

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Электротехнических комплексов
(полное название кафедры)

Утверждаю

Зав. кафедрой Игуров Н.И.

(подпись, инициалы, фамилия) **1**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Баширова Дарья Олеговна
(фамилия, имя, отчество студента - автора работы)

Исследование способов бесконтактной передачи энергии
(тема работы)

Факультет мехатроники и автоматизации
(полное название факультета)

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки бакалавра)

**Руководитель
от НГТУ**

Мятеж Александр
Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

к.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

(подпись, дата)

**Автор выпускной
квалификационной
работы**

Баширова Дарья
Олеговна
(фамилия, имя, отчество)

ФММ, ЭМ-75
(факультет, группа)

(факультет, группа)

(подпись, дата)

Новосибирск 202_

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Электротехнических комплексов
(полное название кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой Щуров Николай
Иванович
(фамилия, имя, отчество)

(подпись, дата)

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
БАКАЛАВРА**

студенту Башировой Дарье Олеговне

(фамилия, имя, отчество)

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и
электротехника
(код и наименование направления подготовки бакалавра)

Факультет Мехатроники и Автоматизации

(полное название факультета)

Тема Исследование способов бесконтактной передачи энергии

(полное название темы выпускной квалификационной работы бакалавра)

Исходные данные (или цель работы) Анализ методов
бесконтактной передачи электроэнергии, область применения
и актуальность.

Введение
Структурные части работы
Глава 1. Обзор методов

Глава 2. Моделирование процесса на примере складского
электропогрузчика

Глава 3. Безопасность жизнедеятельности

Заключение

Задание согласовано и принято к исполнению.

**Руководитель
от НГТУ**

Мятеж Александр

Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

к.т.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

(подпись, дата)

Студент

Баширова Дарья

Олеговна
(фамилия, имя, отчество)

ФМА гр. Эм-75

(факультет, группа)

(подпись, дата)

Тема утверждена приказом по НГТУ № 1470/2 от «08» апреля 2021 г.

изменена приказом по НГТУ № 1183/2 от «22» апреля 2021 г.

ВКР сдана в ГЭК № _____, тема сверена с данными приказа

(подпись секретаря государственной экзаменационной комиссии по защите ВКР, дата)

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка используемой литературы из 25 наименований. Общий объем работы составляет 71 страницы машинописного текста, включая 34 рисунка и 4 таблицы.

БЕСКОНТАКНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ, ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ БЕЗ ПРОВОДОВ, ИНДУКЦИОННЫЙ МЕТОД ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ, ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ, ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЧЕРЕЗ УЛЬТРАЗВУК, ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ЧЕРЕЗ МИКРОВОЛНЫ, МЕТОД ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА, МЕТОД ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЗЕМЛИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ, ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является бесконтактная передача энергии.

Целью работы является анализ методов бесконтактной передачи электроэнергии, область применения на сегодняшний день и актуальность.

В работе представлено описание и разбор методов бесконтактной передачи электроэнергии, область и примеры использования, перспективы и актуальность. Проведен расчет и моделирование электрогрузчика питающегося индуктивным методом от стандартной промышленной сети. Проведен анализ взаимодействия электромагнитного поля на человека и методы защиты от него.

ANNOTATION

The final qualification work contains 71 pages of typewritten text, including 34 figures, 4 tables, 25 literary sources, 5 Appendices.

Key words:

CONTACTLESS POWER TRANSMISSION, WIRELESS POWER TRANSMISSION, INDUCTION POWER TRANSMISSION METHOD, LASER POWER TRANSMISSION METHOD, ELECTRIC POWER TRANSMISSION THROUGH ULTRASOUND, ENERGY TRANSMISSION THROUGH MICROWAVES, ELECTRIC RESONANCE METHOD, EARTH ELECTRICAL CONDUCTIVITY TEST, ENERGY TRANSMISSION SIMULATION, ELECTROMAGNETIC FIELD PROTECTION, ELECTROMAGNETIC FIELD SAFETY FOR HUMANS.

The object of research of the final qualification work is contactless energy transfer.

The purpose of the work is to analyze the methods of contactless transmission of electricity, the scope of application today and the relevance.

The paper presents a description and analysis of methods of contactless transmission of electricity, the scope and examples of use, prospects and relevance. The calculation and simulation of an electric loader powered by an inductive method from a standard industrial network is carried out. The analysis of the interaction of the electromagnetic field on a person and methods of protection against it is carried out.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОБЗОР МЕТОДОВ	9
1.1 Краткий экскурс в историю темы.....	9
1.2 Индуктивный метод.....	10
1.3 Лазерный метод.....	14
1.4 Ультразвуковой метод.....	20
1.5 Микроволновый (СВЧ) метод.....	21
1.6 Метод электрического резонанса.....	27
1.7 Метод электропроводности земли.....	30
2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРЕ СКЛАДСКОГО ЭЛЕКТРОПОГРУЗЧИКА.....	31
2.1 Составление электрической схемы.....	31
2.2 Что такое бустер и чоппер.....	33
2.3 Расчет и моделирование электрической схемы части.....	42
2.4 Моделирование передачи энергии.....	43
3 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	50
3.1 Что такое электромагнитное поле.....	50
3.2 Характеристика и классификация электромагнитного излучения.....	51
3.3 Влияние электромагнитного поля на человека....	53
3.4 Нормирование электромагнитного поля.....	57
3.5 Расчет безопасной эксплуатации электропогрузчика.....	59
3.6 Способы защиты от электромагнитного поля.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	67

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....69

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире крайне важен и актуален вопрос энергии. Все больше и больше мы отходим от традиционной энергетики (чья основа это извечный треугольник нефть-уголь-газ) и видим альтернативу в электроэнергии.

Электричество-это неотъемлемая часть общества на сегодня. От него зависят города, заводы, производства и многое другое.

В 2008 году общее мировое потребление энергии составило 474 ЭДж ($474 \cdot 10^{18}$ Дж = 132 000 ТВт·ч), что эквивалентно среднему энергопотреблению 15 ТВт.

Естественно сразу всплывает в голове три извечных вопроса. Где взять? Как транспортировать (передать)? И как использовать с максимальной эффективностью.

В своей работе я хочу поднять вопросы передачи электроэнергии. А именно бесконтактные способы передачи энергии. Которые на самом деле ближе, чем нам казалось, и они уже начали свое бурное развитие.

В наши дни множество производителей гаджетов (от наручных часов до автомобильных устройств) говорят о прорыве, о новейших разработках, о бесконтактном заряде устройства, но на самом деле все эти “открытия” и принципы действия были сделаны в 17-19 веках. Просто из-за отсутствия практического применения, а именно рентабельности о них забыли, попусту отложив в сторону за ненужностью.

Сегодня благодаря современным технологиям и материалам КПД резко повысился (от 3-5% до 70-80%). Буквально за 10 лет то, что было почти научной фантастикой

вошло в нашу жизнь как данность и обыденность, став известным всем и каждому.

Но на самом деле принципы беспроводной передачи энергии использовались всегда. Начиная от банального трансформатора до приборов СВЧ.

В данной работе мне хотелось бы проанализировать каждый метод передачи, его актуальность и возможные сферы применения.

Всего есть семь способов:

- Индукционный метод
- Лазерный метод
- Метод Ультразвука
- Микроволновый (СВЧ) метод
- Метод электрического резонанса
- Метод электропроводности земли.

Но на данный момент времени широко используются именно для передачи энергии, только следующие методы:

- индуктивный
- лазерный
- микроволновый (СВЧ).

А методы электрического резонанса и электропроводности земли и вовсе до сих пор нереализованные теории.

1 ОБЗОР МЕТОДОВ

1.1 Краткий экскурс в историю темы

Андре-Мари Ампер - французский **физик** и математик пришёл к выводу о том, что магнитное поле может возбуждать в теле металла электрический ток. Так появился основополагающий закон Ампера. Майкл Фарадей в 1831 открыл закон электро-индукции, который стал базой для развития такой науки, как электромагнетизм. Джеймс Максвелл после долгих экспериментов систематизировал свои наблюдения, итогом которых в 1864 году стало уравнения Максвелла. Уравнение объясняло поведение электромагнитного поля.

В завершении XIX и начале XX века Никола Тесла, великий сербский ученый и изобретатель принес великий вклад в отрасли и сферы радио и электротехники, его открытия и достижения в энергетике до сих пор не имеют равных. Благодаря именно его теориям, изобретениям, произошел второй этап технической революции. Основная цель жизни инженера была в изучении, открытии тайн и принципов электричества и магнетизма. Создать и переработать устройства, питающихся от переменного электрического тока. Многочисленные его исследования и опыты были в плоскости однопроводной и беспроводной передачи энергии, задолго до того как появилось понятие питание от сети.

Тогда почему передача энергии без проводов еще не появилась? Почему бесконтактная передача энергии все еще лишь заветная мечта всех энергетиков мира?

Для того чтобы разобраться в принципе работы таких способов передачи энергии нам потребуется обратить свой взор на историю данной темы.

Самые первые удачные опыты по беспроводной передаче были показаны именно Николой Тесла в 1893 году на международной выставке в городе Чикаго.

Он провел демонстрацию того как загорелись люминесцентные лампы прямо у него в руках. Позже с мощью открытий и достижении на ниве радиотехники, возможности начали расширяться, КПД начал расти. Но к великому сожалению трагедия сразу двух Мировых войн не просто заставила отложить, но отбросила изучение беспроводной энергетики на долгие, долгие годы и десятилетия.

Возобновление разработок и опытов начнется лишь в шестидесятых годах двадцатого века. Следующая демонстрация была лишь в 1964 году в США. Модель вертолета, что получала питание через излучение радиоволн СВЧ диапазона.

После процесс разработок и следований начал набирать свой ход. Было проведено множество опытов, включая передачу очень больших мощностей, до десятков кВт. Также произошел резкий скачок в электронике и электротехнике появились микросхемы, платы, бесконтактные смарт-карты и чипы RFID(системы радиочастотной идентификации). В наши все идет нарастающей только набирая обороты, никого не удивишь уже телефонами, телевизорами, часами и другими гаджетами и бытовой техникой, что используют беспроводную зарядку и питание.

1.2 Индукционный метод

Самый распространённый и широко используемый в быту метод. Именно его принцип заложен в основу трансформатора. Способ состоит из использования двух катушек индуктивности, на одну катушку подается переменный ток, во второй же будет проявляться ЭДС самоиндукции.

Чтобы передача энергии была эффективной нужно максимально возможное близкое расположение обмоток катушек индуктивности, иначе большая часть энергии будет просто рассеиваться впустую.

Кроме Трансформатора этот метод широко применяется в питании электротранспорта от дороги, медицинских имплантов, поезда на магнитной подушке (Маглев) и многое другое.

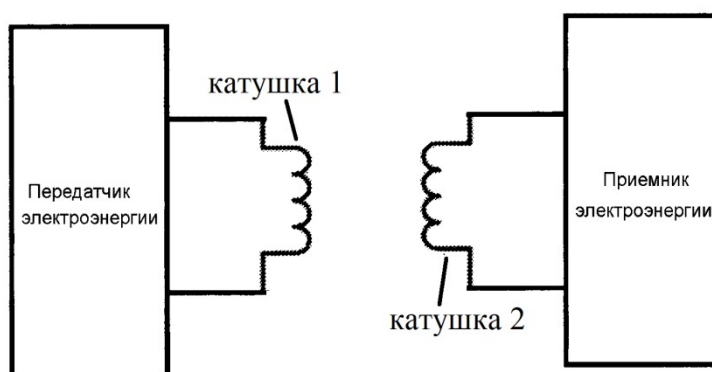


Рисунок 1 - Индукционная схема передачи энергии

Трансформатор или электротрансформатор-это электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования напряжения или осуществления гальванической развязки. Имеет две или более обмоток на магнитопроводе и выполняет функцию изменения

напряжения не затрагивая при этом частоты току. Процесс идет благодаря явлению электромагнитной индукции.

Используется во всех отраслях науки, особенно широко в электроэнергетике, радиотехнике и электротехнике. Его изобретатель - это Генрих Рукорф. Тогда это не был трансформатор в современном виде, это была индукционная катушка особой конструкции созданная в 1848 году.

Первый патент трансформатора переменного тока был оформлен в 1876 Павлом Яблочковым.

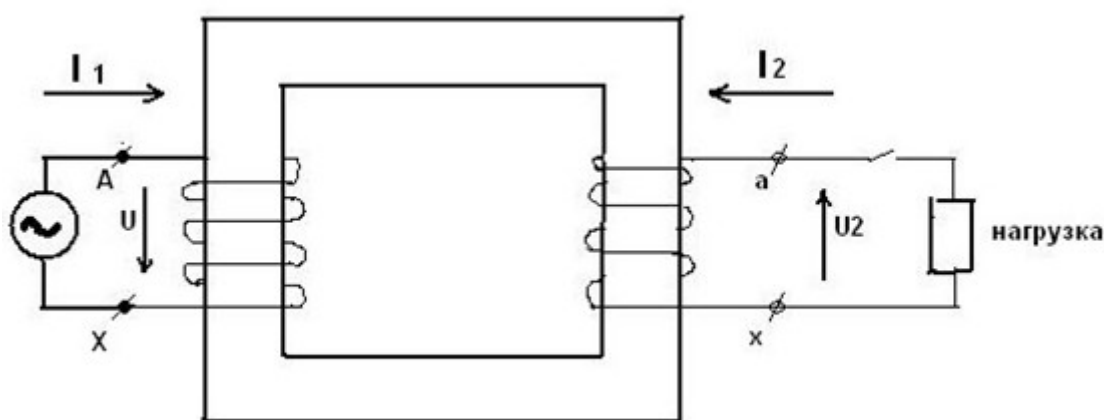


Рисунок 2 - Электромагнитная схема трансформатора

Медицина во все времена была очень важна людям, ведь от ее прогресса зависит срок нашей жизни.

Импланты старого образца питались от батареи, хоть срок службы таких гальванических элементов и был несколько лет, но срок заканчивается. Следовательно, надо менять иплант (к примеру, кардиостимулятор) а для этого нужно хирургическое вмешательство. Для подзарядки используют Индукционный метод, хотя новейшие работки используют также ультразвуковой метод, но это больше к перспективе.

Питание транспорта от проложенных под дорожным покрытием линий питания. На первый взгляд это не выгодно,

многие километры протяженности обслуживание этих линий, труднодоступность (вскрытие и латание дорожного покрытия), но если мы говорим о помещении? Например, склад, завод или шахта? Места узкие и труднодоступные, но не большой протяженности. То вопрос рентабельности поднимается вновь, и уже с другой стороны.

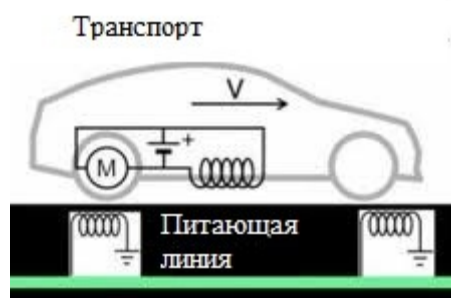


Рисунок 3 - Схема питающей линии под дорожным покрытием

Маглев-это сокращение от слов “магнитная левитация”. Ведь именно принцип электромагнитной левитации заложен в основу, который опять-таки питается за счет метода магнитной индукции.

