

Шифр "Inductor"

Напряв: "Електротехніка та електромеханіка"

**Конструювання малогабаритної індукційної електричної печі для
плавлення металів**

Суми 2011

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЯВИЩЕ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ.	5
2. ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ.....	6
2.1. Аналіз складових частин схеми	7
2.2. Створення схеми з'єднань	7
3. ОПИС ПРИНЦИПУ ДІЇ КОЖНОГО З БЛОКІВ УСТАНОВКИ	8
4. ІНДУКТОР ТА ОСОБЛИВОСТІ ЙОГО РОБОТИ	13
5. КІНЦЕВИЙ МОНТАЖ УСТАНОВКИ	15
ВИСНОВОК	18
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	19

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ОС – Однорідний сплав
ІН – Індукційний нагрів
ГЧ – Генератор частоти
ІІІ – Індукційна піч
БЖ – Блок живлення

ВСТУП

У 1831 р. англійським вченим Майклом Фарадеєм був відкритий закон електромагнітної індукції, Ленц і Джоуль встановили, що проходження струму по провідникові супроводжується виділенням тепла; Леон Фуко детально дослідив окремий випадок цього явища, а саме, наведення струму в суцільних металевих середовищах. В середині XIX століття англієць Джеймс Максвелл отримав основоположні рівняння електромагнітного поля, що носять його ім'я, і побудував систему сучасної електродинаміки. У 80-х роках У.Томсон відкрив і дослідив поверхневий ефект, який полягає в тому, що змінний струм витісняється до поверхні провідника.

Промислове використання електричної енергії для плавки та нагріву металів і сплавів почалося лише через багато років, оскільки для цього необхідний був відповідний розвиток електротехніки, а також енергетичного господарства [1].

Дана робота присвячена створенню індуктивної малогабаритної електричної печі для отримання однорідних сплавів (ОС). Порівняно з аналогами створювана установка відрізнятиметься такими особливостями :

- низькою собівартістю (до 1000 грн), тоді ж як вартість аналогів становить від 15000 грн;
- можливістю регулювання температурного режиму;
- можливістю швидкісної плавки металів в невеликих об'ємах, що дозволяє використовувати установку не тільки в науковій галузі, але й , наприклад, в ювелірній, стоматологічній областях і т.д.
- рівномірністю та швидкістю нагріву;
- можливістю розміщення робочого органу печі у вакуумі;
- порівняно малими габаритами;
- низьким рівнем шуму, майже повною відсутністю диму, що дозволить підвищити продуктивність праці при роботі з установкою.
- можливістю роботи, як від однофазної, так і від трьохфазної мережі.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЯВИЩЕ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ

Під індукційним нагрівом розуміється нагрів при безконтактній передачі енергії в електропровідне тіло, що нагрівається за допомогою змінного електромагнітного поля, яке створюється індуктором.

Головною відмінністю індукційного нагріву від нагріву зовнішніми джерелами тепла (у печах та інших нагрівальних пристроях) є виділення тепла безпосередньо в самому металі. При індукційному нагріві (ІН) реалізується можливість значної концентрації електричної енергії в невеликому об'ємі металу, що нагрівається, - це дозволяє здійснювати нагрів з великою швидкістю [2].

Передача електричної енергії від індуктора до тіла, що нагрівається, заснована на законі електромагнітної індукції, а перетворення її в теплову – на законі Джоуля-Ленца. У металевому тілі, розташованому всередині індуктора (соленоїда), через який пропускається змінний струм, магнітне поле викликає появу ЕРС індукції, яка визначається за формулою :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (1)$$

де e і Φ – миттєві значення ЕРС і магнітного потоку відповідно.

При синусоїдальній зміні магнітного потоку з частотою f ефективне значення індукованої ЕРС буде дорівнювати :

$$E = 4,44 f\Phi_m, \quad (2)$$

де Φ_m - амплітудне значення магнітного потоку.

