

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)

Научно-практическая конференция школьников города Пензы

«Старт в науку»

Возможности индукционной печи

Выполнил:

Братчиков Александр,
ученик 9 «А» класса

Научный руководитель:

Абросимова
Марина Алексеевна,
учитель физики

Пенза 2019

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Индукционная печь. Устройство и виды	
1.1. История открытия.....	4
1.2. Принцип работы.....	5
1.3. Виды игдукционных печей.....	6
Глава 2. Действующая индукционная печь по технологии ZVS	
2.1. Описание моей индукционной печи.....	7
2.2. Основные элементы индукционной печи.....	8
2.3. Расчет КПД.....	9
2.4. Расчет себестоимости.....	10
Глава 3. Демонстрации опытов с индукционной печью	
3.1. Демонстрация нагрева ферромагнитного материала в поле индукционной печи	11
3.2. Демонстрация бездействия индукционной печи при взаимодействии с диамагнетиком	12
3.3. Демонстрация 3.....	12
3.4. Заключение.....	12
4.1. Литература и используемые источники.....	14

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 электрочайниках. 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. А. Къелин. 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



Рис. 1 Ф. А. Къелин.

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.

1.1 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).



Рис. 2 Индукционная печь в разрезе

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 джоулева 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.

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

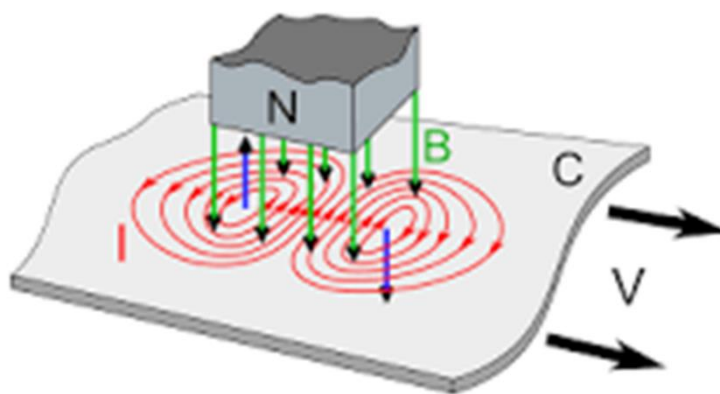
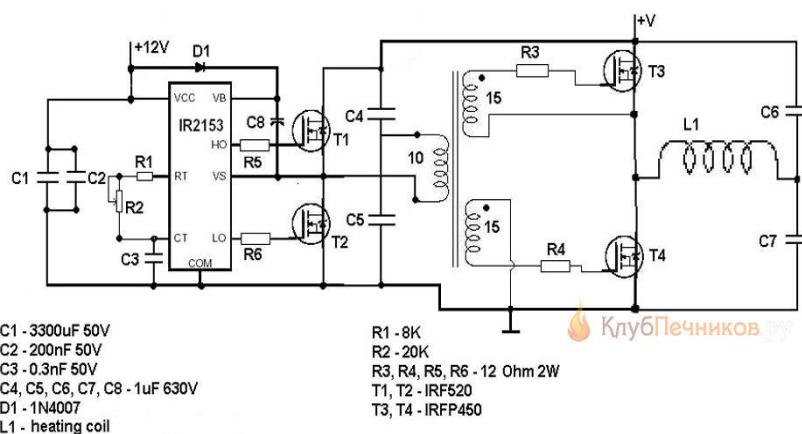


Рис. 3 Токи Фуко счёт вихревых токов диск приходил во вращение. Это явление, названное явлением Араго, было объяснено несколько лет спустя М. Фарадеем с позиций открытого им закона электромагнитной индукции: вращаемое магнитное поле наводит в медном диске вихревые токи, которые взаимодействуют с магнитной 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.

Токи Фуко возникают под действием изменяющегося во времени (переменного) магнитного поля и по физической природе ничем



- C1 - 3300uF 50V
- C2 - 200nF 50V
- C3 - 0.3nF 50V
- C4, C5, C6, C7, C8 - 1uF 630V
- D1 - 1N4007
- L1 - heating coil
- R1 - 8K
- R2 - 20K
- R3, R4, R5, R6 - 12 Ohm 2W
- T1, T2 - IRF520
- T3, T4 - IRFP450

