**УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДА ПЕНЗЫ**

**муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение средняя общеобразовательная школа № 11 г. Пензы с углубленным изучением предметов гуманитарно-правового профиля**

**(МБОУ СОШ № 11 г. Пензы)**

**II открытый региональный конкурс исследовательских и проектных работ школьников «Высший пилотаж – Пенза» 2020**

**Возможности индукционной печи**

**Выполнил:**

**Братчиков Александр,**

ученик 9 «А» класса

**Научный руководитель:**

**Абросимова**

**Марина Алексеевна,**

учитель физики

Пенза 2020

Оглавление.

Введение…………………………………………………………..……………………………………3

Глава 1. Индукционная печь. Устройство и виды.

* 1. История открытия………………………………………………………………...…………..3
  2. Принцип работы……………………………………….………………………..……………4
  3. Виды индукционных печей…………………………….……………………….…………...5

Глава 2. Действующая индукционная печь по технологии ZVS.

2.1. Описание моей индукционной печи………………….….…………………………..………5

2.2. Расчет КПД………………………………………….………...………………………….……7

2.3. Расчет себестоимости…………………..……………………………………………………..8

2.4. Применение индукционных печей…………………………………………………………...8

Глава 3. Демонстрации опытов с индукционной печью.

3.1. Демонстрация нагрева ферромагнитного материала в поле индукционной печи ………………….………………………………………………...….………………………………8

3.2. Демонстрация бездействия индукционной печи при взаимодействии с диамагнетиком ………………………………………………………………...……………………………………..9

3.3. Демонстрация бездействия индукционной печи при взаимодействии с диамагнетиком …………………………………………...…………………………………………………………..9

Заключение……………………………..…………………………….…….……….……………….....9

Литература и используемые источники……….………………..……………………….……….....10

**Введение.**

Физика – наука, изучающая общие свойства и закономерности явлений природы, законы движения матери, её строение и свойства.

Идея нагревать металл вихревыми токами Фуко, возбуждаемыми электромагнитным полем катушки, отнюдь не нова. Она давно и успешно эксплуатируется в промышленных плавильных печах, кузнечных мастерских, а также реализована в бытовых нагревательных приборах – плитах и электрокотлах. Последние довольно дороги, поэтому я решил сделать индукционный нагреватель своими руками.

Актуальность: Практически во всех отраслях промышленности находят широкое применение индукционные печи для преобразования электромагнитной энергии в тепловую.

Цель: Продемонстрировать посредством индукционной печи преобразование электромагнитной энергии в тепловую.

Задачи:

1. Собрать действующую индукционную печь.

2. Преобразовать электромагнитную энергию в тепловую.

3. Провести эксперименты с индукционной печью.

4. Изучить практическое применение индукционной печи.

Гипотеза: возможность преобразования электромагнитной энергии в тепловую бесконтактным путем.

Предмет исследования: индукционная печь и поля, которые она образует.

Методы исследования:

1. Эмпирические.

2. Теоретические.

Этапы исследования:

Теоретическая часть: изучение литературы и всевозможных схем и видов индукционных печей.

Практическая часть: конструирование индукционной печи и проведение экспериментов с ней.

**Глава 1. Индукционная печь. Устройство и виды.**

**1.1. История открытия.**

Первую успешно работающую индукционную печь изобрел в 1900 году на фирме «Benedicks Bultfabrik» в городе Gysing шведский изобретатель Ф. A. Кьелин. Первая печь мощностью 78 кВт была запущена в эксплуатацию 18 марта 1900 года и оказалась весьма неэкономичной, поскольку производительность плавки составляла всего 270 кг стали в сутки. Следующая печь была изготовлена в ноябре того же года мощностью 58 кВт и ёмкостью 100 кг по стали. Печь показала высокую экономичность, производительность плавки составила от 600 до 700 кг стали в сутки. Однако износ футеровки от тепловых колебаний оказался на недопустимом уровне, частые замены футеровки снижали итоговую экономичность. Изобретатель пришёл к выводу, что для максимальной производительности плавки необходимо при сливе оставлять значительную часть расплава, что позволяет избежать многих проблем, в том числе износа футеровки. Такой способ выплавки стали с остатком, который стали называть «болото», сохранился до сих пор в некоторых производствах, где применяются печи большой ёмкости.

