

XXXII Областная конференция учащихся муниципальных образовательных учреждений города Калуги, посвященной памяти А.Л. Чижевского

Творческий проект
Физика

«Индукционный нагрев»

Выполнил:
Шешуков Станислав Павлович
Учащийся 11 класса

МБОУ СОШ №46 Калужская область г. Калуга

Руководитель:
Иванова Татьяна Анатольевна
Учитель физики
МБОУ СОШ №46 Калужская область г. Калуга

Калуга, 2021

ПАСПОРТ ПРОЕКТА	
1. Тема	Бесконтактная передача тепла. Индукционный нагрев.
2. Исполнитель проекта	Шешуков Станислав, ученик 11 «А» класса
3. Куратор проекта	Иванова Т. А.
4. Актуальность	В наше время на МКС часто проводят эксперименты с бесконтактным нагревом и плавкой металла, но на космической станции нельзя использовать открытое пламя.
5. Проблема (-ы)	В наше время мало устройств для передачи тепла без использования открытого пламени.
6. Гипотеза / образ (ожидаемый результат) / цели	Нагрев электропроводящих материалов возможен без использования горючих материалов для передачи тепла.
7. Задачи/шаги	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение информации по теме: «Индукционный нагрев» 2. Спроектировать устройство для индукционного нагрева металлов в космосе 3. Изготовить устройство 4. Протестировать работу устройство.
8. Предмет проектной деятельности	Двухтактный индукционный нагреватель металлов.
9. Ресурсы	<p>Технические: компьютер, паяльная станция, олово, паяльный жир, канифоль, необходимые радиодетали.</p> <p>Информационные: интернет ресурсы для проектирования схемы, обучения работы с паяльником</p>
10. Индикаторы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проектирование схемы 2. Изготовление устройства 3. Проверка устройства
11. Рефлексия Достижения/не достижения результатов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проектирование схемы 2. Изготовление устройства 3. Проверка устройства

ВВЕДЕНИЕ

В наше время на МКС часто проводят эксперименты с бесконтактным нагревом и плавкой металла, но на космической станции нельзя использовать открытое пламя. Мы не можем проводить эксперименты по плавке металлов, так как большинство нагревателей использует горючие материалы, поэтому я решил создать устройство, которое сможет совершать нагрев электропроводящих материалов в космосе без использования горючих материалов.

Цель работы: изготовить модель двухтактного индукционного нагревателя

Задачи исследования:

1. Изучить информацию по заявленной теме.
2. Подобрать и использовать для исследования данные в сети Интернет.
3. Собрать устройство для бесконтактного нагрева электропроводящих материалов токами высокой частоты и большой величины.
4. Провести эксперименты.

Гипотеза: нагрев электропроводящих материалов возможен без использования горючих материалов для передачи тепла.

Объект исследования: процесс бесконтактного нагрева электропроводящих материалов.

Предмет исследования: индукционный нагрев в космосе.

ЧАСТЬ 1

ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

Метод бесконтактного нагрева электропроводящих материалов токами высокой частоты и большой величины.

Открытие электромагнитной индукции в 1831 году принадлежит Майклу Фарадею. При движении проводника в поле магнита в нём наводится ЭДС, так же как при движении магнита, силовые линии которого пересекают проводящий контур. Ток в контуре называется индукционным. На законе электромагнитной индукции основаны изобретения множества устройств, в том числе определяющих — генераторов и трансформаторов, вырабатывающих и распределяющих электрическую энергию, что является фундаментальной основой всей электротехнической промышленности.

В 1841 году Джеймс Джоуль сформулировал оценку теплового действия тока: «Работа сил электрического поля по перемещению заряда на однородном участке цепи целиком выделяется в виде» (закон Джоуля-Ленца). Тепловое действие индуцированного тока породило поиски устройств бесконтактного нагрева металлов. Первые опыты по нагреву стали с использованием индукционного тока были сделаны Е. Колби в США.