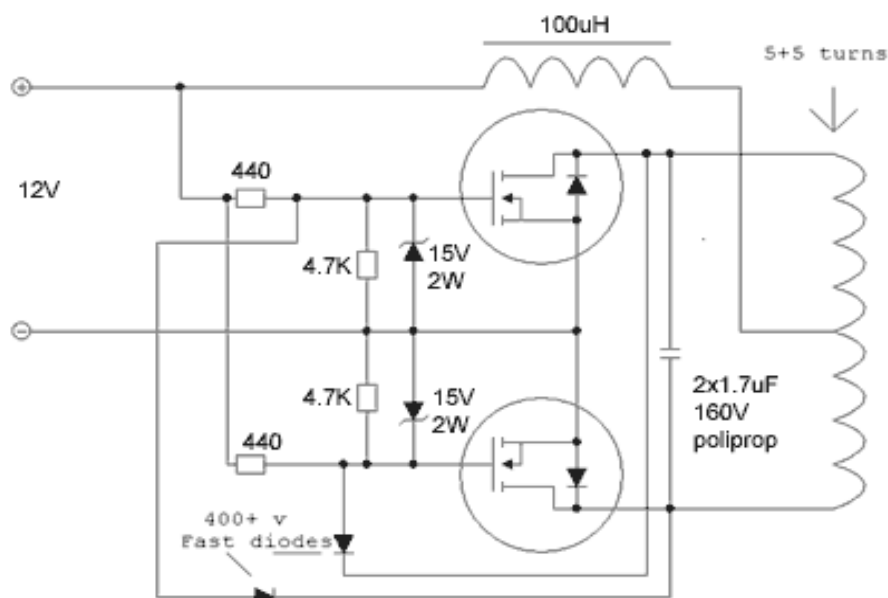
Рис. 4 Печь на генераторе мультивибраторе

не отличаются от индукционных токов, возникающих в проводах и вторичных обмотках электрических трансформаторов.

1.2 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 C1 и C2, от 10 кГц до 10 МГц. Для первого диапазона (10-30 кГц) емкость конденсаторов C4-C7 должна быть увеличена до 6,8 мкФ.

ZVS (Zero-Voltage Switcher)



Схема

Рис. 5 ZVS генератор

на рис.5 –

мультивибратор с индуктивной нагрузкой на массивных полевых транзисторах. Благодаря применению емкости в цепи колебательного контура дает достаточно регулилируемый 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, перенагреваются и сгорают.

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. Я намотал дроссели на 50 мкГн на

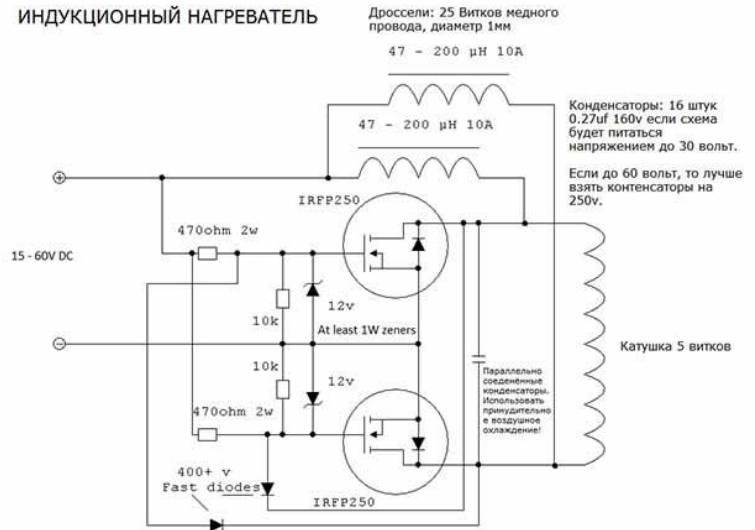


Рис. 6 Схема моей индукционной печи

ферритовом кольце. Транзисторы я использовал мощнее IRFP260.