Рис. 1 Ф. A. Кьелин.



* 1. **Принцип работы.**

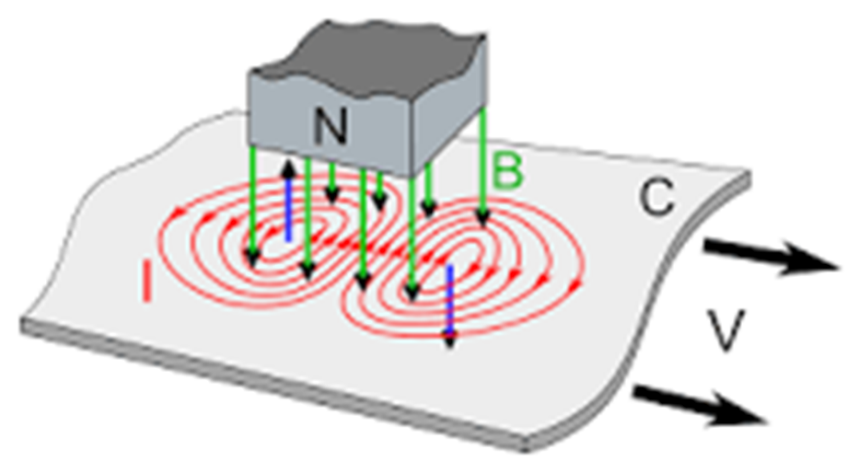
Индукционный нагрев — это нагревание материалов электрическими токами, которые индуцируются переменным магнитным полем. Следовательно — это нагрев изделий из проводящих материалов (проводников) магнитным полем индукторов (источников переменного магнитного поля). Индукционный нагрев проводится следующим образом. Электропроводящая (металлическая, графитовая) заготовка помещается в так называемый индуктор, представляющий собой один или несколько витков провода (чаще всего медного). В индукторе с помощью специального генератора наводятся мощные токи различной частоты (от десятка Гц до нескольких МГц), в результате чего вокруг индуктора возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле наводит в заготовке вихревые токи (токи Фуко). Вихревые токи разогревают заготовку под действием джоулевого тепла. Вихревые токи, или токи Фуко́ (в честь Ж. Б. Л. Фуко) — вихревой индукционный объёмный электрический ток, возникающий в электрических проводниках при изменении во времени потока действующего на них магнитного поля.

Рис. 2 Индукционная печь в разрезе.



Впервые вихревые токи были обнаружены французским учёным Д. Ф. Араго (1786—1853) в 1824 г. в медном диске, расположенном на оси под вращающейся магнитной стрелкой. За счёт вихревых токов диск приходил во вращение. Это явление, названное явлением Араго, было объяснено несколько лет спустя M. Фарадеем с позиций открытого им закона электромагнитной индукции: вращаемое магнитное поле наводит в медном диске вихревые токи, которые взаимодействуют с магнитной стрелкой. Вихревые токи были подробно исследованы французским физиком Фуко (1819—1868) и названы его именем. Фуко также открыл явление нагревания металлических тел, вращаемых в магнитном поле, вихревыми токами.

Рис. 3 Токи Фуко.

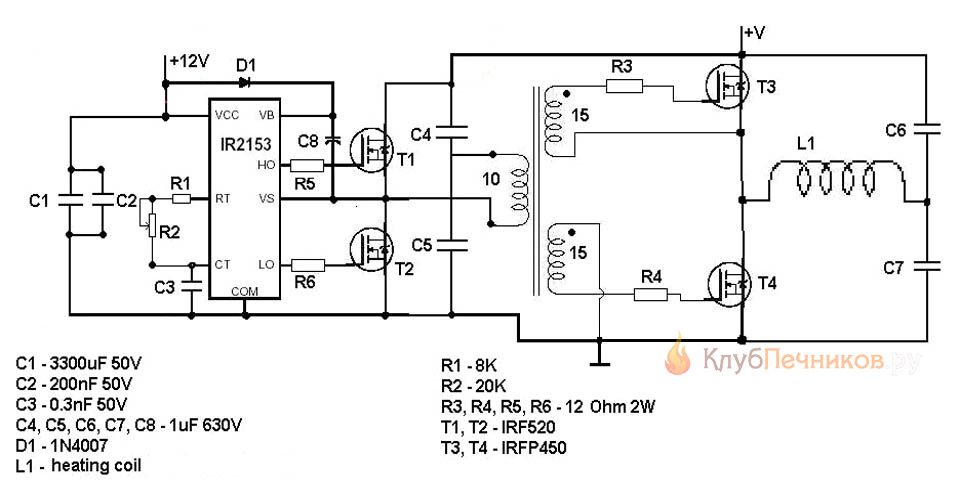


Токи Фуко возникают под действием изменяющегося во времени (переменного) магнитного поля и по физической природе ничем не отличаются от индукционных токов, возникающих в проводах и вторичных обмотках электрических трансформаторов.