Первая успешно работающая тигельная печь для плавки металлов была построена в 1900 году в Швеции. Печь питалась от однофазного трансформатора. Плавка осуществлялось в тигле в виде кольца, металл, находящийся в нём, представлял обмотку трансформатора, питающегося током 50-60 Гц.

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. Проводящая (металлическая, графитовая) заготовка помещается в индуктор, представляющий собой один или несколько витков провода (чаще всего медного). В индукторе с помощью специального генератора наводятся мощные токи различной частоты, до нескольких МГц, в результате чего вокруг индуктора возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле наводит в заготовке вихревые токи. Вихревые токи разогревают заготовку под действием Джоулева тепла.

Система «индуктор» представляет собой трансформатор, в котором индуктор является первичной обмоткой. Заготовка является обмоткой, замкнутой накоротко. Магнитный поток между обмотками замыкается в воздухе.

На высокой частоте вихревые токи вытесняются образованным ими же магнитным полем в тонкие поверхностные слои заготовки Δ (скин-эффект), в результате чего их плотность резко возрастает, и заготовка разогревается. Нижерасположенные слои металла прогреваются за счёт теплопроводности. Важен не ток, а большая плотность тока. В скин-слое Δ плотность тока увеличивается в e раз относительно плотности тока в заготовке, при этом в скин-слое выделяется 86,4 % тепла от общего тепловыделения. Глубина скин-слоя зависит от частоты излучения: чем выше частота, тем тоньше скин-слой. Также она зависит от относительной магнитной проницаемости μ материала заготовки.

Для железа, кобальта, никеля и магнитных сплавов при температуре ниже точки Кюри μ имеет величину от нескольких сотен до десятков тысяч. Для остальных материалов (расплавы, цветные металлы, жидкие легкоплавкие эвтектики, графит, электропроводящая керамика и т. д.) μ примерно равна единице.

Индуктор сильно нагревается во время работы, так как сам поглощает собственное излучение. К тому же он поглощает тепловое излучение от

раскалённой заготовки. Делают индукторы из медных трубок, охлаждаемых водой. Вода подаётся отсасыванием — этим обеспечивается безопасность в случае прожога или иной разгерметизации индуктора.

Список источников и использованной литературы

1. Бабат Г. И., Свенчанский А. Д. Электрические промышленные печи. — М.: Госэнергоиздат, 1948. — 332 с.
2. Бурак Я. И. Огирко И. В. Оптимальный нагрев цилиндрической оболочки с зависящими от температуры характеристиками материала // Мат. методы и физ.-мех. поля. — 1977. — В. 5.с.50-54
3. Слухоцкий А. Е. Индукторы. — Л.: Машиностроение, 1989. — (Библиотечка высокочастотника-термиста; Вып. 12). с.12-18.
4. Фогель А. А. Индукционный метод удержания жидких металлов во взвешенном состоянии / Под ред. А. Н. Шамова. — 2-е изд., испр. — Л.: Машиностроение, 1989. — 79 с. — (Библиотечка высокочастотника-термиста; Вып. 11).

ПРИМЕНЕНИЕ

1. Сверхчистая бесконтактная плавка, пайка и сварка металла.
2. Получение опытных образцов сплавов.
3. Гибка и термообработка деталей машин.
4. Ювелирное дело.
5. Обработка мелких деталей, которые могут повредиться при газопламенном или дуговом нагреве.
6. Поверхностная закалка.
7. Закалка и термообработка деталей сложной формы.
8. Обеззараживание медицинского инструмента.
9. Высокоскоростной разогрев или плавление любого электропроводящего материала.
10. Возможен нагрев в атмосфере защитного газа, в окислительной (или восстановительной) среде, в жидкости, в вакууме.
11. Нагрев через стенки защитной камеры, изготовленной из стекла, цемента, пластмасс, дерева — эти материалы очень слабо поглощают электромагнитное излучение и остаются холодными при работе установки. Нагревается только проводящий материал — металл (в том числе расплавленный), углерод, проводящая керамика, жидкие металлы и т. п., например, внутренности радиолампы можно прогревать для обезгаживания прямо через стеклянную колбу. Электролиты (растворы солей) невозможно нагревать индукционным нагревом, так как ионы обладают большой массой и малой подвижностью.