На данный момент эти поезда широко применяются в Шанхае и Японии. Развивая скорость до 600 км/ч, и если использовать принцип вакуума (как в метрополитене, то скорость можно значительно увеличить) возможна серьезная конкуренция с авиаперевозками. Так как Маглев использует в 5 раз меньше энергии, а также не нуждается в крайне ограниченных углеводородах и имеет небольшие эксплуатационные затраты, бесшумен (стук колёс на стыках рельс, звуки от трения колёс о рельсы). Минус такого транспорта в том что под него нужно строительство специального Т-образного пути на мощном бетонном основании, что на километр пути превышает стоимость

метрополитена. Активные работы по внедрению в жизнь такого транспорта ведутся в Японии, Китае, Южной Корее и Германии.

Что такое магнитная подушка? Почему она дает такую скорость? Если обычные поезда не разгоняются выше 400 км/ч.

В начале 20 века независимо друг от друга, двое ученых (учёный Вайнберг и американский Башлэ) пришли к одному решению. Чтобы исключить трение о дорогу, нужно удерживать подвижной состав с помощью магнитных сил. Движение по дороге осуществляется за счёт магнитного импульса, аналогично втягиванию сердечника в электромагнитную катушку. Впоследствии преодоления действия гравитационных сил при помощи магнитных сил назвали магнитной левитацией.

Магниты устанавливаются на дороге и вагоне, повернутые их одноимёнными полюсами друг к другу, за счет этого вагон поднимается. Нужно только точно рассчитать силу магнитов

Движение обеспечивается тоже магнитными силами, только действуют они по горизонтали - это называется линейный электродвигатель. Такой поезд не нуждается в механизме рулевого управления, наподобие используемых в автотранспорте.

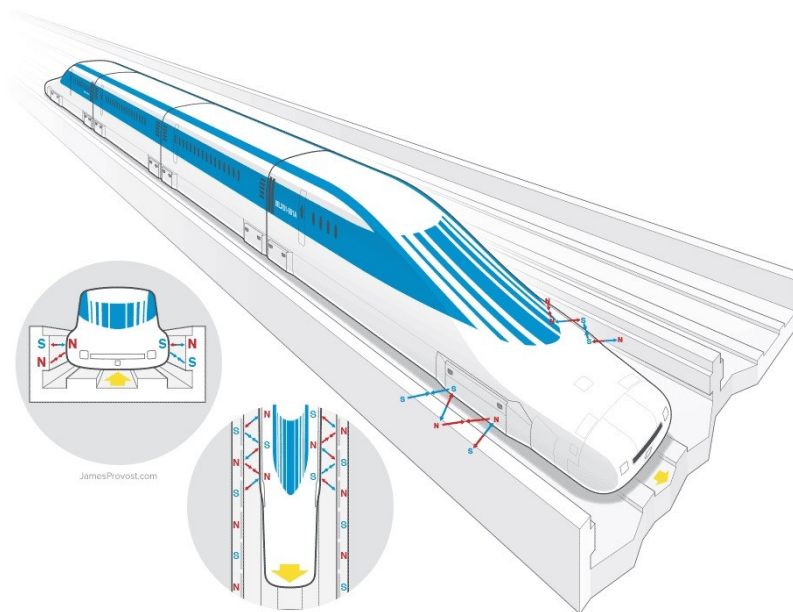


Рисунок 4 – Маглев: схема пути

Итак, секрет скорости Маглева в том, что отсутствует сила трения об дорогу, что резко сокращает расход энергии, которая используется для увеличения скорости.

1.3 Лазерный метод

Такой метод позволяет передавать огромные объёмы энергии на большие расстояния.

Беспроводная передача энергии с помощью лазерного метода осуществляется путем преобразования энергии в лазерный луч и максимальной его фокусировки. Для данного метода характерно следующее длина электромагнитной волны берется из видимого спектра это от 10 мкм до 10 нм. После лазерный луч направляют на принимающий элемент фотоприёмника. Это и позволяет передать большой объем. Но есть и нюанс – планы разбиваются об атмосферу и энергия рассеивается. Разумеется, не полностью, но около шестидесяти процентов точно. Такая технология может применяться лишь в безвоздушном пространстве.

Преимущества лазерного метода:

- возможность передачи энергии на очень большие расстояния;

- не создает радио помех для всех имеющихся на данный день способов и средств связи (сотовая, радио, сеть Wi-Fi лазер просто ведет свою работу на другой частоте, не мешая работать другим приборам);

- опция контроля доступа (мы сами выбираем получателя и направляем на него луч, получить же энергию могут все приборы у которых есть приемник-фотоэлемент).

Недостатки лазерного метода:

- возможность свободного трансформирования электромагнитного излучение и энергии, от низкочастотного в высокочастотное и обратно. Но у этого есть обратная сторона при конвертации энергии мы теряем ее часть в пустую, хотя передачи монохромного света гораздо эффективные чем естественного. За счет принимающих фотоэлементов;

- большие потери в атмосфере (воздух нельзя назвать абсолютно прозрачным, так еще и получаем дополнительные преграды такие как пыль, пыльца, песок, капли воды и многое др.);

- нужно направлять передачу энергии в зоне прямой видимости (также энергию передают, пре передачи энергии микроволновым методом).

Поэтому самое целесообразное применение этой технологии в космосе. Не только как герметичный способ передачи энергии. Но и военный в качестве оружие из-за полного отсутствия отдачи, что в условия невесомости крайне важно.

В атмосфере (на земле) также были попытки и эксперименты по проверке работоспособности метода. В свое время Nasa организовывали конкурс и состязания по лазерному методу передачи энергии. Призовой фонд был около одного миллиона долларов.

В данном конкурсе лидерство получила компания Laser Motive. Их итоговый опыт составил половину киловатта мощности на один километр. Но не обошлось без лодки дегтя в бочке меда. Ученые потеряли почти 90% передаваемой энергии.

Само происхождение слова лазер произошло от аббревиатуры английского термина Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, переводиться дословно как «Усиление света посредством вынужденного излучения» Из первых букв и складывается современное слово LASER. Данное устройство специализируется на преобразовании различных видов энергии таких как световая, электрическая, тепловая, химическая и множество других в монохромно-когерентное электромагнитное излучение, из видимого спектра.

В основе принципе работы лазера заложен эффект вынужденного излучения (испускания фотонов). Возбужденный полученной энергией атом, молекула, твердое тело или жидкость начинает генерацию фотонов.

Лазер состоит из следующих элементов:

- 1) Рабочее тело или активная среда. В ней идет поглощение энергии от какого-либо источника. После в атоме начинается инверсия энергетических уровней.

2) Источник света, поставляющий энергию для создания когерентного излучения путем инверсии (система накачки).

3) Устройство что многократно усиливающее когерентное излучение, после фокусирует пучок фотонов и задает его направление в пространстве это - оптический резонатор

Лазеры различают по материалу рабочего тела, ведь именно от него зависит способы возбуждения лазера. Наиболее распространены в использовании следующие активные среды:

- газовые;
- твердые;
- полупроводниковые;
- твердотельные.

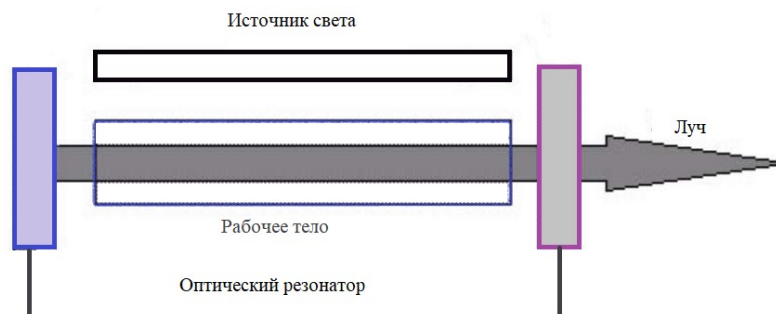


Рисунок 5 - Схема лазера

Принцип работы фотоэлемента

- 1) Поглощение кванта света: $h\nu > E_g$
- 2) Разделение зарядов (переход e в валентную зону)
- 3) Перенос зарядов во внешнюю цепь

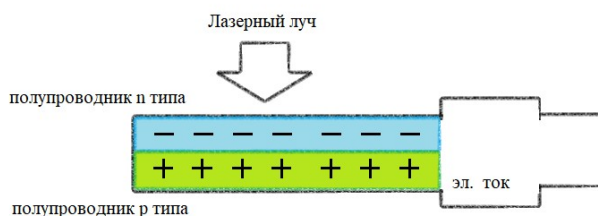


Рисунок 6- Схема фотоэлемента

Лазерный метод передачи активно применяется для подзарядки в воздухе беспилотников, квадрокоптеров, мультикоптеров и многих других, так как их собственный заряд слишком мал для долгих миссий и задач. Сфера применения у летающих аппаратов так же крайне обширна от боевых беспилотников до операторов и доставщиков небольших грузов.

Мультикоптеры остаются в воздухе по 10–20 минут, на самых современных аккумуляторах — 25–30. Этого часто не хватает”, — цитата из речи инженера из РКК «Энергия» Виталия Капанова.

На самом деле общество испытывает острую потребность в летательных аппаратах, что способны непрерывно курсировать и вести мониторинг ситуации с высоты. Это и аэросъемка поля боя, наблюдение за большими стройками, проверка на целостность железных дорог и газопроводов, возможность наблюдать оценивать в режиме реального времени районов бедствий, патрулирование территорий ретрансляция радиосигнала из недоступных мест. Чтобы выполнить все эти задачи, нужен небольшой летательный

аппарат, способный зависать в одной точке. Беспилотникам самолетного типа с двигателями внутреннего сгорания, такая задача не по зубам. Но современные электрические квадрокоптеры имеют, к сожалению, крайне небольшую грузоподъемность, следовательно, просто нет возможности установить более мощный гальванический элемент. Из-за этого приходится организовывать целую систему и устанавливать расписание, чтобы дроны сменяли друг друга пока, отработавший свое летательный аппарат вернулся и прошел процесс зарядки.

Конечно, есть модели мультикоптеров, что способны работать «на привязи», получая энергию с поверхности. Но провода добавляют массу летательному аппарату, ограничивают его подвижность и дальность, их может просто сдуть ветром, высота тоже резко сокращается и получает свой максимум в 200 метров, стандартная высота мультикоптеров в один километр, становится не доступной. Есть разработки питания мультикоптеров через оптоволокно, питая аппарат через импульсы инфракрасного лазера. Оптоволокно в десятки раз легче металлического провода, но оно не способно передавать большие объёмы энергии, и также легко сноситься ветром.

Все эти проблемы привели к созданию и разработки автономных летательных аппаратов на солнечных батареях, что способны сами обеспечить свои нужды, не прерывая процесса полета. В этом способе тоже кроется один серьезный недостаток, Солнце дарит нам естественный свет, а он на самом деле состоит из множества отдельных волн имеющих каждая свой диапазон и частоту, от инфракрасного до ультрафиолетового. Что приводит к отсутствию

возможности подобрать материал для максимальной эффективности приема энергии. Ведь для каждой длины волны есть “свой материал” который позволит извлечь из него максимально возможное количество фотонов. Что приводит к потребности делать принимающий фотоэлемент универсальным, но менее эффективным. Именно из-за этого уваливается размер фотоэлемента, а также вес летательного аппарата.

Система зарядных лазерных станций, способных заряжать летательные аппараты непрерывно в процессе полета, возможна, если мультикоптер будет в пределах зоны прямой видимости и маршрут заранее точно определен. Такая система даст возможность поддерживать беспилотный летательный аппарат множество суток напролет. На выходе мы получим, бюджетный аналог космической съемки со спутника

Основной минус лазерного метода передачи энергии кроится в уже описанной ранее проблеме. Распространение лазерного луча в атмосфере ограничено. Пыль, ветер, испарения даже колебание воздуха от нагретых крыш все это приводит к большим потерям энергии. Также большие проблемы создают зоны турбулентности направленные не вертикально, а поперек поверхности земли. Что приводит к тому, что зарядка через вертикально направленный луч максимально эффективна.

В космосе именно этот метод покажет себя во всей, своей красе, эффективность и КПД достигнут своего максимума. Нечему быть рассеивать или поглощать излучение лазера. Уже сейчас большинство космических аппаратов берут энергию для своего функционирование

именно за счет солнечных батарей. Массивность фотоэлементов и их вес, в космосе тоже могут привести к определенным проблемам, так как растет потребность энергии следовательно, что крылья космического аппарата станут больше, что приводит к проблемам по доставке и повышению расхода топлива шаттла, и не давая возможность увеличит полезную нагрузку. Особенно данная проблема критична для микро спутников планеты. Размеры таких летательных аппаратов составляют лишь десятки сантиметров, что приводит к тому, что даже небольшую батарею крайне затруднительно установить. А именно полезная нагрузка является целью для запуска аппарата на орбиту планеты. Лазерный метод кардинально поменяет жизнь микро спутников. Сейчас их большинство имеет небольшой срок службы, после взлета аппарат достигает своей орбиты, и работает ровно столько, сколько даст им ресурс, изначально вложенный на земле, полностью отсутствует процесс зарядки устройства. Но если будет возможность, подзарядки прямо с борта МКС микро спутник будет служить годы.

В настоящее время идет активный процесс создания проекта электростанции прямо в космосе. Большой спутник с мощными энергоустановками, что получают питание прямо от ядерного реактора. С множеством лазерных передатчиков энергии. Такая станция сможет питать одновременно огромное количество спутников, таких как примеру, телекоммуникационные, межорбитальные буксиры, исследовательские сервера и многое другое.

«Мы прорабатываем и такие проекты» - заявили инженеры Ракетно космическая корпорации «Энергия» имени С. П. Королёва.

1.4 Ультразвуковой метод

Данный способ передачи энергии был создан студентами университета Пенсильвании. Официально был представлен и продемонстрирован в 2011 году. Способ состоит из передатчика и приёмника ультразвука.

Передатчик генерирует акустические волны в ультразвуковом диапазоне (неслышимом для человека), приёмник преобразовывал их в электрический ток. В качестве носителя энергии ультразвук был выбран не случайно:

- расстояние передачи достигает 7-10 метров;
- необходимость прямой видимости приёмника и передатчика информация разнится в различных источниках. Но по логике она не очень нужна - стены прекрасно проводят ультразвук;
- передаваемое напряжение — до 8 Вольт;
- используемые ультразвуковые частоты абсолютно безвредные для человека
- небольшой радишум и помехи.

Этот метод разрабатывается для использования в медицине. Как способ зарядки имплантов и других механизмов внутри человека, таких, как кардиостимулятор, ортопедические и многие другие.

На данный момент этот метод используется на практике компанией uBeam, которая представила свою беспроводную зарядку для различных устройств

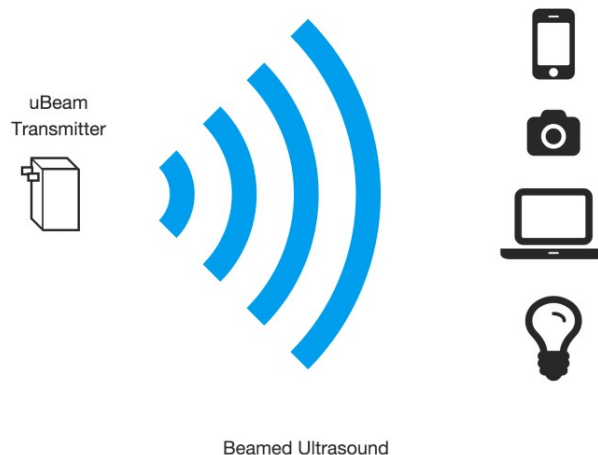


Рисунок 7 - Домашняя сеть питания

1.5 Микроволновый (СВЧ) метод

Микроволновое излучение или сверхвысокочастотное излучение (СВЧ-излучение) - это электромагнитное излучение (где длина волны от 1м до 1мм, или 300Г до 300 ГГц). Микроволны имеют свойства радиоволн и световых волн одновременно, из-за специфического положения их диапазона. К примеру микроволны имеют те же качества что и инфракрасное электромагнитное излучение.