Індуковані та циркулюючі в поверхневих шарах тіла вихрові струми викликають його нагрів. Тому значення і характер розподілу потужності, що виділяється, в тілі, яке нагрівається, залежать від його електромагнітних властивостей (електричного опору і магнітної проникності), а наявність електропровідних властивостей матеріалу тіла є обов'язковою умовою ІН.

2. ВИБІР ТИПУ СХЕМИ

Найбільш часто, при побудові індукційних нагрівачів, використовуються три основних типи схем: напівміст, асиметричний міст (або ж «косий міст») та повний міст. Підвидом напівмоста і повного моста є резонансні перетворювачі. В залежності від системи управління вихідними параметрами перетворювачі бувають з ШІМ (широко – імпульсним регулюванням), з ЧІМ (частотно - імпульсним регулюванням), з фазовим регулюванням, також можуть зустрічатися комбінації з цих трьох видів. Всі приведені перетворювачі мають свої переваги та недоліки [3].

При конструюванні даної установки були використані два типи схем – напівміст та повний міст з частотним регулюванням. Цей вибір був викликаний потребою регулювання коефіцієнта потужності. Постала проблема підтримки режиму резонансу в контурі, оскільки саме з його допомогою можливе налаштування потрібного значення потужності. Існує два способи регулювання резонансу : за допомогою зміни ємності ; за допомогою зміни частоти. В нашому випадку підтримка резонансу відбувається за рахунок регулювання частоти. Саме ця особливість і спричинила вибір типу схеми з частотним регулюванням.

2.1. Аналіз складових частин схеми

Аналізуючи роботу індукційної печі (ІП) можна виокремити три основні її частини: генератор, блок силового живлення, та силовий блок. Для надання необхідної частоти при роботі установки використовується генератор, який для уникнення завад від інших блоків установки, з'єднується з ними через гальванічну розв'язку у вигляді трансформатора. Для забезпечення схеми силовою напругою необхідний блок силового живлення, який забезпечує безпечну та надійну роботу силових елементів конструкції. Власне, саме силовий блок формує необхідні потужні сигнали для створення потрібного коефіцієнта потужності на виході схеми.

2.2. Створення схеми з'єднань

Схема з'єднань (монтажна) показує з'єднання складових частин виробу і визначає дроти, кабелі, які виконують ці з'єднання, а також місця їх приєднання.

Для зручності подальшого монтажу установки було розроблено схему з'єднань, що відображає основні контакти між функціональними блоками печі (рис. 2).