* 1. **Виды индукционных печей.**

**Индукционная печь на генераторе-мультивибраторе.** Эта схема уже претендует на звание универсальной, мощностью до 1 кВт. Это – двухтактный генератор с независимым возбуждением и мостовым включением индуктора. Позволяет работать на 2-3 моде или в режиме поверхностного нагрева; частота регулируется переменным резистором R2, а диапазоны частот переключаются конденсаторами С1 и С2, от 10 кГц до 10 МГц. Для первого диапазона (10-30 кГц) емкость конденсаторов С4-С7 должна быть увеличена до 6,8 мкФ.

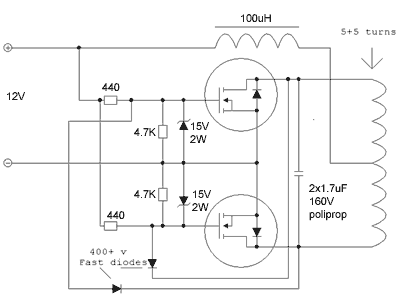
Рис. 4 Печь на генераторе мультивибраторе.



**ZVS (Zero-Voltage Switcher)**

**-** Схема на рис. 5 – мультивибратор с индуктивной нагрузкой на массивных полевых транзисторах. Благодаря применению емкости в цепи колебательного контура дает достаточно регулируемый диапазон, но внемодовый, потому подходит для разогрева деталей до 1 кг для закалки/отпуска. Главный недочет схемы – накладность компонентов, массивных полевых транзисторов и быстродействующих (граничная частота более 200 кГц) высоковольтных диодов в их базисных цепях. Биполярные массивные транзисторы в этой схеме не работают, перегреваются и сгорают.

Рис. 5 ZVS генератор.



**Глава 2.**  **Действующая индукционная печь по технологии ZVS.**

**2.1. Описание моей индукционной печи.**

Моя индукционная печь сделана по схеме ZVS драйвера без средней точки. Я добавил в эту схему кулер для охлаждения и светодиод для индикации работы печи, намотал дроссели на 50 мкГн на ферритовом кольце. Транзисторы использовал мощнее IRFP260.

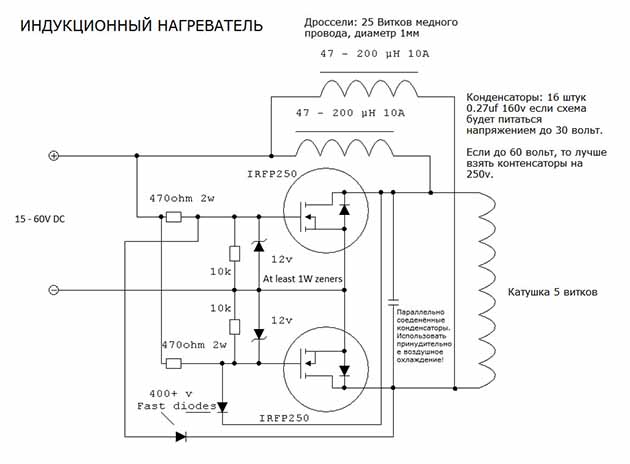


Рис. 6 Схема моей индукционной печи.