2.2 Основные элементы индукционной печи

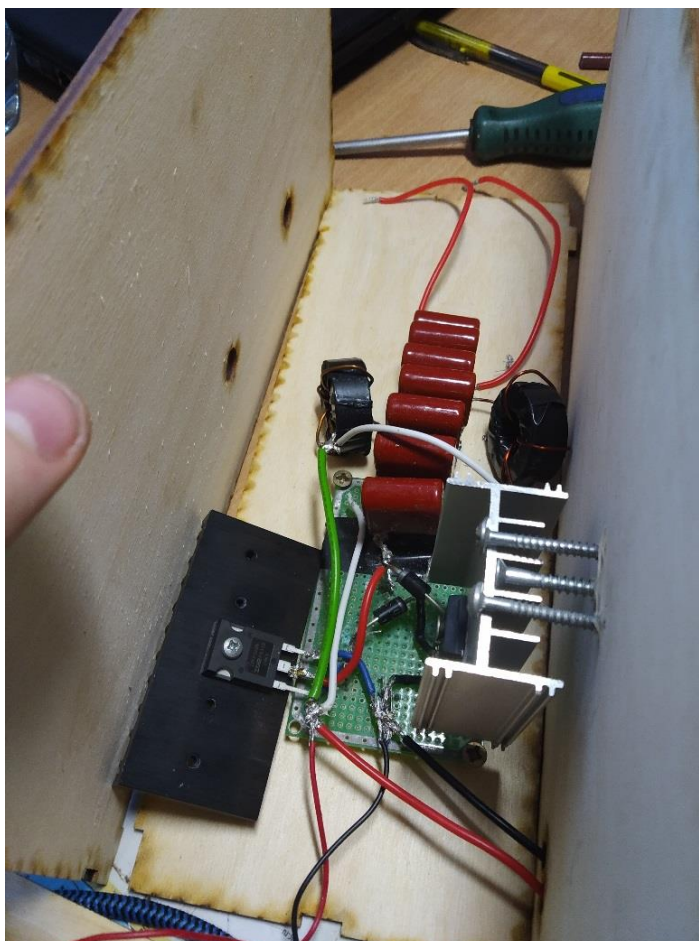


Рис. 7 Моя индукционная печь изнутри

2.3 Расчет КПД

Чтобы рассчитать КПД моей индукционной печи я измерил потребление тока и напряжение работы моей установки. Ток при нагреве скрепки равен $I = 4\text{A}$, напряжение $U = 18\text{V}$.

$P = UI = 4 * 18 = 72\text{Вт}$ - потребляемая мощность

$V = \pi R^2 l = 3.14 * 0.001 * 0.001 * 0.035 = 0.000000109 \text{ м}^3$ - объем скрепки

$m = V\rho = 0.000000109 * 7800 = 0.000857 \text{ кг}$ - масса *стальной* скрепки

$Q_c = cm\Delta t = 500 * 0.000857 * 720 = 308.5 \text{ Дж}$ - кол-во теплоты

Кол-во теплоты, выдаваемое печью за 10 сек равно $Q_n = P\tau = 72 * 10 = 720 \text{ Вт}$.

Итого КПД равно $\eta = 100\% * \frac{Q_c}{Q_n} = 42\%$.

Я собрал 3 индукционных печи, рассчитал их параметры, произвел расчет КПД.

Рис. 7 Печь №1



Рис. 8 Печь №2



Рис. 9 Печь №3



И записал полученные данные в таблицу.

Таблица 1 Характеристики 3 индукционных печей

№ Печи	I, A	U, B	P, Вт	Q, Дж	t, °C	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.

Применение

- Сверхчистая бесконтактная плавка, пайка и сварка 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 и прогрев (*активация и тренировка*) катода в процессе производства вакуумных электронных приборов.

2.4 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

Глава 3. Демонстрации опытов с индукционной печью

3.1. Демонстрация нагрева ферромагнитного материала в поле индукционной печи

Оборудование: Индукционная печь, стальная скрепка.



При внесении скрепки в поле индукционной печи скрепка нагревается

3.2. Демонстрация бездействия индукционной печи при взаимодействии с диамагнетиком

Оборудование: индукционная печь, резиновая стерка.

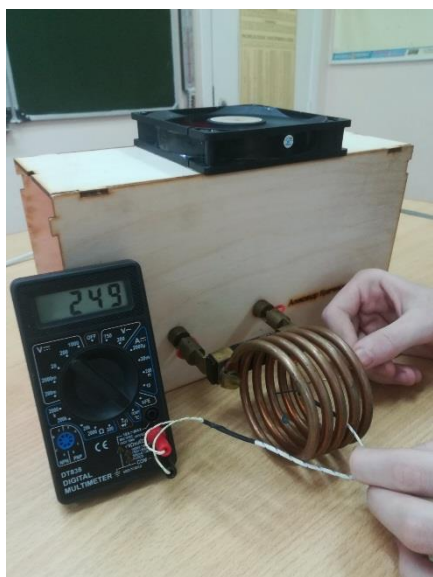
При внесении ластика в поле индукционной печи ластик остается холодным.



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

Оборудование: индукционная печь, скрепка, мультиметр с термопарой.

При измерении температуры температура скрепки увеличивается.



Закключение

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 2012
2. Электроника шаг за шагом Р. А. Сворень
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