Данный метод имеет высокий КПД около 90-95 процентов.

Для трансляции луча СВЧ используют магнетрон, клистрон, генератор на диоде Ганна или лампу бегущей волны (ЛБВ). После луч пропускают через усилитель, а затем направляют на приемник.

Магнетроном называют электронное устройство большой мощности, которое с помощью изменения потока электронов генерирует высокочастотные микроволны. Его изобрели незадолго второй мировой войны в Великобритании.

Объемный резонатор имеет определенное сходство с органом, как и у него для каждой трубы есть свой собственный звуковой резонанс, так и объемный резонатор имеет свой собственный электромагнитный резонанс. Индуктивность дают стенки резонатора, пространство между стенками работает как емкость. Объемный резонатор на самом деле работает аналогично колебательному контуру низкочастотного генератора с своей собственной катушкой индуктивности и конденсатором. Размеры объемного резонатора напрямую зависят от необходимой резонансной частоты, параметры выбираются так чтобы ей соответствовать, путем подбора индуктивности и емкости.

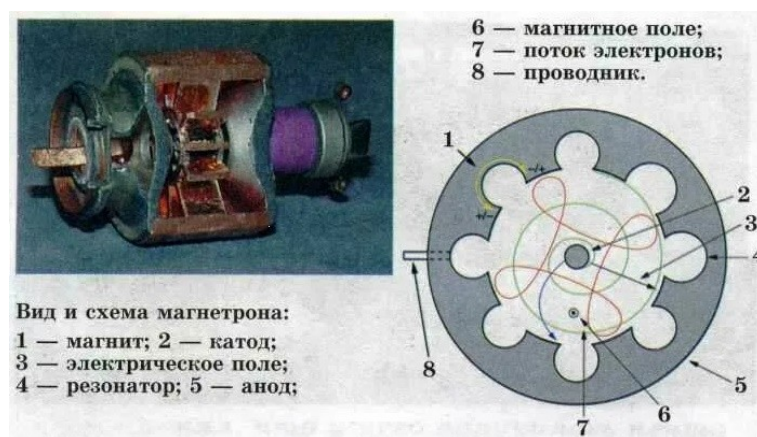


Рисунок 8 – Магнетрон: схема

Клистрон - это такой электровакуумный прибор, который создан на принципе где не нужно внешнее магнитное поле. двигаются электроны в клистроне, от катода по прямой к отражательной пластине и обратно, пересекая при этом открытый зазор резонатора. Формирует сгустки электронов управляющая сетка так чтобы электроны проходили через зазор строго в определенное им время.

Тайминг задаётся так чтобы вся кинетическая энергия от сгустков перешла к резонатору. Определяет данный

процесс резонансная частота. После в объемном резонаторе устанавливаются мощные электромагнитные колебания.

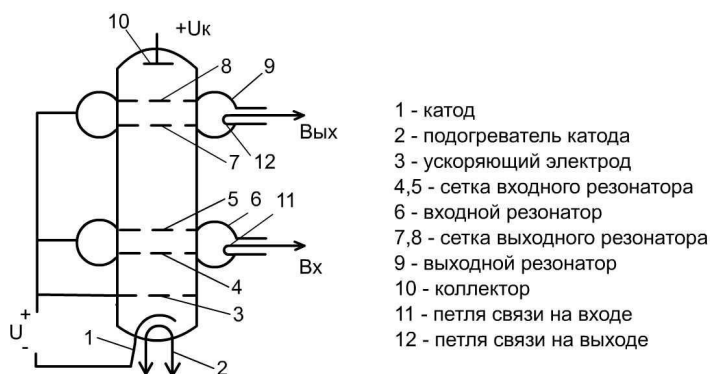


Рисунок 9 - Клистрон: схема

Первые образцы клистронов имели очень существенным недостатком, таким как маломощность. Намного позднее эту проблему удалось решить, и клистроны обошли абсолютно все магнетроны по мощности генерации сверх частотного излучения. Существовали модели которые могли выдать до десятка миллионов ватт в импульсном режиме, или около ста тысяч при постоянном. Также была создана система основанная на клистронах, линейный ускоритель при лаборатории что был способен выдать примерно пятьдесят миллионов ватт в импульсном режиме.

Клистроны также имеет одну особенность, при мощности, что составляет примерно один ватт, данный прибор способен освоить частоту до ста двадцати миллиардов герц. На настоящий момент времени идут многочисленные разработки по повышению мощности оставаясь в данном диапазоне.

Также клистроны довольно универсальные устройства, помимо своего прямого назначения, их, возможно, использовать для усиления сверх частотного излучения. Чтобы использовать данную способность прибора входной сигнал направляют на управляющую сетку объёмного резонатора,

для изменения режима работы сетки, что в свою очередь повлечет изменения плотности сгустков электронов.

Лампой бегущей волны (ЛБВ) - это такой электронный вакуумный прибор, который усиливает электромагнитную волну. Данный прибор представляет собой вакуумную трубку, что встраивается в систему магнитной фокусировки. ЛБВ работает по принципу взаимодействия и усиления волны движущихся электронов, что в свою очередь приводит к усилению электромагнитной волны.

Очень примечателен факт, что создана ЛБВ австрийским архитектором Рудольфом Компфнером в конце 1943 года.

Так как лампа работает с электронами, нужен катод - электрод, из которого извлекаются электроны. Соблюдая закон сохранения заряда, извлеченные электроны нужно вернуть, для чего потребуются анод. В данном случае анод будет выполнять свою функцию, притягивая электроны, что были испущены в хаотичном порядке во все стороны катодом. После направленный поток электронов проходит фокусировку, и уже преобразовавшись в максимально узкий луч с помощью магнитного поля катушки, направляется на коллектор.

Для замедления ЛБВ в усилительных системах, в подавляющем числе случаев используют спираль. Поток электронов направляют вдоль спирали, а по саму спираль подают усиливающий сигнал. Параметры спирали (шаг, длина, диаметр) и скорость потока электронов, выбирают так, чтобы электроны отдали некоторую часть своей кинетической энергии волне усиливающего сигнала.

На первый взгляд это абсолютно невозможно, так как волна распространяется со скоростью света, а электроны двигаются в десять раз медленнее. Но так как высокочастотный сигнал идет не по прямой линии, он имеет траекторию спирали, электромагнитная волна успевает достаточно про взаимодействовать с электронами и усилиться за счет поглощения их энергии. На выходе из устройства амплитуда волны намного превышает амплитуду сигнала на входе.

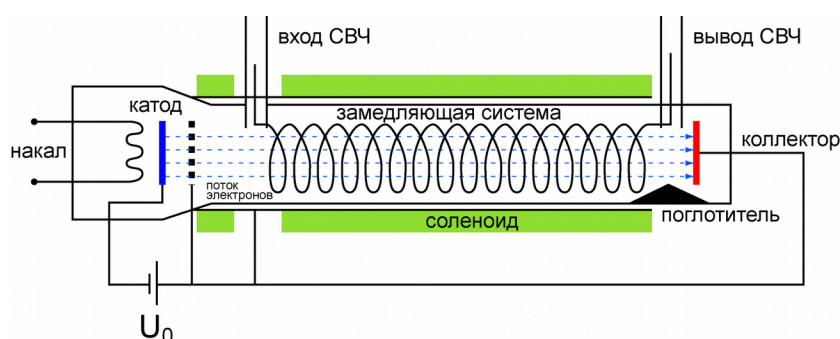


Рисунок 10 - Лампа бегущей волны

СВЧ луч всегда максимально фокусируют. Так как это помогает избежать лишних потерь энергии. Что в свою очередь диктует свои условия для конструкций передающих и принимающих антенн СВЧ диапазона. Поэтому часто принимающая антенна имеет вогнутую параболическую форму или форму полусферы как у спутникового телевидения, так как антенна подобно линзе собирает и концентрирует волны СВЧ.

Микроволны как и говорилось ранее подобны волнам видимого спектра, как и они не проходят сквозь непрозрачные тела и ведут свое распространение по прямой линии. К примеру, если мы устанавливаем домашнюю сеть Wi-Fi, то должны понимать, что стены мешают

распространению волн, и, следовательно, сигнал будет хуже. Также чем толще и плотнее стена, тем слабее будет улавливаться сигнал по ту сторону. Что приводит к тому применение этой технологии более целесообразно в космосе.

Как пример, можно направить луч волн вертикально вверх или низ. Таким образом осуществить передачу энергии спутника с поверхностью прямо через атмосферу, что было бы не возможно или не рентабельно при лазерном методе.

Такой проект действительно был разработан под руководством Питера Глайзера, и называлась Солнечной космической станцией (СКЭС).

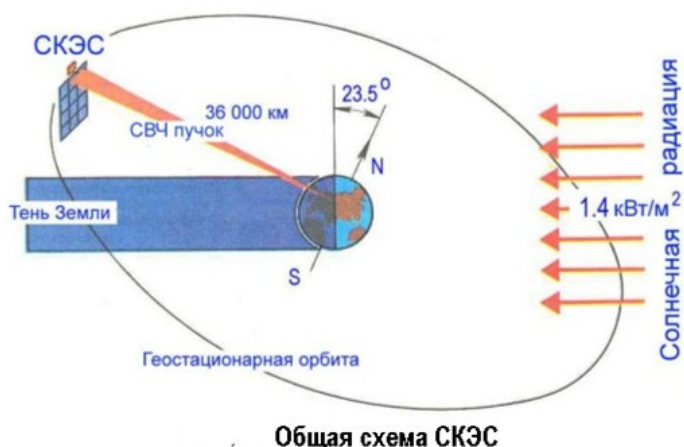


Рисунок 11 - Проект Глайзера

Схема, изображенная на рисунке 1.11, была разработана так, чтобы получить максимально возможное количество энергии от излучения звезды. Что в свою очередь составили примерно 1,4 кВт/кв.м. переменного тока. Для того чтобы энергия передавалась непрерывно, не смотря на постоянные помехи в виде метеорологических условий. Задавалась стационарная орбита для спутника.

Также за счет естественного наклона экваториальной плоскости к плоскости эклиптики с углом 23,5 град, станция бы смогла передавать энергии непрерывно, не обращая на

смену времен года (изменения наклона планеты) за исключением дней равноденствия. Когда СКЭС окажется на теневой стороне Земли. Эти дни станция не сможет действовать, но это лишь два дня в году.

Частота микроволн должна быть подобрана соответственно так, чтобы не было перекрытий по диапазону с другими частотами промышленности, медицине, научных исследований. Также не должно быть перекрытий с естественными металогическими условиями во избежание ненужных помех таких как облачность, осадки, грозы. Обычно для таких целей принимают рабочую частоту в 2,45 Гц. Диапазон в 5,8 ГГц конечно более предпочтителен, так как позволяет намного уменьшить размеры принимающей и отдающей антенн, но в таком случае возможно перекрытие передачи энергии в виде металогических условий. Таким образом, при подборе частоты передачи мы должны учитывать все окружающие возможные условия, что кстати требует дополнительных исследований, так как это область мало изучена на практике.

Корни же метода происходят от военного радара. Его отличие в том, что используется не отражение и прием отраженных микроволн, а и прием на фокусировке пучка излучения.

Впервые испытал и продемонстрировал данную технологию Вильям Браун в 1964 году. Модель вертолета способная принимать и использовать энергию СВЧ волн.



Рисунок 12 - Испытание прототипа Брауна

Вильям Браун также первым осуществил передачу через СВЧ волны с КПД что превысил 80%. Передача происходила на расстояние 1,6 километра и передавалось 30 кВт мощности.

1.6 Метод электрического резонанса

Не реализованная теория Николы Тесла, которую он создал в Нью-Йорке, когда разрабатывал систему беспроводной передачи электрической энергии.

По задумке великого ученого, в этой системе Земля выступала как проводник электроэнергии, внутри которого осцилляторы (электрические колебательные системы) должны были создать стоячие волны.

На мысли о данном методе передачи электроэнергии Никола Тесла пришли после изучения поведения и распространения мощных молний и их разрядов во время протекания грозы.

Ученый установил и зафиксировал на практике, что волны порождаемые молниями распространяются во все возможные направления вдоль поверхности планеты во время грозы, и имеют свой собственный диапазон, что составляет примерно от 25 до 70 километров. Также Никола Тесла

установил, что электрические волны после грозы не только распространяются до самых отдалённых уголков планеты, но также отражаться от всех преград и возвращаться. Длина волн напрямую зависит от размеров планеты Земля.

Великий инженер пришел к теории, что возможно воссоздать этот процесс искусственно и использовать его транслируя электроэнергию во все города планеты. Но к сожалению несмотря на все задумки и расчеты реализация проекта была невозможна из-за того что прогресс того времени не позволял провести его по инженерной части.

Для данной выполнения задачи остро стояла необходимость в том, что нужная скорость по направлению и передачи электричества на поверхность планеты, была просто несопоставима с тем, что нужно, и что была возможна для реализации. Возможности человечества на тот момент времени просто меркли на фоне возможности природных стихий.

Но, после длительного процесса усовершенствования способов и схем питания осцилляторов решение было найдено. В процессе многочисленных исследований, что ученный провел в свой личной лаборатории. К ученому пришло озарение, как возможно создать электрические возмущения настолько же мощными, как и природные.

Способ заключался в том, что для усиления колебаний использовалось явление магнитного резонанса. Многовитковую катушку качественно заземляли, длину провода выбирали четверть длины от длины волны. После включения осциллятора в катушке магнитные колебания достигали своего максимума, их направляли в точку заземления.

Второй конец заземлённой многовитковой катушки соединяли с металлическим предметом большой ёмкости округлой или эллипсоидной формы (металлический тароид) который устанавливался на максимально доступную высоту, для того чтобы энергия не ушла в атмосферу. Заряд достигнет своего максимума в верхней точке, так как в проводнике будет наблюдаться стоячая волна, максимум амплитуды (пучность) которой будет наблюдаться в верхней части катушки, минимум амплитуды (узел стоячей волны) на конце который заземлен.

Таким образом, через эксперименты в резонансном контуре Тесла достиг своей цели. Превысил скорость движения природной молнии в лабораторных условиях.

Приемником для данного метода выступал воздушный трансформатор (без сердечника). Представленный также в виде вертикальной катушки, которая имела аналогичное заземление, и тароид. Также катушка-приемник имела первичную обмотку (небольшое количество витков из более толстого провода). Первичная обмотка располагалась в основании приемной катушки, что у заземлённого конца.

Также данная конструкция имеет аналогичное название - Трансформатор Тесла.