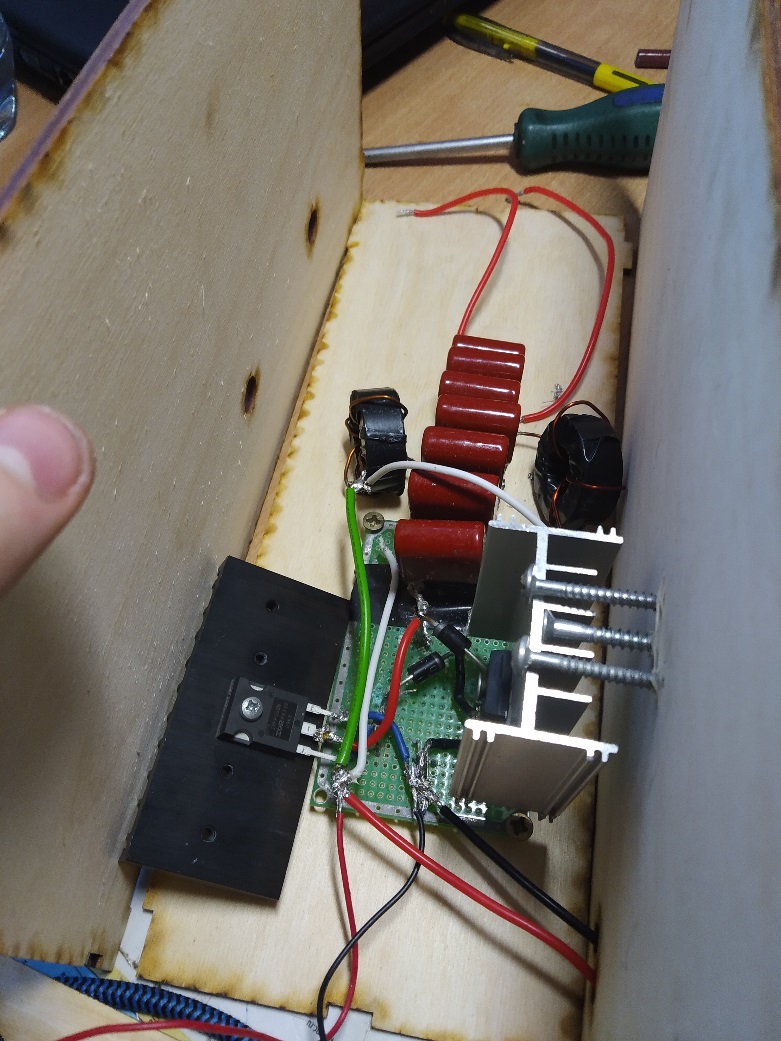


Рис. 7 Моя индукционная печь изнутри.

**2.2. Расчет КПД.**

Чтобы рассчитать КПД моей индукционной печи я нагревал стальную скрепку 10 секунд, измеряя потребление тока, напряжение и изменение температуры скрепки. Ток при нагреве скрепки равен I = 4А, напряжение U = 18В.

P = UI = 4 А **∙** 18 В = 72 Вт - потребляемая мощность.

V = = 3.14 • 0.001м • 0.001м • 0.035м = 0.000000109 м3 - объем скрепки.



m = ρ V = 7800 кг/м3 • 0.000000109 м3 = 0.000857 кг - масса стальной скрепки.

Qc = c m ∆t = 500 • 0.000857 • 720 = 308.5 Дж - количество теплоты, переданное скрепке.



Количество теплоты, выдаваемое печью, за 10 сек равно: Qн = P τ = 72 • 10 = 720 Дж.



Итого КПД равно: .

Я собрал три индукционные печи, рассчитал их параметры, произвел расчет КПД.



Рис. 9 Печь №3

Рис. 8 Печь №2

Рис. 7 Печь №1



Рис. 7 Печь №1

И записал полученные данные в таблицу.

Таблица 1. Характеристики индукционных печей.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № Печи | I, А | U, В | P, Вт | Q, Дж | ∆t, °С | η, % |
| 1 | 4 | 18 | 72 | 720 | 720 | 42 |
| 2 | 3 | 19 | 59 | 590 | 400 | 29 |
| 3 | 4.5 | 19 | 85 | 850 | 900 | 45 |

Из таблицы видно, что значения КПД у трех индукционных печей разные. Чем больше потребляемый ток, тем выше КПД.

**На что идут потери:**

* нагрев транзисторов;
* нагрев проводов;
* создание магнитного поля катушки.