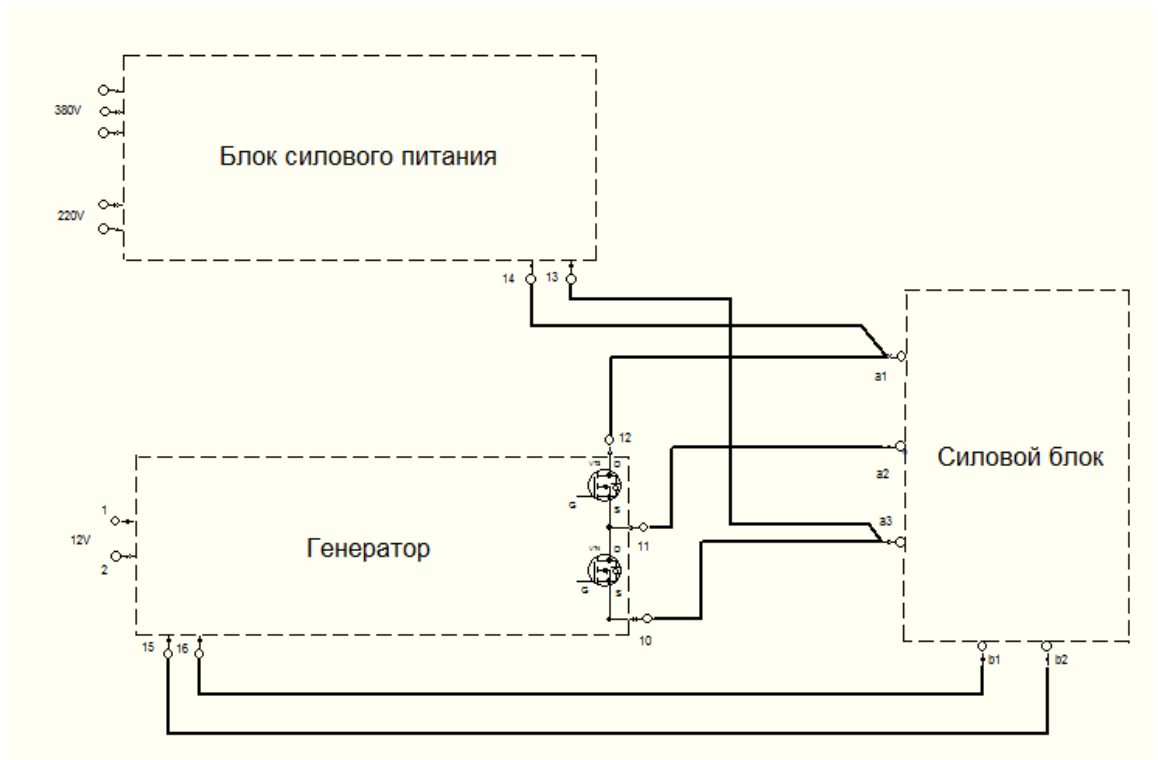


Рисунок 2 - Схема з'єднань блоків індукційної печі

3. ОГЛЯД ПРИНЦИПУ ДІЇ КОЖНОГО З БЛОКІВ УСТАНОВКИ

Генератор частоти

Найскладнішим блоком ІІ є генератор. Він забезпечує потрібну частоту роботи установки та створює початкові умови для отримання резонансного контуру. В якості джерела коливань використовується спеціалізований контролер електронних імпульсів типу КР1211ЕУ1 (рис.3). Цей вибір був спричинений можливістю роботи даної мікросхеми в досить

широкому частотному діапазоні (до 5 МГц), що дозволяє отримувати високі значення потужності на виході силового блоку схеми.

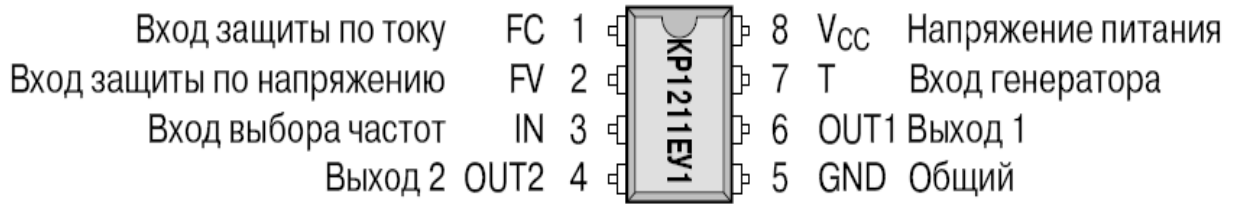


Рисунок 3 - Загальний вигляд мікросхеми КР1211ЕУ1

На рисунках 4,5 приведені принципіальна схема генератора частоти та схема електричної плати.