За счёт возникающих МГД-усилий происходит сильное перемешивание жидкого металла, вплоть до удержания его в подвешенном состоянии в воздухе или защитном газе — так получают сверхчистые сплавы в небольших количествах (левитационная плавка, плавка в электромагнитном Тигиле).

Поскольку, разогрев ведётся посредством магнитного излучения, отсутствует загрязнение заготовки продуктами горения факела в случае

газопламенного нагрева или материалом электрода в случае дугового нагрева. Помещение образцов в атмосферу благородного газа и большая скорость нагрева позволят избавиться от окалинообразования.

Нет загрязнения воздуха, так как отсутствуют продукты горения. Небольшие установки индукционного нагрева можно использовать в замкнутом и в не проветриваемом помещении, не оборудованном средствами вентиляции и вытяжками (гаражи, небольшие домашние мастерские, подвалы).

Удобство эксплуатации за счёт небольшого размера индуктора.

Можно изготовить индуктор особой формы — это позволит одинаково прогревать всю поверхности детали сложной конфигурации, не приводя к их короблению или локальному не прогреву.

Легко провести локальный и избирательный нагрев.

Так как наиболее интенсивно разогрев идет в малых верхних слоях заготовки, а нижние слоигреваются более медленно за счёт теплопроводности, метод является идеальным для проведения поверхностной закалки деталей (сердцевина детали при этом остаётся вязкой).

Лёгкая автоматизация оборудования и конвейерных производственных линий. Простота управления циклами нагрева и охлаждения. Простая регулировка и удерживание температуры, стабилизация мощности, подача и съём заготовок.

Недостатки:

Большая сложность оборудования, необходим квалифицированный персонал для проектирования установок, их настройки и ремонта.

При плохом согласовании индуктора с заготовкой требуется большая мощность на нагрев, чем в случае применения для той же задачи ТЭНов, электрических дуг и электронагревательных спиралей.

Требуется мощный источник электроэнергии для питания установки индукционного нагрева, а также насос и бак с охлаждающей жидкостью для

охлаждения индуктора (чиллер), которые в полевых условиях могут отсутствовать. В этом случае применение, например, газовых горелок с портативными газовыми баллонами более оправдано.

Несмотря на маленькие размеры индуктора, устройство индукционного нагрева в целом достаточно громоздок и больше подходит для установки в помещении, чем для работ вне.

Список источников и использованной литературы

1. Применение токов высокой частоты в электротермии / Под ред. А. Е. Слухоцкого. — Л.: Машиностроение, 1968.с.46-60.
2. Лозинский М. Г. Промышленное применение индукционного нагрева. — М.: Изд-во АН СССР, 1948.с.25-32.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

На рисунке 2.1 изображена схема индукционного нагревателя.