**2.3. Расчет себестоимости.**

Таблица 2. Расчет себестоимости.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Компонент | Кол-во | Цена (руб.) |
| Транзистор IRFP260 | 2 | 300 |
| Конденсатор 1000В 0.10мкФ | 7 | 560 |
| Макетная плата | 1 | 90 |
| Диоды ультрабыстрые UF4007 | 2 | 8 |
| Стабилитроны 12В | 2 | 2 |
| Резисторы 470 Ом 2 Вт | 2 | 4 |
| Сердечники ферритовые | 2 | 180 |
| Вентилятор 12В | 1 | 90 |
| Светодиод 12В | 1 | 1 |
| Трубка медная | 1 | 100 |
| Резисторы 10 кОм 0.25 Вт | 2 | 2 |
| Итого: | | 1337 |

**2.4. Применение индукционных печей.**

* Сверхчистая бесконтактная плавка, пайка и [сварка](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B0) металла.
* Получение опытных образцов сплавов.
* Гибка и термообработка деталей машин.
* Ювелирное дело.
* Обработка мелких деталей, которые могут повредиться при газопламенном или дуговом нагреве.
* Поверхностная закалка.
* Закалка и термообработка деталей сложной формы.
* Обеззараживание медицинского инструмента.
* Распыление [геттера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D1%82%D1%82%D0%B5%D1%80_(%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C)) и прогрев (*активация и тренировка*) [катода](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B4) в процессе производства [вакуумных электронных приборов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%8B).

**Глава 3. Демонстрации опытов с индукционной печью.**

**3.1. Демонстрация нагрева ферромагнитного материала в поле индукционной печи**



**Оборудование:** Индукционная печь, стальная скрепка или металлическая линейка, стакан с водой.

При внесении скрепки в поле индукционной печи скрепка нагревается. Чтобы доказать, что скрепка нагрелась, достаточно опустить её в стакан с водой. Вода вокруг скрепки вскипает и шипит.



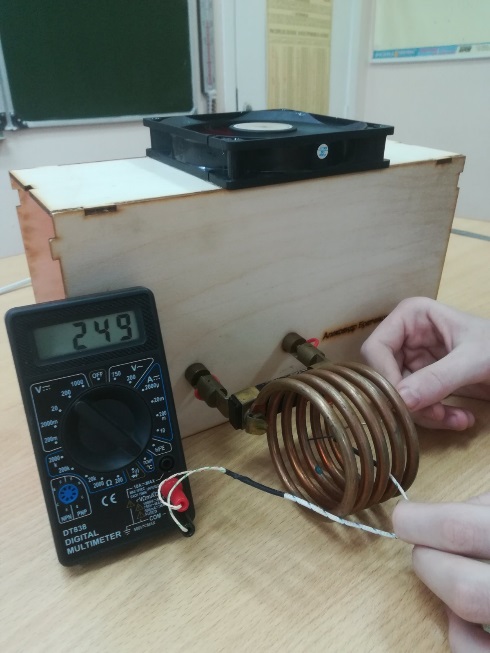
**3.2. Демонстрация бездействия индукционной печи при взаимодействии с диамагнетиком**

**Оборудование:** индукционная печь, резиновая стёрка.

При внесении ластика в поле индукционной печи ластик остается холодным. Это объясняется тем, что ластик не проводит электрический ток и в нём не наводятся индукционные токи Фуко.

**3.3. Демонстрация измерения температуры ферромагнитного тела при нагревании индукционной печью.**

**Оборудование:** индукционная печь, скрепка, мультиметр с термопарой.



При измерении температуры температура скрепки увеличивается.

**Заключение.**

Я собрал три действующих индукционных печи. Провел эксперименты с индукционной печью и убедился опытным путем, что бесконтактное преобразование энергии возможно. Я разработал демонстрации опытов с индукционной печью. Также я рассчитал КПД моих печей и сравнил данные в таблице. Эту установку можно использовать в химической промышленности. Такая печь намного дешевле и экологичнее своих аналогов работающих на угле, газе и нефти. В результате проведенных экспериментов гипотеза подтвердилась.

**Литература и используемые источники:**

1. Л. Э. Гендельштейн, А.Б. Кайдалов: Физика 8 класс; учебник для общеобразовательных учреждений; Мнемозина 2014.
2. . Р. А. Сворень. Электроника. Шаг за шагом.
3. Монк С.,Шерц П. Электроника. Теория и практика.
4. http://flyback.org.ru/
5. <https://otivent.com/indukcionnyj-nagrevatel-svoimi-rukami>
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Индукционный_нагрев>
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Вихревые_токи>