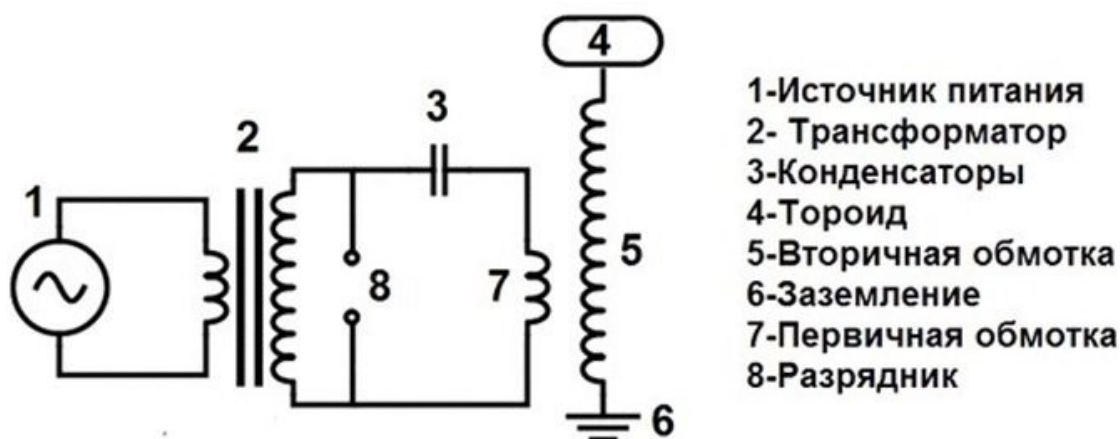


Рисунок 13 - Трансформатор Тесла

Новым этапом совершенствования приемной катушки, было появление своеобразного синхронного выпрямителя, конструкция которого состояла из вращающегося коммутатора, функция которого состояла в том, что необходима была своевременная подзарядка конденсатора, что располагался на выходе приемной катушки. Такое усовершенствование конструкции повышало эффективность применения полученной от приемной катушки энергии.

В данной системе роль проводника играет сама наша планета. Роль приёмников выступали бы башни-приёмники, что могли зарядиться до очень высоких напряжений (не меньше естественных молний). Взаимодействие приёмников было благодаря электрической проводимости атмосферы. Передача энергии была бы возможна на абсолютно любое расстояние в пределах планеты, благодаря такому явлению как электрический резонанс.

Никола Тесла доказал возможность такой системы, через успешный эксперимент. Когда 200 ламп одновременно зажглись на расстоянии в сорок километров от передатчика. Было доказано, что энергия не была получена через излучение, приемник практически сам ее генерировал.

1.7 Метод электропроводности Земли

Существует теория использования недр и океанов Земли для беспроводной передачи энергии. Электропроводимость гидросферы, залежей металлических руд может быть использована для передачи низкочастотного переменного тока. Электростатическая индукция диэлектрических тел может возникать в огромных залежах кварцевого песка и

тому подобных минералов. Передача электрического тока возможна также через воздушное пространство методом электростатической индукции. Никола Тесла в своё время выдвинул предположение, что в будущем появятся технологии, которые для передачи электроэнергии будут использовать землю, океанические воды и атмосферу планеты.

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНДУКТИВНЫМ МЕТОДОМ НА ПРИМЕРЕ СКЛАДСКОГО ЭЛЕКТРОПОГРУЗЧИКА

2.1 Составление электрической схемы

В качестве примера бесконтактной передачи энергии разберем электропогрузчик.

Из условий, почему мы выбрали именно его.

На современных складах. Жизнь не стихает ни на минуту, работая 24 часа в сутки. Постоянное курсирование объекта по относительно небольшой замкнутой площади определяет наш выбор питания электроэнергией а именно индуктивный метод.

Расположим линию питания под дорожным покрытием и стандартам переменным током 220 вольт и частотой 50 Гц.

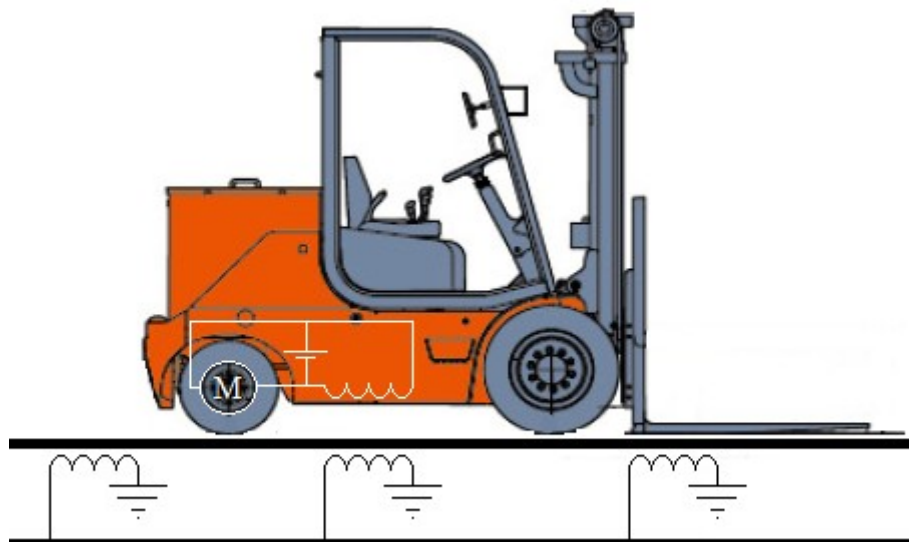


Рисунок 14 - Схема питания погрузчика индуктивным методом

Исходные данные:

Таблица 1

Р	Мощность электропогрузчика	10 кВт
---	----------------------------	--------

R _{вн}	Сопротивление двигателя	500 кОм
I _{вн}	Ток двигателя	1 кА

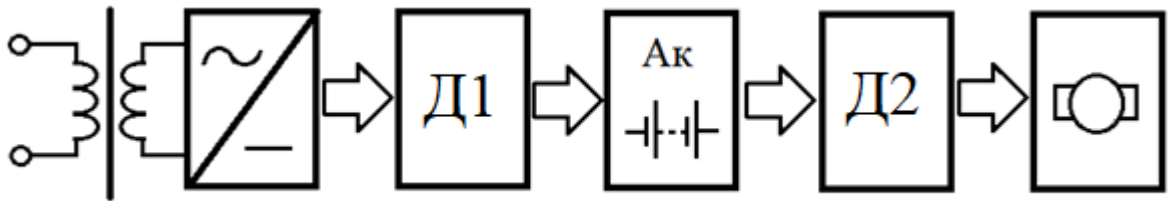


Рисунок 15 - Блок-схема электрической части электропогрузчика

Представим передачу энергии условно как трансформатор для удобства расчёта и моделирования.

Для максимального эффективной передачи энергии вставим в электросхему управляющие драйвера. Так как у нас не может все время быть идеальное выбранное расстояние между питающей и принимающей катушкой. Для нивелирования этого недостатка мы и используем управляющие драйвера.

После того как ток проходит через вторую катушку он проходит на диодный мост для выпрямления тока. Затем в сети идет первый управляющий драйвер и аккумулятор. После идет второй управляющий драйвер. В конце очереди энергия поступает на полезную нагрузку в нашем случае это электродвигатель погрузчика.

За счет изменения сопротивления цепи пойдет подстройка для поддержания максимального КПД передачи энергии.

В качестве управляющего драйверов будут использованы бустер и чоппер.

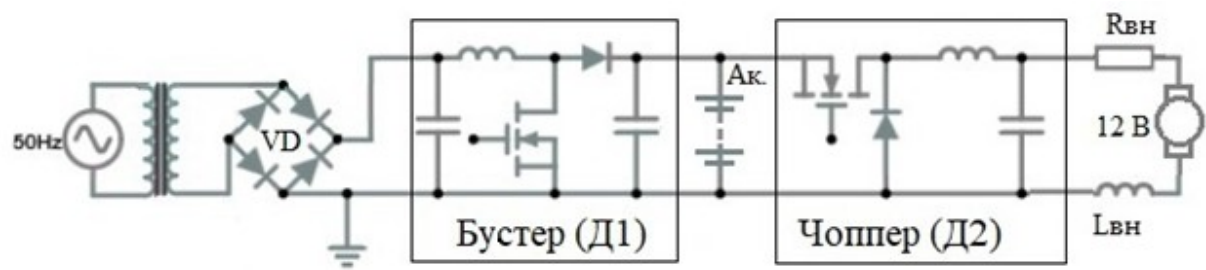


Рисунок 16 - Полная электрическая схема электропогрузчика

2.2 Что такое бустер и чоппер

Бустер – это повышающий, стабилизатор, корректор коэффициента мощности. Название произошло от слов (boost converter, step-up converter).

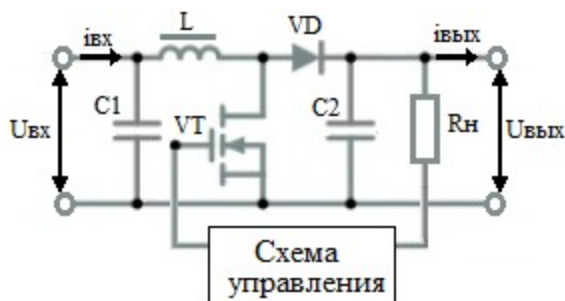


Рисунок 17 -Электрическая схема бустера

Поступающие напряжения направляется сперва на конденсатор ($C1$) функция которого заключается в фильтрации. Далее напряжение идет на дроссель (L). И управляемому транзистору. В нашем случае это N-канальный MOSFET (VT). Транзистор будет работать с постоянной частотой изменения в импульсном режиме. Затем идет диод (VD) к которому подключается второй конденсатор ($C2$). Шунтирующая нагрузка (R_n) также подключается ко второму конденсатору.

Если отображать графически регулировочные характеристики бустера, то они изменяют линию напряжения следующим образом. Расширяется (“вытягиваться”) диапазон входного напряжения, уменьшая нежелательные сопротивления цепей (зарядных и разрядных).

Обычно выбирают коэффициент заполнения со значением примерно 0.8-0.9, ибо, если превысить данное значение, велик риск совпадения с падающим углом характеристики. Чтобы исключить этот нежелательный

моментов (паразитных) в схему управления обязательно добавляют ограничитель.

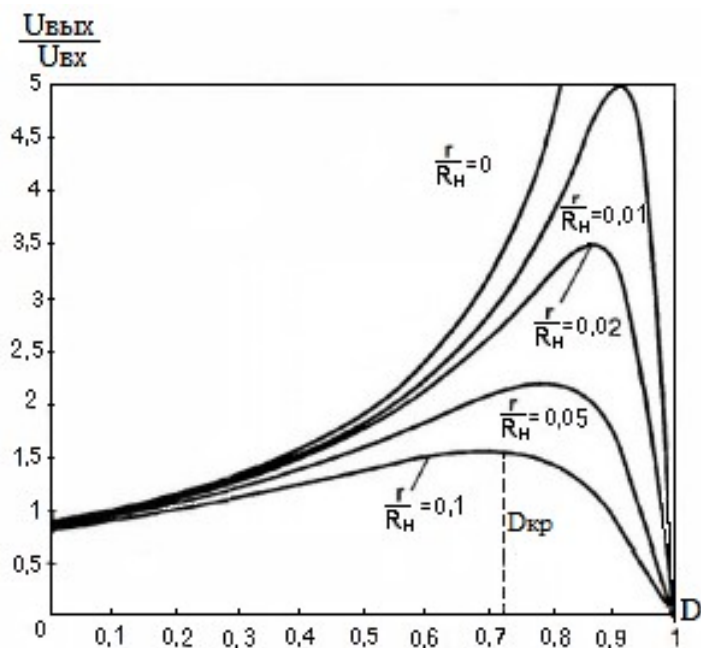


Рисунок 18 - Семейство регулировочных характеристик бустера

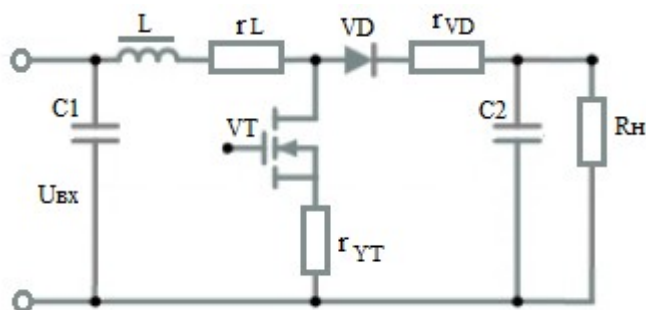


Рисунок 19 - Электрическая схема бустера с паразитными сопротивлениями

Нежелательные (паразитные) параметры в бустере появляются в диапазоне коэффициентов заполнения D в пределах от 0 до $D_{кр}$ (критическое). Таким образом, именно критический коэффициент заполнения определяет границы возможного применения бустера. Ибо это падение

напряжения и паразитное сопротивление уже не может быть покрыто нарастанием тока в индуктивности.

Находится критический коэффициент заполнения следующим образом:

$$D_{кр} = 1 - \sqrt{\frac{r}{R_H}} \quad (2.1)$$

Также благодаря транзистору бустер имеет два режима работы.

1) Режим накопления энергии дросселя (когда транзистор открыт)

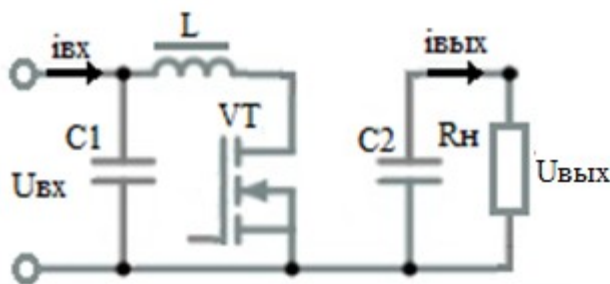


Рисунок 20 – Режим накопления энергии дросселя

Ток, проходя через дроссель (L) отдает ему энергию, тем самым позволяя ему накапливать её. Диод (VD) же не дает проходить току через нагрузку, что приводит к тому что конденсатор (C1) не разряжается. В данный момент времени ток в нагрузке обеспечивается лишь за счет энергии конденсатора (C2).

Так же в дросселе происходит линейное нарастание тока i_L от нулевого значения по формуле:

$$i_L = \frac{U_{вх} \cdot t}{L}, \quad (2.2)$$

где t- время накопления энергии в дросселе.

Ток зависит также не только от времени накопления энергии в дросселе (в большинстве случаев оно ограничено), а также от величины индуктивности дросселя (L). Так как чем меньше индуктивность дросселя, тем легче ему накапливать энергию.

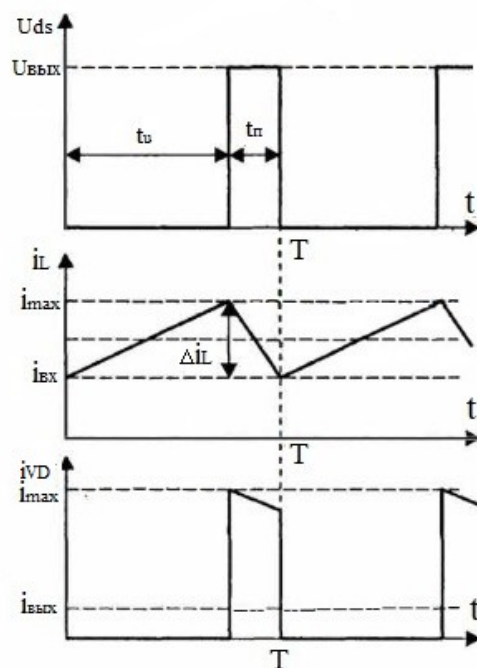


Рисунок 21 - Характеристики бустерного стабилизатора в режиме непрерывных токов дросселя

В режиме непрерывных токов дросселя. Величина токов дросселя будет иметь вид:

$$\Delta i_L = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{U_{\text{ВХ}} \cdot U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}} + U_{\text{ВЫХ}}} \quad (2.3)$$

Входной ток бустера находится следующим образом:

$$i_{\text{ВХ}} = i_{\text{ВЫХ}} \cdot \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \quad (2.4)$$

Максимальный ток дросселя для режима непрерывных токов дросселя имеет следующий вид:

$$i_{\text{макс}} = i_{\text{ВХ}} + \frac{1}{2} \Delta i_L \quad (2.5)$$

Амплитуда тока дросселя таким образом:

$$\Delta i_{AL} = \frac{1}{L} \cdot U_{\text{вх}} \cdot t_u \quad (2.6)$$

Также в режиме непрерывных токов, в момент времени, когда соблюдается равенство $\Delta i_L = 2i_{\text{вх}}$ время открытого состояния транзистора VT находится так:

$$t_u = \frac{1}{L} \cdot \left(\frac{U_{\text{ввых}} - U_{\text{вх}}}{U_{\text{ввых}}} \right) \quad (2.7)$$

В фазе накопление дросселя регулировочная характеристика имеет следующий вид:

$$U_{\text{ввых}} = -U_{\text{вх}} \cdot \frac{1}{1 - D} \quad (2.8)$$

Если коэффициент заполнения $D < 0.5$, то бустер работает с понижением напряжения.