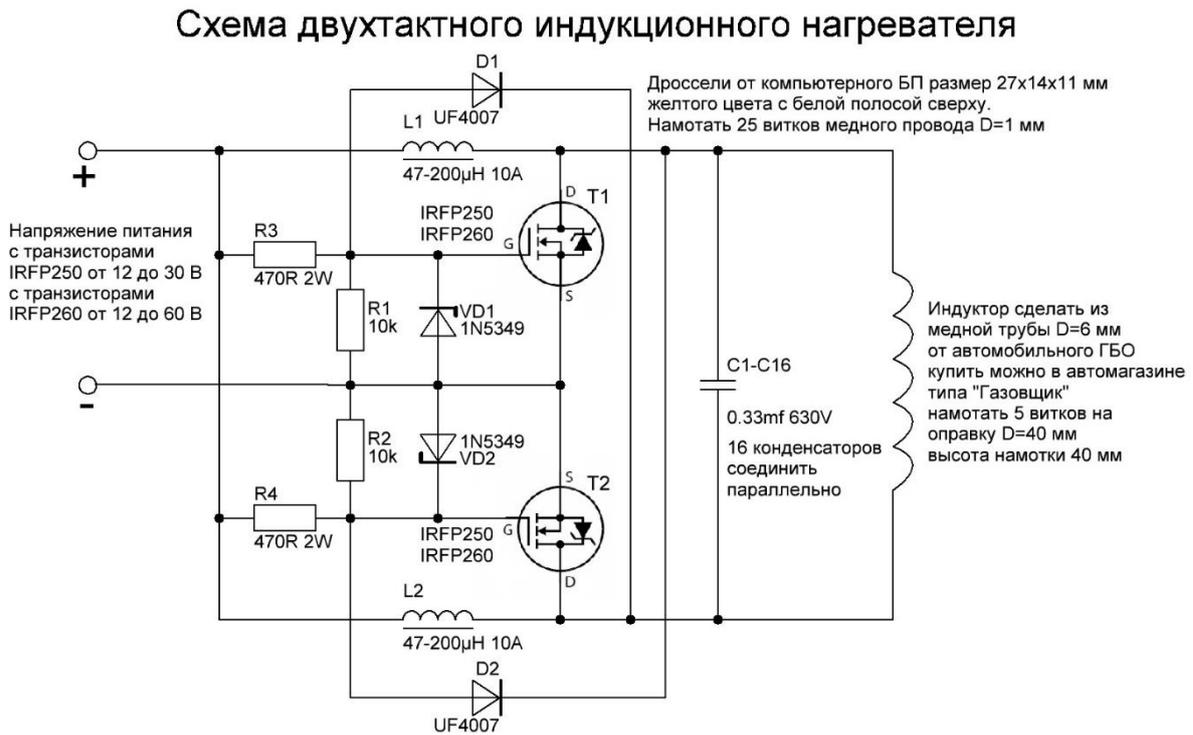


Рисунок 2.1

Характеристики транзистора IRFP260:

Наименование прибора: IRFP260

Тип транзистора: MOSFET

Полярность: N

Максимальная рассеиваемая мощность: 280 Вт

Предельно допустимое напряжение сток-исток: 200 В

Предельно допустимое напряжение затвор-исток: 10 В

Максимально допустимый постоянный ток стока: 46 А

Сопротивление сток-исток открытого транзистора: 0.055 Ом

Особенности:

- Потребление тока: менее $10\text{ В} \geq 5\text{ А}$, выше $12\text{ В} \geq 10\text{ А}$
- Минимум внешних элементов

Двухтактный индукционный нагреватель состоит из задающего генератора высокой частоты, собранного на двух мощных полевых транзисторах. Рабочее напряжение генератора зависит от мощности установленных полевых транзисторов. С транзисторами IRFP260 устройство можно питать напряжением от 12 до 60 вольт. Температура нагрева металла поднимается более 800 градусов, что даст возможность плавить металлы. В процессе работы транзисторы будут сильно нагреваться, поэтому их я установил на большие радиаторы. Индуктор потребляет в рабочем состоянии не менее 15А, соответственно требуется очень мощный аккумулятор минимум на 20А.

На рисунке 2,2 изображена печатная плата индукционного нагревателя по которой я буду делать свой проект.

