, что применяемые в схеме высокочастотные трансформаторы имеют собственную резонансную частоту, согласованную с частотой преобразователя.

3.3 Техника безопасности

При работе с трансформатором должны выполняться требования «Правил техники безопасности при электромонтажных и наладочных работах», утвержденные Минэнерго СССР 29 апреля 1972 г. и Минмонтажспецстроем СССР 2 июня 1972 г.

Персонал, допущенный к работе с трансформатором, должен знать НТ-4 в объеме настоящего паспорта.

Установка должен быть заземлен.

					ВКР 25 02 06 166 10 ОПЗ 00 0					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Подключение вторичной обмотки производить при отключенной первичной обмотке трансформатора.

Экологичность и безопасность

В кабельном исполнении резонансная однопроводная система передачи электроэнергии абсолютно безопасна для человека и окружающей среды.

Для входных и выходных устройств РОЭС разработана безопасная система обслуживания.

К стенду подведено напряжение 220 В - опасное для жизни.

Перед сборкой убедитесь, что напряжение на стенде отсутствует

Не используйте проводов с поврежденной изоляцией.

Надежно закрепляйте наконечники проводов клеммами, особенно в тех случаях, когда под клеммой находятся несколько наконечников.

Категорически запрещается включение схемы без проверки.

Все изменения в схеме производятся только при снятии напряжения.

Повторное включение схемы производится только после проверки.

Во время работы не касайтесь клемм и клемм измерительных приборов.

В случае возникновения аварийных ситуаций немедленно отключите стенд нажатием на красную кнопку автомата АП.

3.4 Физическая культура на производстве

Физическая культура на производстве – важный фактор ускорения научно-технического прогресса и производительности труда. Основным средством физической культуры являются физические упражнения, направленные на совершенствование жизненно важных сторон индивидуума, способствуя развитию его двигательных качеств, умений и навыков, необходимых для профессиональной деятельности. С этой целью используются следующие способы и методы по развитию физических способностей:

					ВКР ЭБ 02 06 166 10 ОПЗ 00 0	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- ударные дозированные движения в вынужденных позах;
- выработка вращательных движений пальцев и кистей рук;
- развитие статической и динамической выносливости мышц пальцев и кистей рук;
- развитие ручной ловкости, кожной и мышечно-суставной чувствительности, глазомера;
- развитие силы и статической выносливости позных мышц спины, живота и разгибателей бедра;
- развитие точности усилий мышцами плечевого пояса.

Занятия по физической культуре на производстве должны включать различные виды спорта, благодаря которым сохраняется здоровье человека, его психическое благополучие и совершенствуются физические способности. Творческое использование физкультурно-спортивной деятельности в этих условиях направлено на достижение жизненно-важных и профессиональных целей индивидуума.

3.5 Экономическое обоснование конструкции

Расчёт массы и стоимости конструкции

Масса конструкции определяется по формуле:

$$G = (G_K + G_{\Gamma})k, \quad (3.1)$$

где G – масса конструкции, кг;

G_K – масса сконструированных деталей, кг;

G_{Γ} – масса готовых деталей, кг, $G_{\Gamma} = 723$;

k – коэффициент, учитывающий массу израсходованных на изготовление конструкции материалов.

Расчетную массу спроектированных деталей и узлов и агрегатов приводим в таблице 3.5

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ДИП ЭГ ОЗ ОЕ 166 10 ОПЗ ОО О					

Таблица 3.5 – Расчёт массы спроектированных деталей

Наименование изделие	Объём детали, см ³	Плотность, кг/см ³	Масса детали, кг
инвертор	3100x2	0,002	6,2
опора	1381x4	0,002	5,5
фиксатор проволоки	60,5x4	0,002	0,97
трансформатор	2550x2	0,002	10,2

Масса сконструированных деталей определяется:

$$G_{ск} = (G_{\text{г}} + G_{\text{к}} + G_{\text{п}} + G_{\text{ш}}), \quad (3.2)$$

где $G_{\text{н}}$ – масса инвертора, кг;

$G_{\text{к}}$ – масса опоры, кг;

$G_{\text{п}}$ – масса фиксатор проволоки, кг;

$G_{\text{ш}}$ – масса трансформатора, кг.

Принимая во внимание, что

$G_{\text{в}}=5,5$, $G_{\text{к}}=6,2$, $G_{\text{п}}=0,97$, $G_{\text{ш}}= 10,2$, определяем значения масс:

$$G_{\text{к}} = (5,5 + 6,2 + 0,97 + 10,2) = 22,87 \text{ кг}$$

$$G = (22,87 + 723)1,05 = 783 \text{ кг}$$

Балансовая стоимость новой конструкции по сопоставимости массы определяется по:

$$C_{\text{б1}} = \frac{C_{\text{б0}} \cdot G_1 \cdot \delta}{G_0},$$

(3.3)

где $C_{\text{б}}$, $C_{\text{б1}}$ – балансовая стоимость старой детали, руб.;

G_0 ; G_1 – масса старой и новой конструкции, кг;

δ – коэффициент удешевления конструкции.