Если коэффициент заполнения $D > 0.5$, то бустер работает с повышением напряжения.

Если коэффициент заполнения $D = 0.5$, то бустер исполняет роль стабилизатора.

2) Режим передачи энергии дросселя (когда транзистор закрыт)

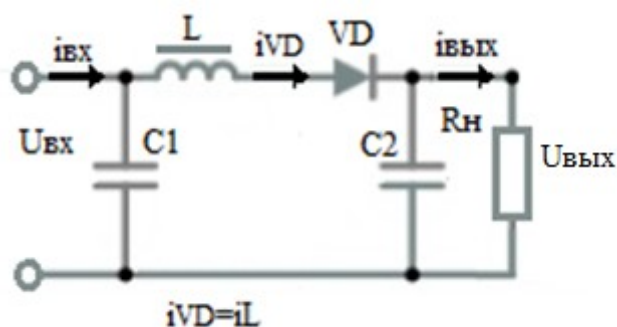


Рисунок 22 - Режим передачи энергии дросселя

В данный момент времени ЭДС самоиндукции суммируется с выходным напряжением, а также энергия, накопленная в дросселе, заряжает конденсатор (C2). Также в

этом режиме выходное ($U_{\text{вых}}$) напряжение может превысить входное ($U_{\text{вх}}$).

При размыкании ключа разрядный ток будет со направлен с зарядным током. Изменения тока дросселя в этом режиме пойдет по формуле:

$$i_l = \frac{U_{\text{вых}} - U_{\text{вх}}}{L} \cdot (T - t), \quad (2.9)$$

где T - период коммутации.

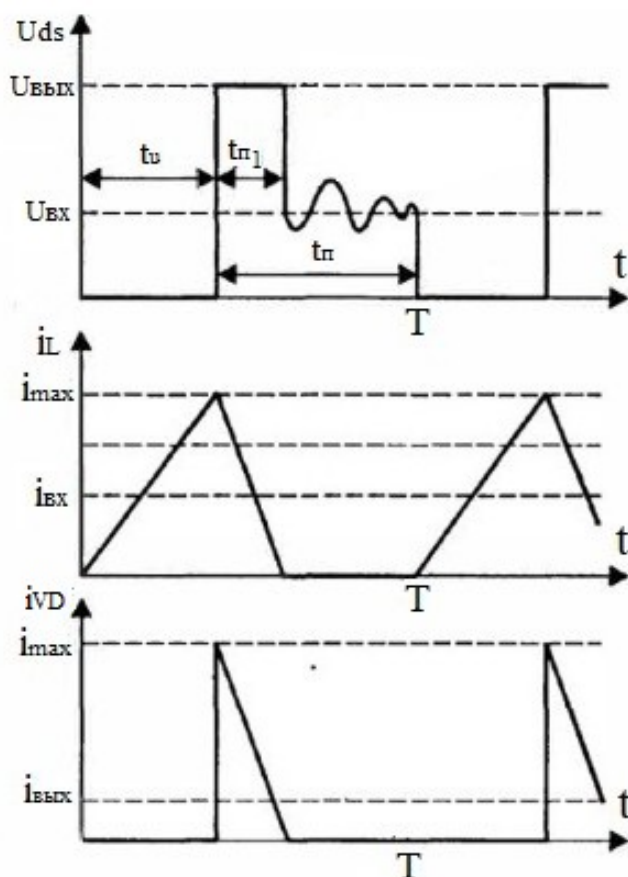


Рисунок 23 - Характеристики бустерного стабилизатора в режиме прерванных токов дросселя

Время открытого состояния транзистора VT в режиме прерванных токов, в момент времени, когда наблюдается неравенство $\Delta i_L > 2i_{\text{вх}}$ время открытого состояния транзистора VT находится так:

$$t_u = \frac{1}{L} \sqrt{i_{\text{ВЫХ}} \cdot L \cdot \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВХ}}^2 \cdot f} \right)} \quad (2.10)$$

Максимальный ток дросселя для прерванных токов:

$$i_{\text{макс}} = \frac{1}{L} \cdot U_{\text{ВХ}} \cdot \frac{D}{f} \quad (2.11)$$

Регулировочная характеристика бустера имеет следующий вид:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{1 - D} \cdot U_{\text{ВХ}} \quad (2.12)$$

Максимальный эффект повышения напряжения от бустерного стабилизатора тоже имеет свои пределы, они не превышают в 6 раз от первоначального значения. И у этого есть свои причины.

Чоппер - это конвертор постоянного тока, позволяющий пропускать через себя большие токи. Также это понижающий стабилизатор.

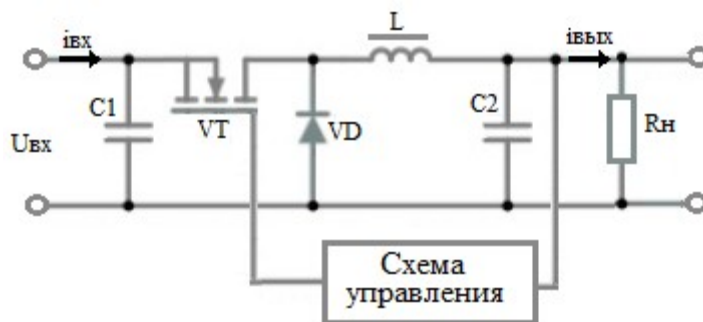


Рисунок 24 - Электрическая схема чоппера

Сначала входное напряжение ($U_{\text{вх}}$) подаётся на первый конденсатор ($C1$) выполняющего функцию фильтра, дальше идет последовательно подключенный транзистор (VT) который проводит коммутацию тока, затем следует разрядный диод (VD), а после дроссель (L) тоже

подсоединенный последовательно, в конце завершает схему второй конденсатор (C2) .

Выходное напряжение будет рассчитываться следующим образом:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{\text{ВХ}}(t) dt \quad (2.13)$$

В чоппере коэффициент заполнения определяется так:

$$D = \frac{t_u}{t_u + t_n} = \frac{t_u}{T} = t_{uf} \quad (2.14)$$

Ток в дросселе накапливается во время режима непрерывного тока, и отдаться во время режима прерывистого тока, таким образом, определяется амплитуда.

$$\Delta i_L = i_{\text{max}} - i_{\text{min}}. \quad (2.15)$$

Величина максимального тока:

$$i_{\text{max}} = i_{\text{ВЫХ}} + 0,5\Delta i_L. \quad (2.16)$$

Также из-за присутствия транзистора в схеме есть два режима работы.

- 1) Режим накопления энергии (транзистор открыт)

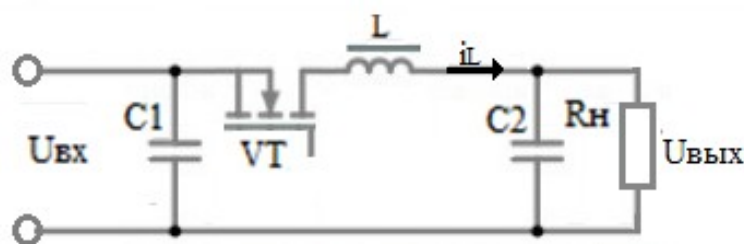


Рисунок 25 - Схема накопления энергии в чоппере

Накопление энергии происходит следующим образом, ток протекает через открытый транзистор (VT), после идет к дросселю (L) в котором и происходит накопление энергии, дроссель же шунтируется вторым конденсатором (C2). В конденсаторе также возможно накопление энергии.

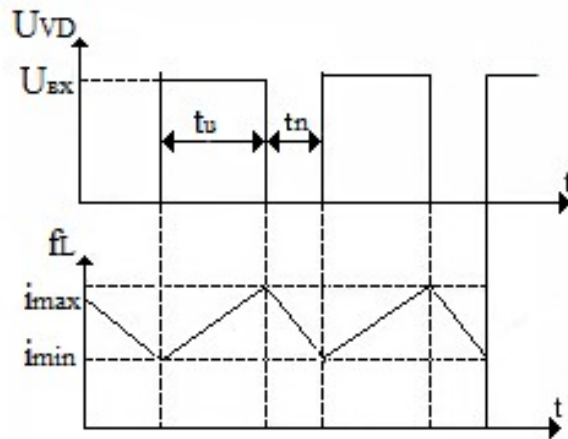


Рисунок 26 - Характеристики чопперного стабилизатора при непрерывном токе

2) Режим разрядки энергии (транзистор закрыт)

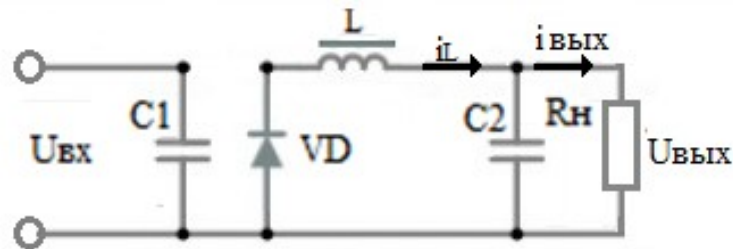


Рисунок 27 - Схема разрядки энергии в чоппере

После того как транзистор перекрыт (VT), ток и накопленная энергия в дросселе (L) замыкается из-за разрядного диода (VD), дольше ток идет к нагрузке.

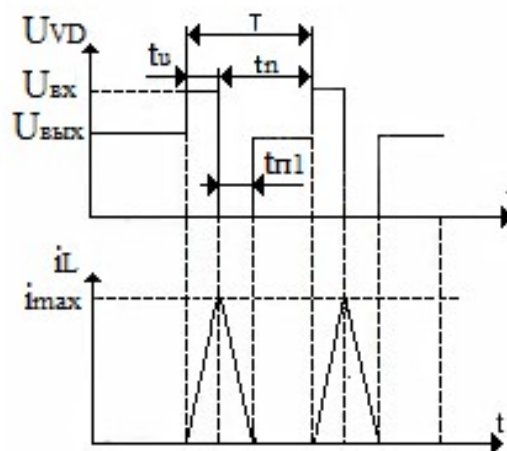


Рисунок 28 - Характеристики чопперного стабилизатора при прерывистом токе

Выходное напряжение при прерывистом токе приходит к виду:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{t_u}{T} U_{\text{ВХ}} = D \cdot U_{\text{ВХ}}. \quad (2.17)$$

В режиме прерывистого тока колебания тока дросселя происходит от нуля до максимального значения, и максимальный ток будет находиться иначе

$$i_{\text{max}} = D(1 - D) \frac{U_{\text{ВХ}}}{2fL}. \quad (2.18)$$

Выходной ток в режиме прерывистого тока будет выжать неравенство:

$$i_{\text{ВЫХ}} \geq 0,5 \cdot i_{\text{max}}. \quad (2.19)$$

$$i_{\text{ВЫХ}} \geq 0,5 \cdot i_L. \quad (2.20)$$

Для практических целей используется чаще всего следующее выражение. Оно позволяет рассчитать минимальную индуктивность дросселя.

$$L \geq \frac{U_{\text{ВХ}}}{2i_{\text{ВЫХ}}f} \cdot (1 - D_{\text{min}}) \cdot D_{\text{min}}, \quad (2.21)$$

где D_{min} - минимальный коэффициент заполнения.

Минимальную индуктивность можно также найти и другим способом, если известна величина нагрузки (R_n) и она постоянна.

$$L \geq \frac{R_n}{2f}. \quad (2.22)$$

Чем больше мы выбираем индуктивность (в сравнении с критической), тем меньше будет амплитуда тока дросселя (Δi_L). Также ток дросселя будет приближаться по значению к току нагрузки.

2.3 Расчет и моделирование электрической схемы части

Моделирование и расчет схемы. Моделирование схемы происходит в программе Circuit Simulator Applet.

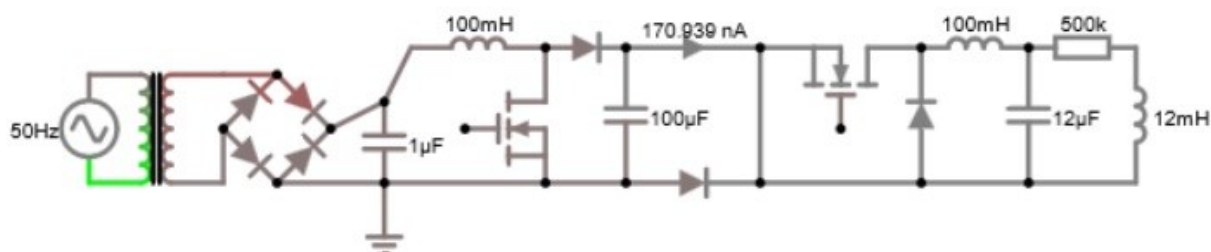


Рисунок 29 - Моделирование схемы в Circuit Simulator Applet

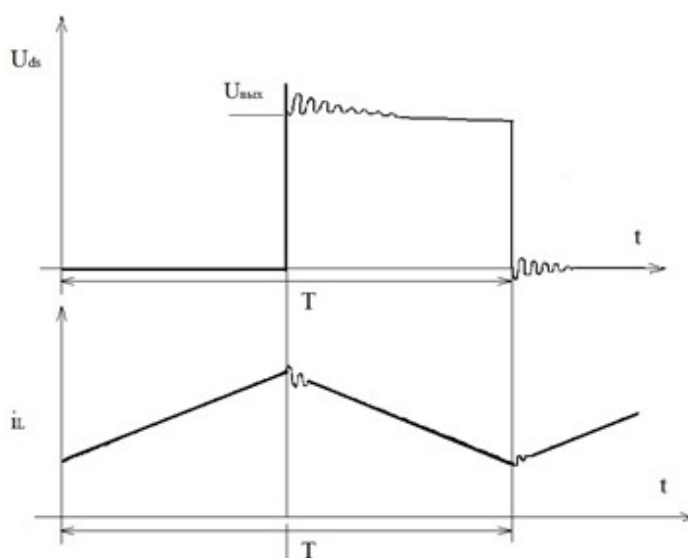


Рисунок 30 - Осциллограмма на бустере

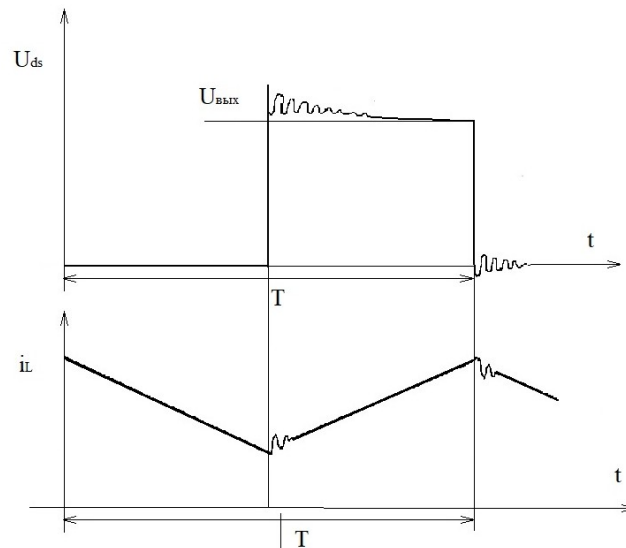


Рисунок 31 - Осциллограмма на чоппере

- 1) Расчет параметров для дросселя в чоппере и бустере, минимальная необходимая индуктивность для дросселя.

$$E = -\frac{d\Psi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}. \quad (2.23)$$

$$V_L = L \frac{I_2 - I_1}{t}. \quad (2.24)$$

$$L = \frac{V_L \cdot t}{\Delta I} = \frac{12\text{В} \cdot 50 \cdot 10^{-6}\text{с}}{50\text{А}} = 12 \cdot 10^{-6}\text{Гн}. \quad (2.25)$$

Таким образом, дроссель должен быть не меньше, чем 12 мкГн. Расчет необходимой емкости конденсаторов выполнен в бустере и чоппере.

$$C_\Phi = \frac{q}{\Delta U} = \frac{10^3 \text{А} \cdot 50 \cdot 10^{-6}\text{с}}{1\text{В}} = 50 \cdot 10^{-3}. \quad (2.26)$$

Таким образом, емкость конденсатора выбираем на 50000 мкФ.