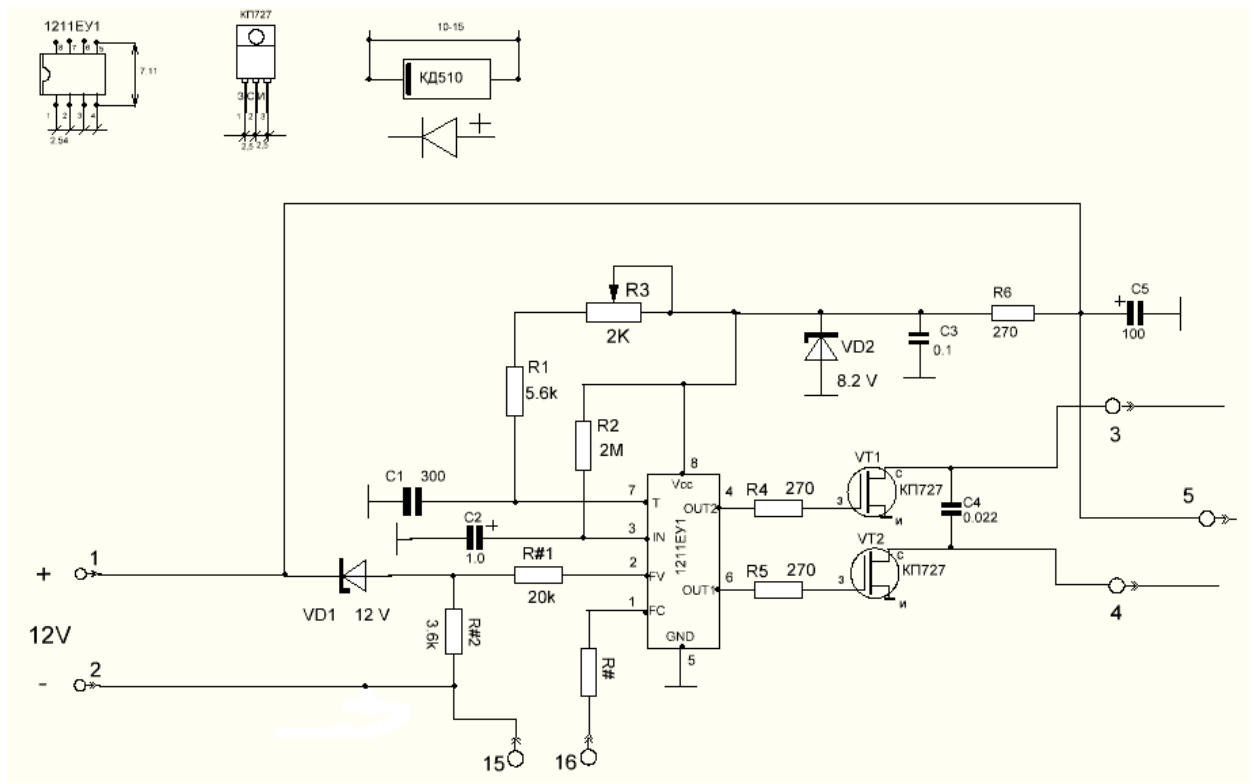


Рисунок 4 - Принципіальна схема генератора частоти

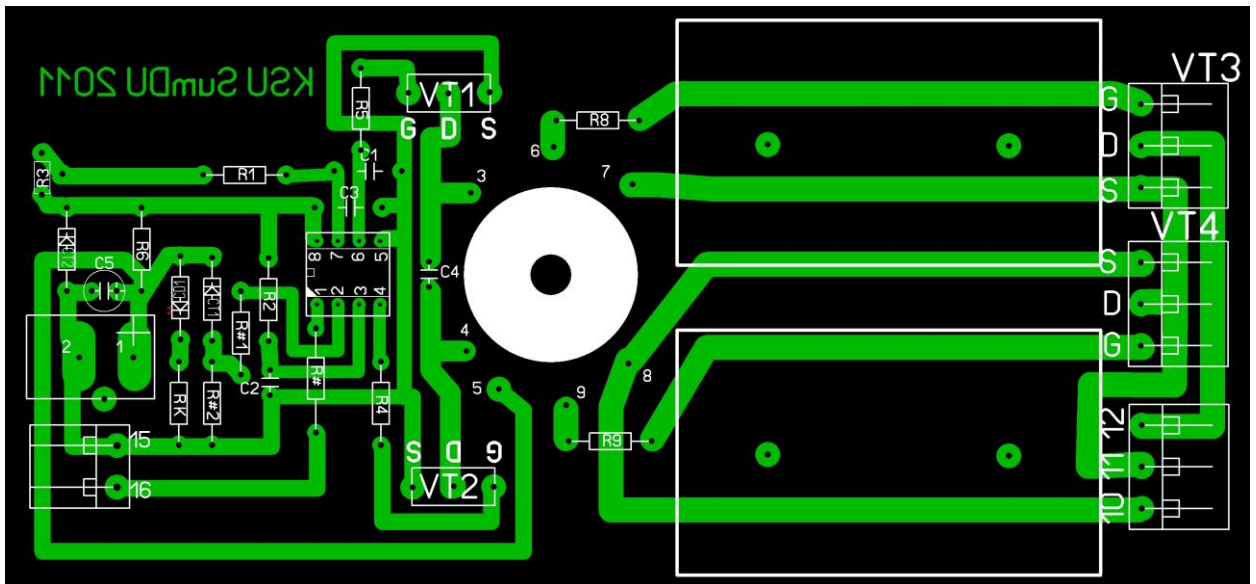


Рисунок 5 - Схема електричної плати генератора частоти індукційної печі

Мікросхема КР1211ЕУ1 генерує сигнали заданої частоти, які можна змінювати за допомогою регулюючого резистора, що встановлений поза мікросхемою. Далі сигнали потрапляють на транзистори, які працюють в ключовому режимі. В нашому випадку застосовуються кремнієві епітаксіально – планарні польові транзистори з ізольованим затвором типу КП727. Їх переваги полягають в наступному : максимально допустимий імпульсний струм, який вони можуть витримувати, дорівнює 56 А ; максимальна напруга – 50 В. Діапазон цих показників нас повністю влаштовує. Але, в зв'язку з цим постала проблема значного перегріву. Саме для вирішення даного питання і потрібен ключовий режим, який дозволить зменшити час знаходження транзисторів в робочому стані.

Таким чином позитивна півхвиля сигналу з мікросхеми відкриває один транзистор і збудує відповідний електричний ланцюг, а негативна півхвиля – відкриває інший. Для уникнення завад з інших блоків індукційної установки передбачена гальванічна розв'язка. В результаті, на виході генератора отримується сигнал з регульованою частотою, який є обмеженим від завад з інших блоків установки.

Блок силового живлення

Даний блок забезпечує подачу живлення на виконавчі вузли установки. Головною його особливістю є можливість роботи від однофазної та трьохфазної мережі. Джерело живлення на 380В використовується для підвищення коефіцієнта потужності, що виділяється в індукторі.

Вхідна напруга подається на випрямляючий міст, який перетворює змінну напругу 220В в постійну пульсуючу. До виходів моста підключені накопичувальні конденсатори, які підтримують сталий рівень напруги після зняття навантаження з установки. Для забезпечення надійності роботи установки блок обладнаний автоматичним вимикачем.