Принимая значения как

$C_{\text{б0}}=52100$ руб; $G_0=830$ кг, $\delta=0,9...0,95$, $G_1=783$ кг

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ДИД ЭБ АЗ АБ 166 10 ОПЗ 000	

получаем:

$$C_{б1} = \frac{52100 \cdot 783 \cdot 0,9}{830} = 44234 \text{ руб.}$$

Расчёт технико-экономических показателей эффективности конструкции и их сравнение

Часовая производительность машин определяется из конструктивных расчётов:

$$W_1 = 1230 \text{ кг/ч};$$

$$W_0 = 1000 \text{ кг/ч.}$$

Энергоемкость процесса определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_e = \frac{N_t}{W_r}, \quad (3.4)$$

где N_e – потребляемая мощность, кВт;

W_r – часовая производительность, кг/ч.

Учитывая, что $N_e = 0,75$, находим:

$$\mathcal{E}_0 = \frac{0,75}{1000} = 0,00075 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{кг},$$

$$\mathcal{E}_1 = \frac{0,75}{1230} = 0,0006 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{кг}.$$

Металлоёмкость процесса определяется по формуле:

$$M = \frac{G}{W_r \cdot T_{год} \cdot T_c}, \quad (3.5)$$

где G – конструкции, кг;

$T_{год}$ – годовая загрузка машины;

T_c – срок службы машин, лет.

Учитывая, что $G_0 = 830$, $G_1 = 783$, $W_0 = 1000$, $W_1 = 1230$, $T_{год1,0} = 1350$,

$T_{с1,0} = 5$, находим:

$$M_0 = \frac{830}{1000 \cdot 1350 \cdot 5} = 0,00012 \text{ кг} / \text{кг},$$

$$M_1 = \frac{783}{1230 \cdot 1350 \cdot 5} = 0,00009 \text{ кг} / \text{кг}.$$

Фондоёмкость процесса определяется по формуле:

$$F = \frac{C_б}{W_z \cdot T_{зод} T_{сл}}, \quad (3.6)$$

где $C_б$ – балансовая совместимость конструкции, руб.;

Принимая из расчетов, что $C_{б1}=44234$ руб., $C_{б0}=52100$ руб., определяем:

$$F_0 = \frac{52100}{1000 \cdot 1350 \cdot 5} = 0,0077 \text{ руб} / \text{кг}$$

$$F_1 = \frac{44234}{1230 \cdot 1350 \cdot 5} = 0,0053 \text{ руб} / \text{кг}$$

Себестоимость исходного и проектируемого варианта определяется:

$$S = C_{з.п.} + C_э + C_{пто} + A, \quad (3.7)$$

где $C_{з.п.}$ – затраты оплату труда, руб./кг;

$C_э$ – затраты на электроэнергию, руб/кг;

$C_{пто}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание конструкции, руб;

A – амортизационный отчисления на продукцию, руб/кг;

$$C_{з.п.} = z \cdot T_e \cdot K_{\partial} \cdot K_{ст} \cdot K_{от} \cdot K_{сс}, \quad (3.8)$$

где z – тарифная ставка, руб;

T_e – трудоёмкость, чел/кг.

$$T_e = \frac{\Pi_p}{W_r}, \quad (3.9)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР ЭБ 02 06 166 10 ОПЗ 00 0	

$$T_{eo} = \frac{1}{1000} = 0,001 \text{ ч/кг},$$

$$T_{el} = \frac{1}{1230} = 0,0008 \text{ ч/кг},$$

$$C_{3.n0} = 51,8 \cdot 0,001 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,12 = 0,07 \text{ руб/кг},$$

$$C_{3.n1} = 51,8 \cdot 0,0008 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,12 = 0,057 \text{ руб/кг}.$$

Определяем затраты на электроэнергию:

$$C_3 = C_3 \cdot \mathcal{E}_c, \quad (3.10)$$

где C_3 – отпускная цена электроэнергии, руб./кВт·ч;

$\mathcal{E}_c$ – потребляемая мощность, кВт·ч.

Принимая во внимание, что $C_3 = 2,79$ руб./кВт·ч, $\mathcal{E}_{e0} = 0,00075$; $\mathcal{E}_{e1} = 0,0006$, находим:

$$C_{30} = 2,79 \cdot 0,00075 = 0,0011 \text{ руб/кг},$$

$$C_{31} = 2,79 \cdot 0,0006 = 0,0009 \text{ руб/кг}.$$

Затраты на РТО конструкции определяется по формуле:

$$C_{пто} = \frac{C_6 \cdot H_{пто}}{100 \cdot W_2 \cdot T_{год}}, \quad (3.11)$$

где $H_{пто}$ – суммарная норма затрат на РТО, %.

$$C_{пто0} = \frac{52100 \cdot 19,8}{100 \cdot 1000 \cdot 1350} = 0,0076 \text{ руб/кг},$$

$$C_{пто1} = \frac{44234 \cdot 19,8}{100 \cdot 1230 \cdot 1350} = 0,0053 \text{ руб/кг}.$$

Амортизационные отчисления определяются как:

$$A = \frac{C_6 \cdot a}{100 \cdot W_4 \cdot T_{год}}, \quad (3.12)$$

где a – норма амортизации, %.