2.4 Моделирование и расчет передачи энергии

Первая часть расчета сделана в программе femm 4.2 с помощью моделирования.

Площадь сечения поверхности, через которую идет передача энергии рассчитывается следующим образом:

$$S = 1,25 \cdot \sqrt{P} = 1,25 \cdot 10000 = 7 \text{ см}^2, \quad (2.27)$$

где P - мощность, равная 10 кВт.

Округляем полученное значение в сторону увеличения и принимаем площадь сечения как:

$$S = 10 \text{ см}^2.$$

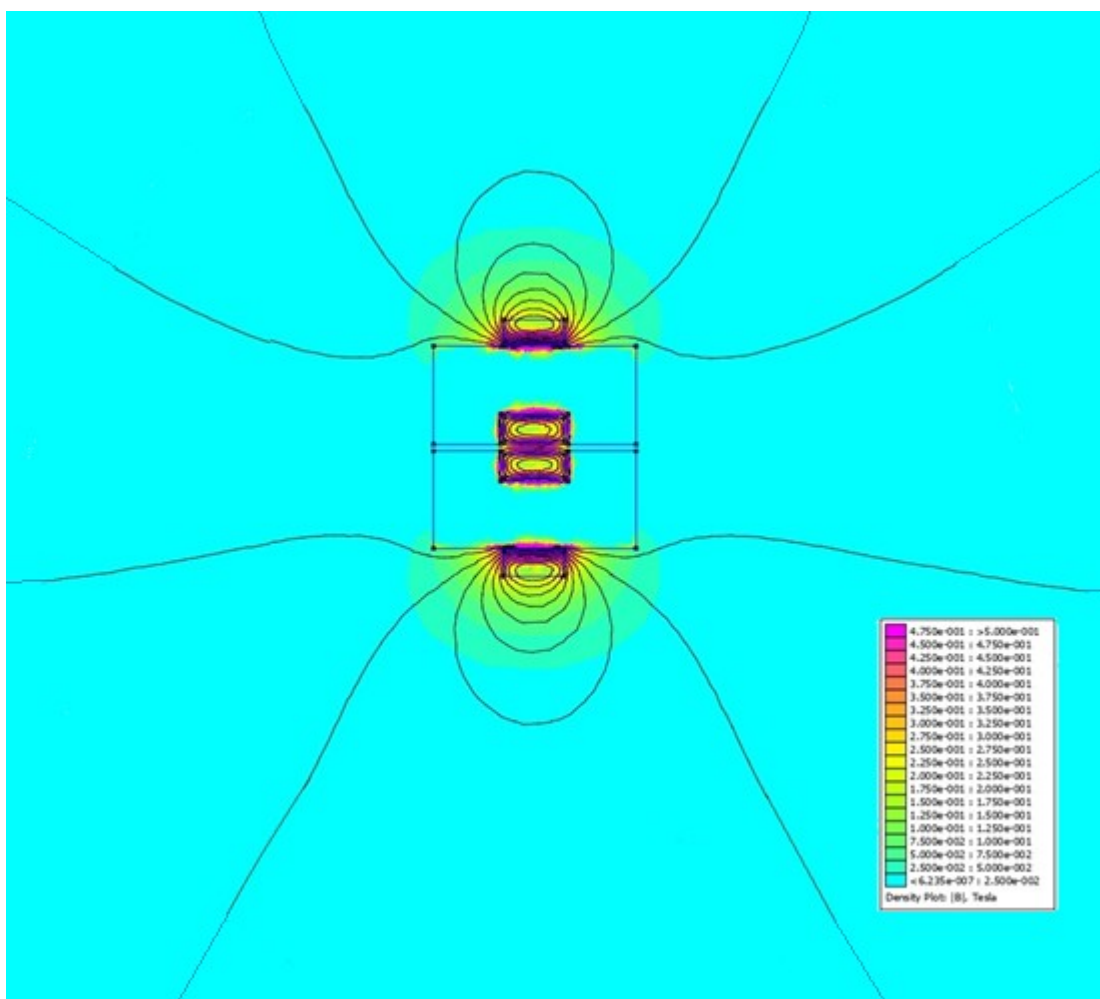


Рисунок 32 - Моделирование магнитной индуктивности в femm 4.2

Расчет параметров в программе с помощью моделирования в некоторых точках.

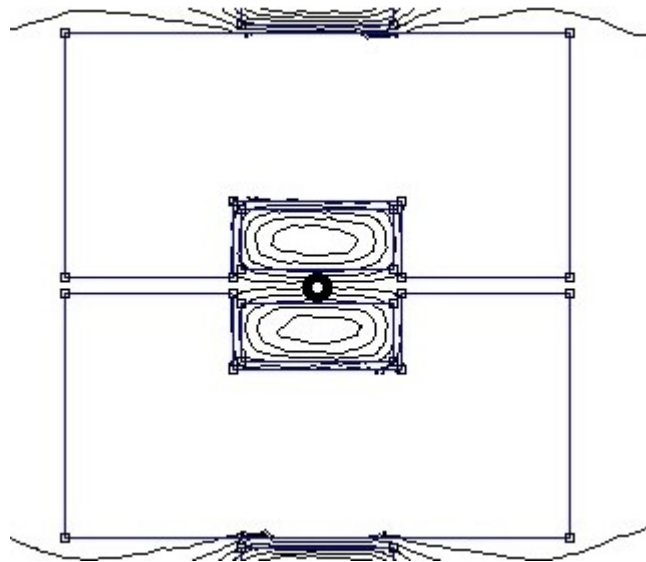


Рисунок 33 - Моделирование передачи индуктивным способом в электропогрузчике в некоторой точке 1

Полученные данные при моделировании:

$$\text{Point } x=144 \quad y=152.$$

$$A = -0.0011885 \text{ A/i}.$$

$$|B| = 0.58276 \text{ T}.$$

$$B_x = -0.574 \text{ T}.$$

$$B_y = 0.0022114 \text{ T}.$$

$$|I| = 46375 \text{ A/i}.$$

$$I_o = -45951 \text{ A/i}.$$

$$I_y = 17581 \text{ A/i}.$$

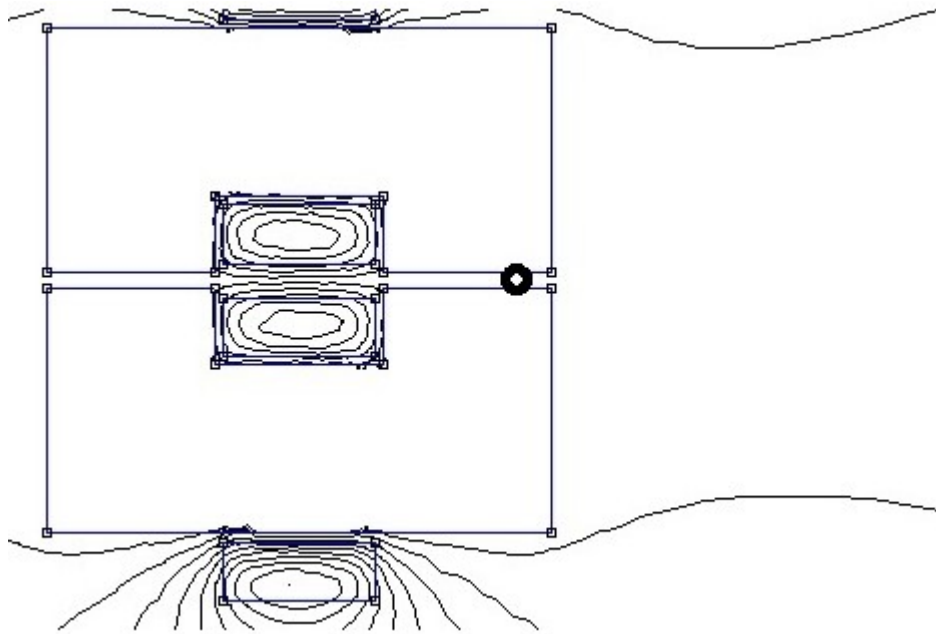


Рисунок 34 - Моделирование передачи индуктивным способом в электропогрузчике в некоторой точке 2

Point $x = 291, y = 151$.

$$A = -0.0011885 \text{ В/м}.$$

$$|B| = 0.0001729 \text{ Тл}.$$

$$B_x = 0.00002963 \text{ Тл}.$$

$$B_y = 0.00008424 \text{ Тл}.$$

$$|I| = 13763 \text{ А/м}.$$

$$I_x = 23581 \text{ А/м}.$$

$$I_y = 67037 \text{ А/м}.$$

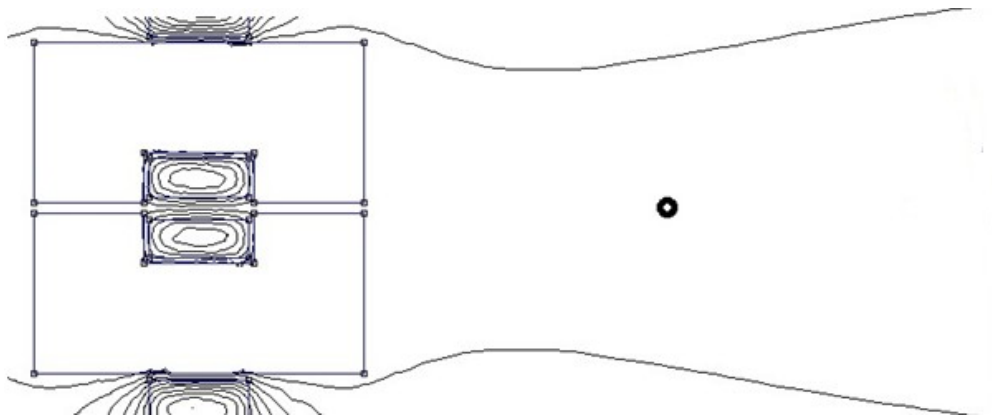


Рисунок 35 - Моделирование передачи индуктивным способом в электропогрузчике в некоторой точке 3

Полученные данные при моделировании:

$$\text{Point } x = 574, y = 145.$$

$$A = -0.0001359 \text{ В/м}.$$

$$|B| = 0.006428 \text{ Тл}.$$

$$B_x = 0.006229 \text{ Тл}.$$

$$B_y = 0.0004323 \text{ Тл}.$$

$$|I| = 511571 \text{ А/м}.$$

$$I_x = 495734 \text{ А/м}.$$

$$I_y = 344024 \text{ А/м}.$$

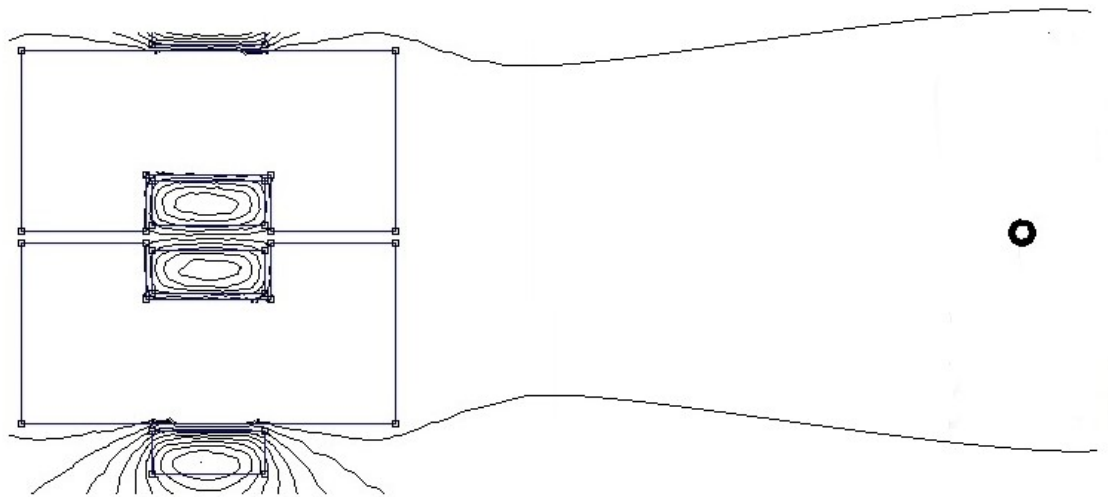


Рисунок 36 - Моделирование передачи индуктивным способом в электрогрузчике в некоторой точке 4

Полученные данные при моделировании:

Point $x = 852, y = 144$.

$$A = -0.0011885 \text{ A/i} .$$

$$|B| = 0.00017296 \text{ A} .$$

$$B_x = 0.00002963 \text{ A} .$$

$$B_y = 0.00008424 \text{ A} .$$

$$|I| = 13763 \text{ A/i} .$$

$$I_o = 23581 \text{ A/i} .$$

$$I_y = 67037 \text{ A/i} .$$

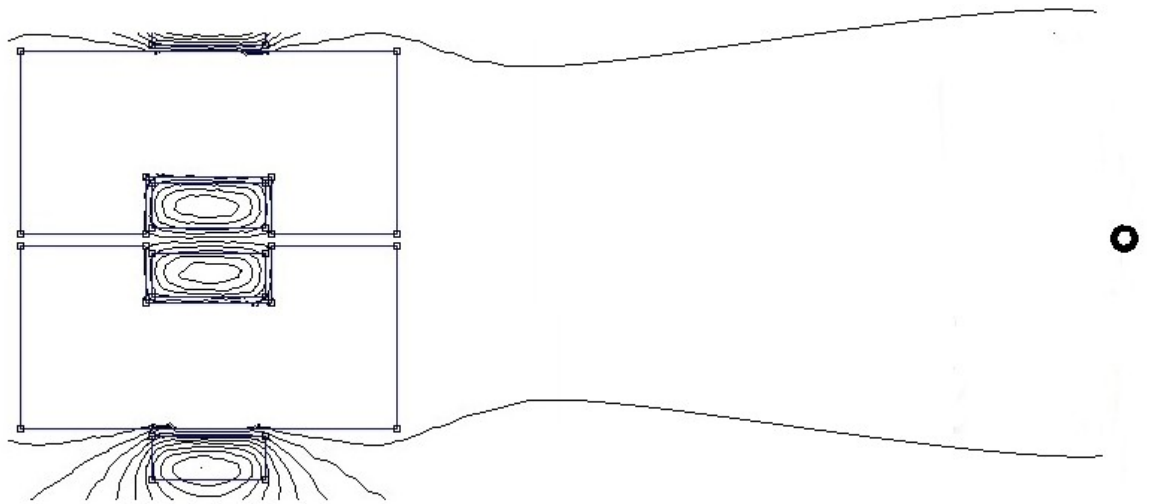


Рисунок 37 - Моделирование передачи индуктивным способом в электропогрузчике в некоторой точке5 (расстояние от источника 1 метр)

Полученные данные при моделировании:

$$\text{Point } x = 173 \quad y = -63$$

$$A = -0.0033923 \text{ Вб/л } .$$

$$|B| = 0.0001771 \text{ Тл} .$$

$$B_x = -0.000099802 \text{ Тл} .$$

$$B_y = -0.000014143 \text{ Тл} .$$

$$|I| = 140995 \text{ А/л } .$$

$$I_x = -79420 \text{ А/л } .$$

$$I_y = -112548 \text{ А/л } .$$

Расчет магнитной напряженности для каждой точки:

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

$$1) \quad H_1 = \frac{0,5827}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 463697 \text{ А/м}$$

$$2) \quad H_2 = \frac{0,0007}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 557 \text{ А/м}$$

$$3) \quad H_3 = \frac{0,0064}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 5092 \text{ А/м}$$

$$4 \quad H_4 = \frac{0,0041}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 3262 \text{ A/m}.$$

3 БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ

3.1 Что такое электромагнитное поле

Индуктивный метод возможен благодаря явлению электромагнитных полей, а именно электромагнитной волны. Но, как и всякое излучение, оно оказывает определенное влияние на человека.