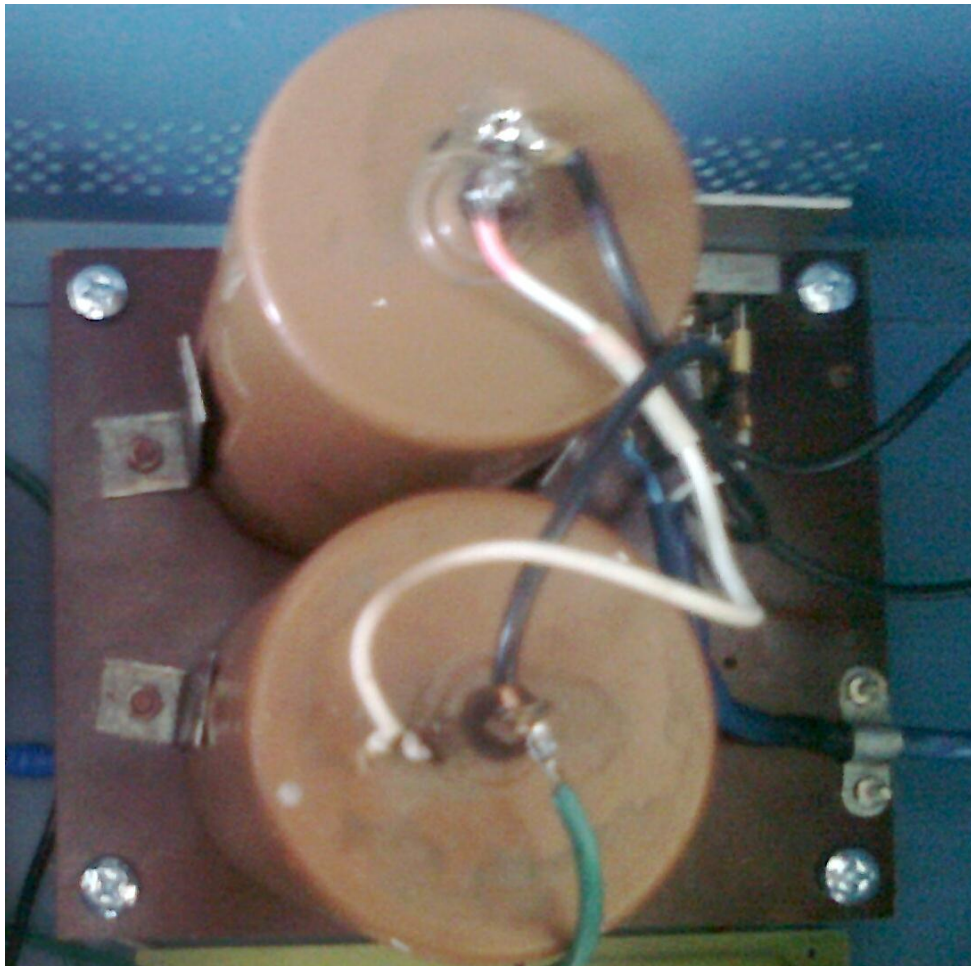


Рисунок 6 - Загальний вид блоку силового живлення індукційної печі (на фото відсутній автоматичний вимикач, призначений для безпечної роботи установки)

Силовий блок

Даний блок забезпечує безпосереднє підсилення сигналу та створення резонансного контуру, за допомогою зміни ємності кола.

Сигнали з генератора потрапляють на транзистори, які працюють в режимі підсилення. Таким чином, вони, відкриваючись в різні моменти часу, збуджують відповідні електричні ланцюги, що проходять через підвищувальний трансформатор та пропускають по ньому силовий струм в різних напрямках. В результаті на виході трансформатора (Tr1) ми отримуємо підвищений сигнал з заданою частотою. Цей сигнал подається на установку з індуктором. Установка з індуктором (Tr2 на схемі) складається власне із індуктора та набору конденсаторів (C13 – Cn). Конденсатори мають спеціально підібрану ємність і створюють коливальний контур, який дозволяє регулювати рівень індуктивності. Цей контур повинен працювати в режимі резонансу, що викликає стрімке підвищення частоти сигналу в індукторі, та збільшення індукційних струмів, за рахунок яких власне і відбувається нагрів.

На рисунку 7 приведена електрична схема силового блоку індукційної печі.

4. ІНДУКТОР ТА ОСОБЛИВОСТІ ЙОГО РОБОТИ

Індуктор – спеціальний пристрій для передачі енергії від джерела живлення у виріб, що нагрівається. Індуктори виготовляють зазвичай з мідних трубок. Під час роботи він охолоджується проточною водою [2].

Фізичний принцип створення сплаву полягає у проникненні в середину металів індукційних струмів ($I_{\text{індукц}}$), які виникають за рахунок високої частоти зміни напруги, прикладеної до затискачів індуктора. Потужність установки залежить від величини прикладеної напруги та від її частоти. Частота впливає на інтенсивність індукційних струмів та відповідно на температуру в середині індуктора. Чим більша частота та час роботи установки, тим краще переміщуються метали. Сам індуктор та напрямки протікання індукційних струмів ($I_{\text{індукц}}$) наведено на рисунку 8 .