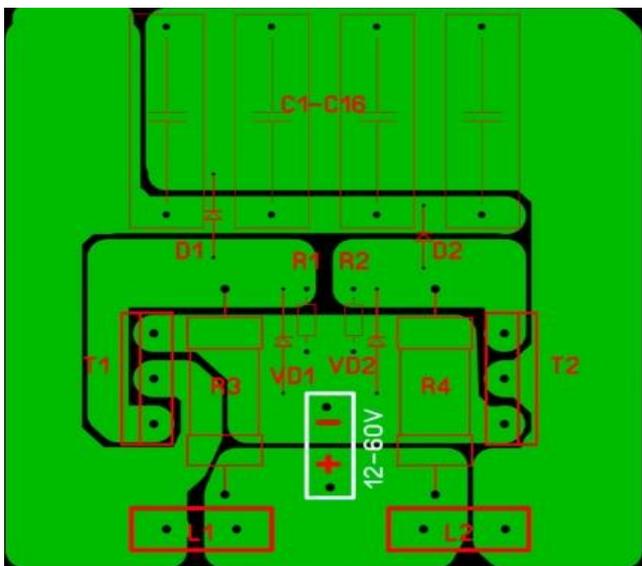


Рисунок 2.2

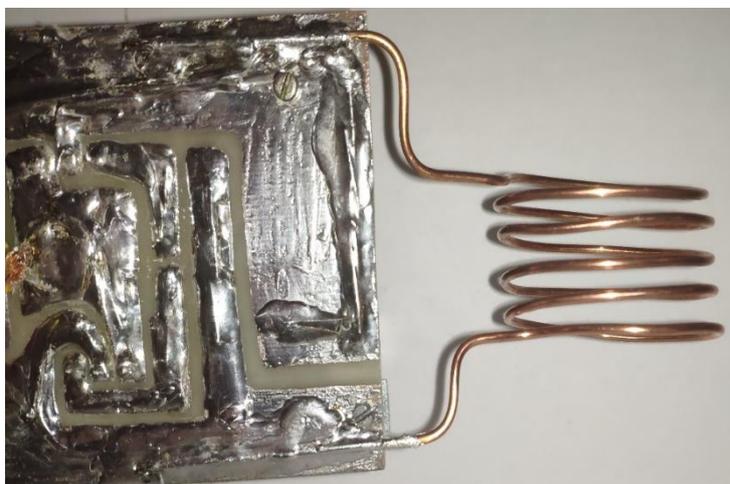
Так же мне понадобятся резисторы на 10 кОм, 0.25 Ватт. Резисторы с сопротивлением 470 Ом. Диоды ультрабыстрые UF4007 на наибольший ток до 1А. Стабилитроны мощностью 5 Вт с напряжением стабилизации 12В, например, 1N5349 или их аналоги. Дроссели размером 27x14x11 мм желтого цвета, с белой полосой которые я купил в магазине радиотехники. На каждый дросселей я намотал 25 витков медной проволоки в лаковой изоляции диаметром 1 мм. Индуктивность дросселей при проверке на измерителе RLC получилась 67мкГн. Фото дросселей приведено на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3

После того как я намотал дроссели я приступил к параллельному соединению 4 конденсаторов 0.56 мкФ. Для хорошего охлаждения между конденсаторами я оставил небольшое расстояние. Далее я приступил к изготовке индуктора, его я сделал из медной проволоки длиной 1 м и диаметром 2 мм. Я намотал трубку на ПВХ трубу внешним диаметром 40 мм, сделав 5 витков так чтобы между верхним краем первого витка и нижним краем пятого витка было 40 мм. Когда индуктор был готов, в магазине радиодеталей я купил одностороннюю печатную плату. С помощью паяльника я снял слой меди, тем самым сделав изоляцию между нужными мне частями платы и просверлил отверстия диаметром 1 мм так как показано на рисунке печатной платы

индукционного нагревателя, также я усилил проводящую сторону платы слоем олова, для того чтобы маленький слой меди, нанесенный на плату, не сгорел от сильных токов. Затем я припаял индуктор к плате. Фото приведено на рисунке 2.4.



Далее я приступил к пайке радиодеталей на плату (важно учесть, что

Рисунок 2.4

радиодетали не должны паяться на проводах наличие проводов в плате приведет к взрыву одного из транзисторов). Также после пайки на плате я закрепил два радиатора, на которые при использовании теплопроводящей пасты КПТ-8 прикрутил транзисторы. Фото приведены на рисунке 2.5.