Есть естественный фон электромагнитного поля и излучения, которое оказывает прямое воздействие на человека каждый день. И различаем мы лишь узкую часть видимого излучения. Общее излучение складывается за счет магнитного поля земли (поле полюсов земли или геомагнитное поле, магнитные бури, грозы), свет (видимое излучение), излучение космоса и влияние атмосферы (озоновые дыры, вспышки, космическое реликтовое излучение).

Помимо естественных источников электромагнитного излучения, в наши дни на современного человека также действуют и другие, а именно искусственные или антропогенные источники облучения. Это воздушные линии передач и напряжения, электрический транспорт, контактные провода, двигатели, телецентры, сотовая связь, радио излучение (радио передача, радиолокация), бытовое излучение (бытовая техника).

Прежде чем начнем разбор модели электропогрузчика, проясним для себя, что такое электромагнитное поле, и какое конкретное воздействие на человеческий организм она оказывает.

Электромагнитное поле – это совокупность двух взаимосвязанных и дополняющих друг друга полей. А именно магнитного и электрического.

Распространения в пространстве электромагнитного излучение благодаря такому явлению как электромагнитная волна.

Физическое существование электромагнитного поля объясняется тем, что электрическое поле порождает магнитное, а переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое. Напряжение электрического поля E и напряженность магнитного поля H непрерывно изменяясь, возбуждают друг друга. Это явление изучил и записал Джеймс Клер Максвелл в четырех уравнениях, которые вошли в историю как четыре уравнения Максвелла. У них две формы интегральная и дифференциальная.

Уравнения Максвелла в дифференциальной форме	Система уравнений Максвелла в интегральной форме
1. $\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$	1. $\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}.$
2. $\operatorname{div} \vec{B} = 0.$	2. $\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0.$
3. $\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}.$	3. $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}.$
4. $\operatorname{div} \vec{D} = \rho.$	4. $\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV.$

Электромагнитные волны – это взаимосвязанные колебания электрических и магнитных полей, порождающие единое поле.

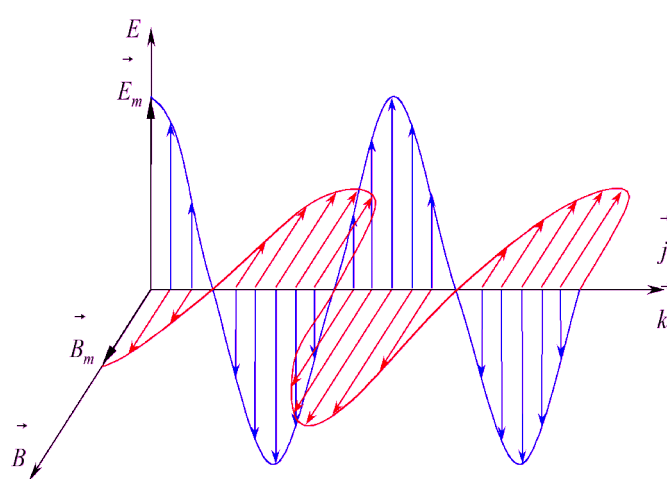


Рисунок 38 - Электромагнитная волна

3.2 Характеристика и классификация излучения

Классификация электромагнитного поля относится к сверхнизким (от 30 до 300 Гц)

Электромагнитные волны характеризуются следующими параметрами:

Таблица 2

Частота	f
Длина волны	λ
Напряженность электрического поля	E
Напряженность магнитного поля	H
Скорость распространения	c
Вектор плотности потока энергии	S

В естественных условиях скорость электромагнитной волны, и света примерно меж собой равны. Скорость будет изменяться в зависимости от следующих условий, а именно среды или материала через который проходит само излучение. А именно важны такие параметры материала как диэлектрическая проницаемость ξ и магнитная проницаемость μ .

Излучения также делиться на ионизирующие и неионизирующее.

Неионизирующее излучение включает в себя все электромагнитные излучения, которые не в состоянии провести процесс ионизации материи, поскольку у них не хватает энергии. Граница устанавливается условно до 1 нанометра. К ним относятся радиочастоты, оптически диапазон, также условно статические магнитные и электрические поля.

К ионизирующим относят рентгеновское излучения, гамма-излучение.

Таблица 3

Наименование электромагнитного поля	Название классификации электромагнитного поля	Диапазон частот	Длина волны
Статические	-	0	-
Радиочастоты	Крайне низкие	3-30 Гц	100-10 Мм
	Сверхнизкие	30-300 Гц	10-1 Мм
	Инфра низкие	0,3-3 кГц	1000-100
	Очень низкие	3-30 кГц	км
	Низкие	30-300 кГц	100-10 км
	Средние	0,3-3 МГц	10-1 км
	Высокие	3-30 МГц	1-0,1 км
	Очень высокие	30-300 МГц	100-10 м
	Ультравысокие	0,3-3 ГГц	10-1 м
	Сверхвысокие	3-30 ГГц	1-0,1 м
	Крайне высокие	30-300 ГГц	10-1 см
	Гипервысокие	0,3-3 ТГц	10-1 мм 1-0,1 мм
Оптические	Инфракрасные	3-375 ТГц	100-0,8
	Ультрафиолетовые	750 ТГц - 300ПГц	мкм 400-1нм
Ионизирующее	Рентгеновское излучение	300-50000 ПГц	1000-6 пм Меньше 6
	Гамма-излучение	Более 50000 ПГц	пм

3.3 Влияние электромагнитного поля на здоровье и организм человека

Взаимодействие организма человека и магнитного поля зависит от множества факторов. Нарушение здоровья

происходит из-за вмешательства электромагнитного излучения во внутренние процессы организма человека, его собственных и естественных полей.

Особо можно выделить следующие параметры которые определяют взаимодействие тела и внешнего электромагнитного поля.

- рост, вес, телосложение и анатомия;
- электромагнитные особенности тканей организма (электрическая и магнетическая проницаемость тканей);
- параметры внешнего электромагнитного поля (частота, интенсивность и др.);

Влияние внешнего излучения это сложная и объёмная картина, с неравномерным взаимодействием внутренних систем человека и отдельных его органов и многочисленных тканей.

Выделяется три степени воздействия электромагнитной волны на человека:

1) Зона индукции или ближняя зона. Имеет радиус $R \leq \lambda/2\pi$. В этой зоне электромагнитная волна еще не сформирована, и поэтому на человека воздействует независимо друг от друга напряженность электрического поля и магнитного.

2) Зона интерференции или промежуточная зона. Имеет радиус $\lambda/2\pi < R < 2\pi\lambda$. В данной зоне одновременно воздействуют на человека отдельно напряженность электрического и магнитного поля, а также энергетическая составляющая.

3) Зона излучения или дальняя зона. Имеет радиус $R \geq 2\pi\lambda$, характеризуется тем, что это зона сформировавшейся электромагнитной волны. В этой зоне на человека

воздействует только энергетическая составляющая, а векторы E (электромагнитной индукции) и H (напряженности магнитного поля) всегда взаимно перпендикулярны. В вакууме и воздухе $E = 377 H$.

Проводит ток в человеческом организме межклеточная жидкость. Роль естественного диэлектрика в организме играет мембрана клетки. Их сочетание и естественные постоянные процессы приводят к тому, что в организме человека постоянно протекают ионные токи.

Внешнее поле грубо вмешивается в данный процесс, ведь под воздействием внешнего магнитного поля мембрана теряет свои свойства диэлектрика. Чем выше частота, тем больше появиться ионная проводимость в организме, что в свою очередь приведет к увеличению поглощения энергии.

Когда частота электромагнитного поля выходит за рамки и границы Мегагерц ионная проводимость становится постоянной, поглощение энергии же продолжит увеличиваться за счет потерь колебания образующихся дипольных молекул окружающей среды (воды и белков).

Итак, поглощение энергии в тканях осуществляется за счет электрического сопротивление среды при возникновении токов проводимости (потери ионной проводимости), также за счет трения (вращения) дипольных молекул в вязкой среде (диэлектрические потери)

В последствие поглощения большого количества энергии появляется тепловой эффект (перегрев тканей). Чем больше время и интенсивность воздействие, тем быстрее и сильнее произойдет нагрев.

Поглощение энергии телом человека зависит от формы, размера и длины волны излучения. Различают следующие области:

- частота до 30 мегагерц.

Характерные черты этой области быстрое падение величины поглощения с уменьшением частоты (примерно пропорционально квадрату частоты)

- частота от 30 мегагерц до 10 гигагерц.

Характерные черты этой области присутствие максимума поглощения, после которого тело притягивает к себе поле и поглощает энергии больше чем приходится на его поперечное сечение. Появляется такое явление как "горячие пятна". Это зона локальных максимумов поглощения. Происходят из-за резонанса тела.

- частота более 10 гигагерц.

Характерные черты этой области организм человека поглощает в поверхностных слоях биоструктур.

Энергия после поглощения многократно отражается, и преломляется внутри тела из-за многослойности и сложности структуры человеческого организма. Из-за разной толщины слоев энергия поглощается неравномерно, что и объясняет неодинаковое воздействие на разные ткани.

Тепловая энергия, появившись в тканях тела человека, приводит к увеличению потоотделения организма. Некоторое количество избыточной теплоты можно вывести (компенсировать) естественным путем, но если интенсивность больше чем $10\text{мВт}/\text{см}^2$ (тепловой порог человека) организм перестает справляться и температура человека продолжает повышаться.

Наиболее уязвимы перед облучением органы без терморегуляции, такие как мозг, глаза, почки и др. Перегревание тканей приводит к болезням и необратимым изменениям организма.

При облучении высоких частот и особенно СВЧ излучения на тело человека кроме теплового эффекта также происходит множество микропроцессов из-за резонансного эффекта внешних полей с внутренними полями организма.

Излучение электромагнитного поля к множеству изменения в организме (морфологическим, функциональным). При кратковременном воздействии на организм человека все последствия легко обратимы, но чем дольше излучение или если оно периодическое, тем опасней последствия.

Последствиями излучения электромагнитного поля на человека являются:

- торможение и ухудшение рефлексов и реакции;
- изменения и нарушение работы головного мозга (нарушение памяти, депрессия и др.);
- понижение кровяного давления;
- замедление сокращения сердца;
- изменение состава крови (увеличение лейкоцитов и уменьшение эритроцитов);
- нарушение работы печени и селезенки;
- помутнение хрусталика глаза;
- выпадение волос;
- повышенная ломкость костей и ногтей;
- повреждение иммунной и репродуктивной систем;
- также повышается риск онкологических заболеваний;
- повышенное появление лейкемии у детей.

Симптоматика повышенного излучение электромагнитного поля на человека:

- повышенная утомляемость;
- головные боли;
- повышенная раздражительность;
- нарушение режима сна, бессонница;
- одышка;
- ухудшение зрения;
- повышение температуры тела.

3.4 Нормирование электромагнитного поля

Нормирование и контроль электромагнитных полей и заболеваний с ними связанных осуществляется нормами, прописанными на законодательном уровне СанПиН 2.2.4.1191-03 “Электромагнитные поля в производственных условиях” устанавливают предельно допустимое значение уровня электромагнитного поля, и требования к проведению контроля уровней электромагнитного поля на рабочем месте, методах и средствах защиты работников.

Нормирование электростатических полей осуществляется по нормам СанПиН 2.2.4.1191-03 и ГОСТа 12.1.045-84 (2001) “ССБТ Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля”.

Максимально допустимая величина напряженности электромагнитного поля на рабочем месте устанавливается в зависимости от времени воздействия на работника в течение рабочего дня. Напряженность электростатического поля на рабочих местах обслуживающего персонала не должна превышать следующих значений.

- при времени облучения не более часа 60 кВ/м
- если облучение происходит более часа за рабочий день,

то значение $E_{пду}$ определяется следующим образом.

$$E_{пду} = \frac{60}{\sqrt{t}}, \quad (3.1)$$

где t - время облучения

В диапазоне напряженностей от 20 кВ/м до 60 кВ/м допустимое время пребывания работников в зоне электростатического поля без средств защиты решается так:

$$t_{доп} = \left(\frac{60}{E_{факт}} \right)^2, \quad (3.2)$$

где $E_{факт}$ – измеренное фактическое значение напряженности электростатического поля в кВ/м.

Если напряженность электростатического поля превышает значение в 60 кВ/м, работы без средств специальной защиты запрещаются.

Если напряженность электростатического поля не превышает значение в 20 кВ/м, то время работы не ограничивается.

Нормирование постоянных магнитных полей происходит исходя из уровня магнитного поля дифференцировано по времени действия на человека за его рабочий день. Также зависит, действует ли облучение на все тело, или оно воздействует на какую либо его локальную зону (кисти, предплечье и др.). Уровень облучения постоянного магнитного поля H в А/м или единицах магнитной индукции В мТл. Напряжённость постоянного магнитного поля за один рабочий день не должна превышать 8 кА/м на общем

излучении тело, при локальном воздействии не более 12 кА/м.

Промышленная частота (именно под нее мы делали электропогрузчик) в России является 50 Гц (длина волны составляет 6 тыс. километров). Человек подвергается воздействию в ближней зоне. Поэтому идет оценка отдельно по электрическому полю и магнитному полю.

Параметром, по которому идет нормирование и оценка, это

Напряженность электрического поля (E) в кВ/м

Напряженность магнитного поля (H) в кА/м.

Оценка параметров регулируется ГОСТ 12.1.002-99 "ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах " также жесткий регламент устанавливает СанПиН 2.2.4.1191-03 ПДУ ЭП ПЧ для полного рабочего дня.

3.5 Расчет безопасной эксплуатации электропогрузчика

Нормы для полного рабочего дня (возьмём смену 12 часов). Это не более 5 кВ/м для неопасных работ (без средств защиты).

Нормирования в нашем случае идет на расстоянии одного метра от источника. Используем результаты моделирования на рисунке 2.24.

Значение, полученное при моделировании:

$$B = 0.00017.$$

$$H = 140995.$$

При смене в 12 часов облучение электромагнитного поля составит:

$$W_{\text{смены}} = 0,000171 \cdot 12 = 0,002052$$

$$H_{\text{смены}} = 140,995 \cdot 12 = 1,691 \text{ кВ/м}$$

$$W_{\text{смены}} = 0,002052 \text{ А/м} > 8000 \text{ А/м}$$

$$H_{\text{смены}} = 1,691 \text{ кВ/м} > 5 \text{ кВ/м}$$

Таким образом, видно, что излучение получаемое человеком, соответствует всем нормам и регламентам, также оно полностью безопасно для здоровья человеческого организма.