Принимая по нормативам, что $a_{0,1} = 18$, находим

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$E_{эф} = \frac{\mathcal{E}_{год}}{C_6} = \frac{1}{T_{ок}},$$

$$E_{эф} = \frac{1}{1,49} = 0,67$$
(3.17)

Сравнительные технико-экономические показатели эффективности конструкции.

Таблица 3.6.

№	Наименование показателей	Ед. измер.	Базовой (исходной)	проектируемой
1.	Часовая производительность	кг/ч	1000	1230
2.	Фондоёмкость процесса	руб/кг	0,0077	0,0053
3.	Энергоёмкость процесса	кВт/кг	0,00075	0,0006
4.	Металлоёмкость процесса	кг/кг	0,00012	0,00009
5.	Трудоёмкость процесса	ч-ч/кг	0,001	0,0008
6.	Уровень эксплуатационных затрат	руб/кг	0,0858	0,068
7.	Уровень приведённых затрат	руб/кг	0,087	0,069
8.	Годовая экономия	руб	-	29621
9.	Годовой экономический эффект	руб	-	30216
10.	Срок окупаемости капитала вложений	лет	-	1,49
11.	Коэффициент эффективности капитальных вложений	-		0,67

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Однопроводная система передачи электроэнергии существенно снижает затраты на строительство как линий электропередач, так и на их эксплуатацию.

2 На основании приведенного теоретического материала, обоснована структура системы однопроводной линии электропередач с учетом требований к надежности электроснабжения в различных режимах работы.

3. Появилась возможность создания сверхдальних кабельных линий электропередач в труднодоступных местах и местах, в которых подача затруднена в связи с отсутствием электричества.

4. Обрыв резонансной однопроводной линии приводит к ее отключению, что позволяет сберечь её от перенапряжения.

5. Экономия денежных затрат при монтаже и проводниковых материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко С.В. Способ питания электротехнических устройств и устройство для его осуществления // Патент 2108649 С1 RU. Бюлл. изобр. 1998. № 10 - с. 319.
2. Булгариев Г.Г. Методические указания по анализу хозяйственной деятельности предприятий в дипломных проектах (для студентов ИМ и ТС) /Г.Г. Булгариев, Абдрахманов Р.К., Калимуллин М.Н., Булатова Н.В.// Казанский государственный аграрный университет – Казань, 2011 – 35 с.
3. Булгариев Г.Г. Методические указания по экономическому обоснованию дипломных проектов и выпускных работ квалификационных работ/ Булгариев Г.Г., Абдрахманов Р.К., Валиев А.Р.// Казанский государственный аграрный университет – Казань, 2009.
4. Вашкевич К.П. Опыт и перспективы развития ветроэнергетики в России /Вашкевич К.П., Маслов Л.А. Николаев В.Г.// Малая энергетика,-2005.№2. - с.56-58.
4. Герасимов, С.А. Однопроводная передача электрической энергии: расчет и эксперимент, /С.А. Герасимов// Ж. Современные наукоемкие технологии. - 2011. - № 4 - с. 28-31.
5. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин /Дунаев П.Ф., Леликов О.П.// Учебн. пособие для техн. спец. вузов. - 7-е мзд., испр. [Текст]-М.: Высшая школа, 2001. -447с: ил.
7. Курмаз Л.В. Детали машин. Проектирование. /Курмаз Л.В., Скойбеда А.Т. //Минск: УП Технопринт, 2002. – 296с: ил.
8. Стребков, Д.С. Резонансные методы передачи электрической энергии. Под ред. Д.С. Стребкова. Изд. 2-ое. – М.: ВИЭСХ, 2006. – 304 с.
9. Стребков, Д.С. Исследование резонансной системы передачи электрической энергии. /Д.С. Стребков, О.А. Рошин, Л.Ю. Юферев// Ж. Информационные ресурсы России. – 2011. - №3,.
10. Тесла, Н. Статьи. /Н. Тесла// Самара: Издательский д. «Агни», 2008.- 584 с.
11. Юферев, Л.Ю. Экспериментальные модели резонансных систем электрической энергии. / Л.Ю. Юферев, Д.С. Стребков, О.А. Рошин// М.: ВИЭСХ, 2010. - 208 с.

СПЕЦИФИК

АЦИИ

ПРИЛОЖЕН

ЯИ