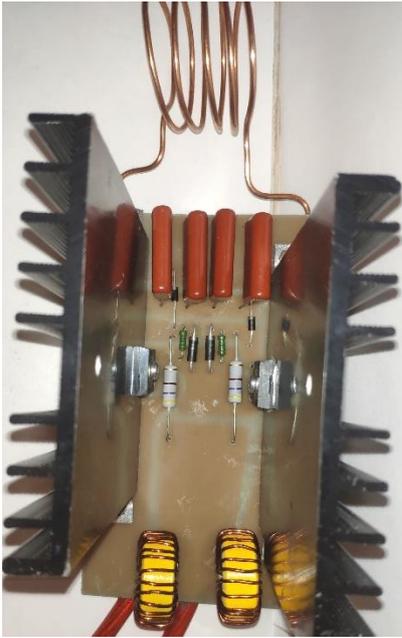


Рисунок 2.5

После подключения устройства к автомобильному аккумулятору 12В произошёл бесконтактный нагрев заготовки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённой работы я изготовил экспериментальный двухтактный нагреватель работы с электропроводящими материалами в космосе. Устройство оказалось рабочим, и смогло осуществить бесконтактный нагрев токопроводящих металлов. Из результатов проведённого мною анкетирования можно судить о том, что для людей, метод бесконтактного нагрева токопроводящих металлов очень интересен и они хотели бы досконально его изучить. Подводя итог моей работы, я могу сказать, что гипотеза моего проекта: нагрев электропроводящих материалов возможен без горючих материалов для передачи тепла, при этом оно будет обладать не очень большим КПД, и будет выполнять нужную задачу, подтвердилась. Можно с уверенностью сказать, что в ближайшее время именно индукционные нагреватели в процессе непосредственного развития станут одной из основополагающих отраслей в будущем изучения и освоения космоса.

Приложение.
Смета на расходы

Транзисторы IRFP260 2 шт. -529 руб.

Резисторы 10K 0.25W 2 шт. -160 руб.

Резисторы 470R 2W 2 шт. -245.

Диоды ультрабыстрые UF4007 2 шт. -325 руб.

Стабилитроны на 12V 1W 1N5349 2 шт.-98 руб.

Конденсаторы C1-C16 0.33mf 630V 4 шт. 146 руб.

Дроссели от компьютерного БП желтые с белой полосой, размер 27x14x11 мм 2 шт. 420 руб.

Провод медный в лаковой изоляции d=2 мм длина 1 метр- 120 руб.

Радиатор 1 шт.- 460 руб.

Итого: 2383 руб.

Цена в магазине: 35600 руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабат Г. И., Свенчанский А. Д. Электрические промышленные печи. — М.: Госэнергоиздат, 1948.
2. Бурак Я. И. Огирко И. В. Оптимальный нагрев цилиндрической оболочки с зависящими от температуры характеристиками материала // Мат. методы и физ.-мех. поля. — 1977. — В. 5.
3. Васильев А. С. Ламповые генераторы для высокочастотного нагрева. — Л.: Машиностроение, 1990. — 80 с. — (Библиотечка высокочастотника-термиста; Вып. 15).
4. Власов В. Ф. Курс радиотехники. — М.: Госэнергоиздат, 1962.
5. Изюмов Н. М., Линде Д. П. Основы радиотехники. — М.: Госэнергоиздат, 1959.
6. Лозинский М. Г. Промышленное применение индукционного нагрева. — М.: Изд-во АН СССР, 1948.
7. Применение токов высокой частоты в электротермии / Под ред. А. Е. Слухоцкого. — Л.: Машиностроение, 1968.
8. Слухоцкий А. Е. Индукторы. — Л.: Машиностроение, 1989. — (Библиотечка высокочастотника-термиста; Вып. 12).
9. Фогель А. А. Индукционный метод удержания жидких металлов во взвешенном состоянии / Под ред. А. Н. Шамова. — 2-е изд., испр. — Л.: Машиностроение, 1989. — 79 с. — (Библиотечка высокочастотника-термиста; Вып. 11).
10. Мякишев. Физика 10 класс. Учебник. Базовый и углублённый уровни.
11. <https://web.archive.org/web/20120410235016/http://www.icct.ru/Practicality/Papers/05-07-2010/Invertor-02.php>