3.6 Способы и системы защиты от облучения электромагнитного поля

Если излучение на рабочем месте происходит интенсивней, чем это определено нормами СанПиН 2.2.4.1191-03. То в зависимости от используемых диапазонов частот, характера производимых работ. От излучения магнитного поля применяют разные способы защит. Но их все можно разделить на активные и пассивные.

Активные способы защиты включают в себя следующее:

- уменьшение параметров излучения через изменение конструкции источника излучения;
- через экранирование источника;
- через экранирование рабочего места персонала;
- применения средств индивидуальной защиты персоналом.

Пассивные способы защиты включают в себя следующее:

- выделение отделение зон излучения;
- защита через время (ограничение времени облучения);
- защита через расстояние;
- рациональное использование пространства и установок;
- применение средств сигнализации, предупреждающие о начале излучения;
- установление регламента эксплуатации установок персоналу.

Защита через время происходит через регламентирование и ограничение времени работ человека в зоне излучения. Применяется в крайних случаях, когда просто нет возможности ограничить излучение

электромагнитного поля другим способом. Время работ регламентируется и нормируется нормами СанПиН 2.2.4.1191-03. А именно так как рассказывалось выше. При опасных работах, когда облучение выше нормы, время допустимого облучения определяется следующим образом.

$$T = \frac{50}{E} - 2. \quad (3.3)$$

Защита через расстояние используется, когда невозможно обезопасить интенсивность облучения другими способами, в том числе временем работ человека в зоне облучения. Применяя его, используют то, что поля быстро уменьшается в зависимости от расстояния.

Для электромагнитных полей радиочастот плотность потока энергии на большом расстоянии находится так:

$$S = \frac{P}{4\pi R^2}, \quad (3.4)$$

где S - Поток энергии, единицы измерения, Вт/м²

P - мощность источника, единицы измерения, Вт.

R - расстояние до источника, единицы измерения, м.

Для электромагнитных полей радиочастот плотность потока энергии на ближнем расстоянии справедливы равенства:

$$E \equiv R^{-3},$$

$$H \equiv R^{-2}.$$

Рациональное использование пространства и установок имеет приоритет использования для источников высокочастотных электромагнитных полей. Энергия электромагнитного поля, излучаемая локальными элементами определенных установок, и источников

используется при не полном экранировании источника или рабочего места. Учитывается многочисленное отражение от стен, перегородок, перекрытий. Большая часть энергии при отражении рассеивается, но в зоне перекрытий увеличивается плотность электромагнитного поля в помещении.

Исходя из того, что напряженность электрического и магнитного поля в зоне индукции сильно зависят от расстояния, принято, что на каждую единицу работающей установки, установленной в отдельном помещении, должно по регламенту приходиться не меньше чем 25^2 , если мощность не превышает 30 кВт. Также не менее 40^2 , если мощность больше данного значения. В помещении не должны находиться лишние, посторонние металлические предметы так, как они будут увеличивать напряженность магнитного поля из-за эффекта отражения.

Для защиты от электромагнитных излучений пользователя компьютера, нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 было установлено. Что на одно рабочее место пользователя ПЭВМ с ВДТ по базе электронно-лучевая трубка должна быть не меньше чем 6^2 . С ВДТ на основе плоского дискретного экрана (плазменного, жидкокристаллического) $4,5^2$. Расстояние между двумя боковыми поверхностями соседних мониторов должно быть не меньше чем 1,2 метра. Между обратной стороной монитора и поверхностью второго должно быть не меньше чем 2 метра. Наилучшим вариантом размещения компьютеров в помещении должно быть по периметру.

Выделение (отделение) зон излучения происходит по итогу фактического изменения интенсивности электромагнитного излучения в помещении. В этом случае источник ограждают или обозначают на полу яркой краской.

К примеру, охранная зона для линий электропередач промышленной частоты, отсчитывается от проекции крайних фаз на землю. Для ВЛ. на 220 КВ составляет 25 метров. Для ВЛ. на 750кВ составляет 40 метров.

Рациональное использование пространства и установок электромагнитного излучения осуществляется через правильный выбор оборудования. К примеру, не стоит брать технику завышенных параметров (частоты, мощности, интенсивности). Мы выбираем такой генератор, какой нам нужен под нашу конкретную задачу. Также мы ограничиваем время его работы, агрегат включён ровно столько сколько нужно для проведения работ.

Процесс организации работы с ПЭВМ происходит в зависимости то категорий и вида работ. Согласно нормам СанПиНа 2.2.2/2.4.1340-03

Трудовая деятельность подразделяется на следующие группы.

- А. Это работа по считыванию и обработке информации с монитора ВДТ с предварительным запросом.

-Б. Это работа по вводу информации в систему.

-В. Творческая работа с обратной связью через ПЭВМ.

Категория трудовой деятельности и уровень нагрузки в процессе рабочего дня устанавливают время перерывов и других регламентов.

Таблица 4

Категор	Уровень нагрузки на рабочий	Суммарное время
---------	-----------------------------	-----------------

ия работы	день работы с ПЭВМ			перерыва в минутах	
	А (знаки)	Б (знаки)	В (часы)	8 часовой	12 часовой
1	До 20 тыс.	До 15 тыс.	До 2	50	80
2	До 40 тыс.	До 30 тыс.	До 4	70	110
3	До 60 тыс.	До 40 тыс.	До 6	90	140

Чтобы предотвратить повышенную утомляемость у работников ПЭВМ используются рекомендации по чередованию работ с ПЭВМ и без него.

Если работа имеет постоянный характер работы с ПЭВМ, без смены вида деятельности не требующих связи с ПЭВМ. В силу вступают рекомендации по организации перерывов работы на 10-15 минут каждый час работы.

Продолжительность работ с ВДТ без перерыва не должна ни в коем случае превышать час.

При работах с ПЭВМ в ночное время (с 10 часов вечера по 6 час утра), в любой виде и категории деятельности обязательно увеличивается время на треть.

Уменьшение параметров излучения путем изменения конструкции источника происходит за счет согласования нагрузок и поглотителей электромагнитных волн.

Поглотителями энергии служат следующие материалы:

- графиты;
- углеводистые сплавы;
- пластмассы;
- ферромагнитная жидкость;
- неопреновый каучук;

- полимеры;
- керамика.

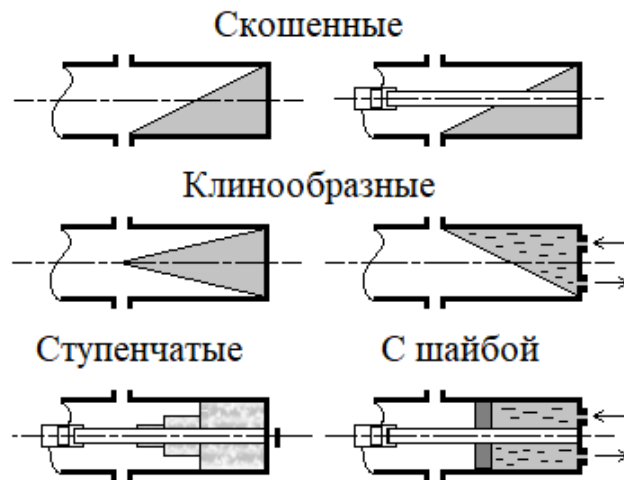


Рисунок 39 - Конструкция поглотителей электромагнитных волн

Самым эффективным и используемым способом защиты от излучения это экранирование источника или рабочего места.

Экраны делятся на следующие группы:

- отражающие;
- поглощающие.

Эффективность экранирования от электромагнитного поля зависит от конструкции (толщины) и материала.

Качество экранирование определяют по функции экранирования (К) и обратного воздействия (В) которые рассчитываются следующим образом:

$$K = \frac{E^+}{E},$$

$$K = \frac{H^+}{E},$$

$$B = \frac{E^-}{E},$$

$$K = \frac{H^-}{E^-}.$$

где E^- - напряжённость отраженного электрического поля;

H^- - напряжённость отраженного магнитного поля.

E^+ - напряжённость электрического поля в точке измерения при наличии экрана;

H^+ - напряжённость магнитного поля в точке измерения при наличии экрана.

Практически эффективность экранирования определяют (в децибелах) следующим образом:

$$\mathcal{E} = 20 \lg \frac{E}{E^+},$$

$$\mathcal{E} = 20 \lg \frac{H}{H^+},$$

$$\mathcal{E} = 20 \lg \frac{S}{S^+}.$$

где S^+ - плотность энергии электромагнитного поля при наличии экрана.

Экраны отражения изготавливают из материалов, которые также являются хорошими проводниками: таких, как медь, сталь, алюминий и латунь.

Конструкция экрана целиком и полностью зависят от источника излучения и определяются его параметрами. Самые массовые в производстве это:

- плоские;
- цилиндрические;
- сферические;
- в форме шкафа.

Реже возможны следующие конструкции (когда защита от облучения нужна, но не значительно):

- сетки;
- сотовые решетки.

Индивидуальные или личные средства защиты от излучения электромагнитного поля. Применяются года не удастся оперативно решить вопрос с излучением. Также возможен запас на опасных работах и производствах на случай чрезвычайной ситуации.

Индивидуальные или личные средства защиты являются:

- комбинезоны, халаты, изготовленные из металлизированной или прорезиненной ткани (защита человека будет происходить по принципу экрана);
- защитные очки с металлизированными стеклами (бесцветная пленка из оксида олова, которая способна понизить облучение на 30дБ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении данной работы были разобраны методы бесконтактной передачи энергии, их устройство и конструкция, история создания, а также элементы биографии ученых, что принесли этот вклад в электротехнику и энергетику, проанализированы на наличие достоинств и недостатков каждого из методов бесконтактной передачи энергии, возможные сферы их применения, примеры использования уже в наши дни, и дни неотдаленного будущего. От самых простых и известных, что уже широко применяются в сейчас в быту и науке, до нереализованных и нетронутых теорий, таких, что только предстоит подтвердить или опровергнуть.

В практической части была составлена электрическая схема питания электропозрузчика от стандартной промышленной сети. Полностью представлены его параметры и характеристики. Способ питания был выбран индукционный. Было рассмотрено то, что собой представляет бустер и чоппер, их функция, метод действия и осциллограммы. Промоделирован весь процесс передачи энергии в программе Circuit Simulator Applet.

Также рассчитали основные параметры и промоделировали процесс передачи энергии в программе femt 4.2 для нескольких точек. Также составлена в программе femt 4.2 индукционная диаграмма.

В процессе написания данной работы электропозрузчик был проанализирован с точки зрения безопасной эксплуатации для человека путем несложных расчетов, где

отдельно рассматривается электрическое и магнитное поле, что он полностью безопасен и не несет вреда здоровью.

Был разобран подробно вред электромагнитного поля для человеческого организма и рассмотрены методы защиты от него. Классификация работы по электропогрузчику также была рассмотрена, перечислены группы и категории опасности, нормы СанПиНа и регламент организации работ в зависимости от времени смены (12 часовая или 8) учитывая, является она ночной или дневной. Полностью классифицировано излучение в зависимости от частоты и длины волны. Также назвали материалы, которые используются для защиты от электромагнитного излучения.

Важность энергетики в информационном и пост информационном мире сложно переоценить. Она кровь в жилах наших городов, что постоянно циркулирует в его венах, питая их. А бесконтактная форма передачи энергии это технология, за которой будущее.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005. - 416 с.
2. Глебова Е.В. Производственная санитария и гигиена труда. - 2-е изд. - Москва: Высшая школа, 2007. - 382 с.
3. Кукин П.П., Лапин В.Л., Подгорных Е.А. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда). - Москва: Высшая школа, 2007. - 318 с.
4. Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В. Космическая электроника. - Москва: Техносфера, 2015. - 488 с.
5. Белоус А.И., Мерданов М.К., Шведов С.В. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия. - Москва: Техносфера, 2016. - 688 с.
6. Ванке В.А. Электроэнергия из космоса - солнечные космические электростанции. - Москва: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2007. - 3 с.
7. Бондаренко И.А., Чуваев П.Е., Акчурин д.р., Сариев Б.С., Сорочан Ю.А., Табалдиев Н.М., Сорокин Н.М. Анализ возможностей использования беспроводной передачи электроэнергии // Сборник трудов конференции. - Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2019. - С. 139-142.
8. Ванке В.А. Свч-электроника - перспективы в космической энергетике // электроника: наука, технология, бизнес. - 2007. - №79. - с. 98-102.
9. Демина Л.А. Космонавтика XXI века // Электроника: наука, технология, бизнес. - 2011. - №4. - с. 60-64.

10. Сигов А.С., Матюхин В.Ф. Пути развития солнечных стратосферных аэрокосмических энергетических комплексов с дистанционной передачей энергии // Сборник трудов конференции. - Москва: МГТУ МИРЭА, 2014. - с. 50-60.

11. Крохта А.И. Аналитический обзор и исследование беспроводных зарядных устройств // современные проблемы телекоммуникаций. - Новосибирск: СИБГУТИ, 2019. - с. 62-65.

12. Шувалова Е.А, Тюрина А.А. Современные тенденции разработки отделочных строительных материалов для защиты от электромагнитного излучения радиочастотного диапазона // национальная ассоциация ученых. - 2017. - №33. - с. 47-49.

13. Лофицкий И.В., Юркин Д.И. Системы беспроводной зарядки аккумуляторных батарей для мобильных устройств // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. - Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет), 2015. - с. 140-143.

14. Зайцева Т.С. Беспроводная передача энергии // Современные научные исследования. - Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО, 2019. - с. 85-90.

15. Никитина В.Н., Ляшко Г.Г. Современное состояние нормативного и методического обеспечения электромагнитной безопасности на объектах морского транспорта // Морская медицина. - 2015. - №33. - с. 45-50.

16. Маглев - Поезда на магнитной подушке: как они работают? [Электронный ресурс]. - 2006. - URL: <https://yandex.ru/turbo/xn--d1abacdejqudwjba3a.xn--p1ai/s/interestnye-materialy/maglev>

17. Беспроводная передача электроэнергии - URL: <https://amperof.ru/teoriya/besprovodnaya-peredacha-elektroenergii.html#i> //
18. Резонансный метод беспроводной передачи электрической энергии Николы Тесла // Электрик [Электрон. ресурс] - URL: <http://elektrik.info/main/fakty/905-rezonansnyy-metod-besprovodnoy-peredachi-nikoly-tesla.html>
19. Лампа бегущей волны: как это работает // Ростех [Электрон. ресурс] - URL: <https://rostec.ru/news/lampa-begushchey-volny-kak-eto-rabotaet/>
20. Клистрон принцип работы // [Электрон. ресурс] - URL: <https://rostec.ru/news/lampa-begushchey-volny-kak-eto-rabotaet/>
21. Как работает магнетрон, как он выглядит, его предназначение // principraboty.ru [Электрон. ресурс] - URL: <https://principraboty.ru/chto-takoe-magnetron-princip-ego-raboty/>
22. Сверхвысоких частот диапазон // Энциклопедия кругосвет [Электрон. ресурс] - URL: https://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/transport_i_svyaz/SVERHVISOKIH_CHASTOT_DIAPAZON.html
23. Электронные приборы свч Общие сведения // Studfiles [Электрон. ресурс] - URL: <https://studfile.net/preview/1672779/page:24/>
24. Передача электроэнергии без проводов- от начала до наших дней // Хабр [Электрон. ресурс] - URL: <https://habr.com/ru/post/373183/>