Рисунок 8 - Напрямок струмів в індукторі

Для однорідного змішування та уникнення забруднення сплаву чужорідними елементами, наприклад електродами з резервуару зі сплавом, використовують індуктор зі зворотнім витком як показано на рисунку 9 . Саме завдяки цьому витку створюється електромагнітне поле, яке утримує метал в повітрі, переважаючи силу тяжіння Землі.



Рисунок 9 – Левітаційне утримання металу в індукторі

5. КІНЦЕВИЙ МОНТАЖ УСТАНОВКИ.

Кожен із блоків кріпиться до корпусу індукційної печі за допомогою спеціальних стійок. Це робиться для того щоб уникнути небажаних контактів струмопровідних частин з металевим покриттям самого корпусу (рис. 10).

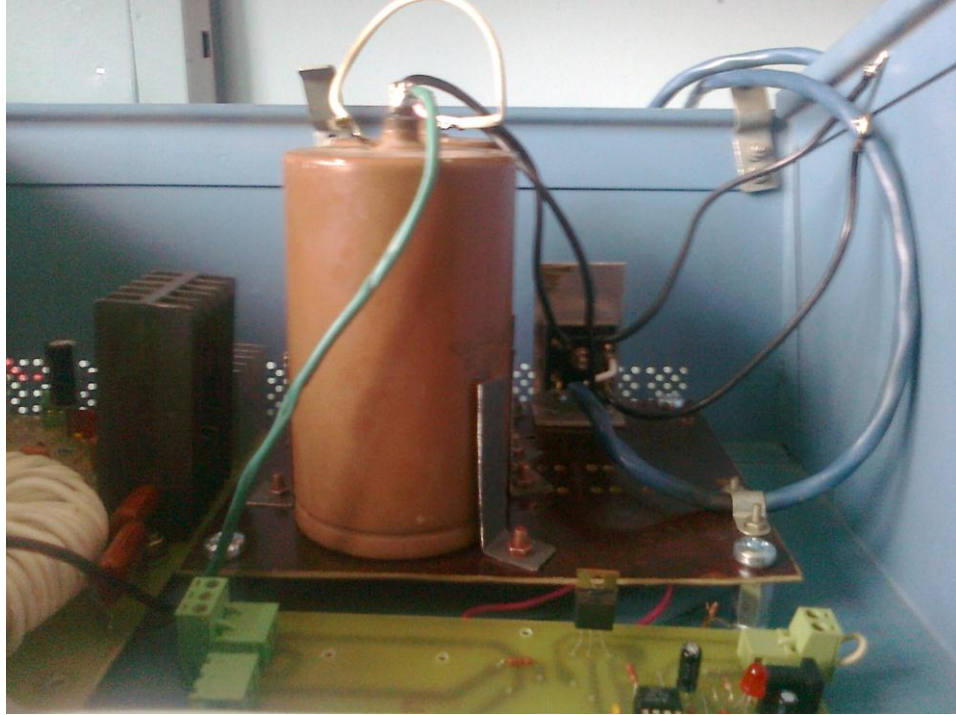


Рисунок 10 - Кріплення плат за допомогою спеціальних стійок

Для безпечної роботи з установкою, вона повністю закривається міцним корпусом (рис. 11), щоб таким чином створити перешкоду між небезпечними елементами конструкції та тілом людини, яка працює з нею.



Рисунок 11 - Захисний корпус, в якому розміщуються плати

Для зручності налагодження індукційної установки в цілому було виготовлено панель індикації, на якій розміщуються метрологічні пристрої, за допомогою яких і відбувається контроль за всіма параметрами установки. До таких метрологічних пристроїв належать : амперметр, який показує струм в індукторі, вольтметр, що підключений на виході індуктора, індикатор температурного режиму, регулятор частоти генерації сигналу. Всі наведені параметри дають можливість для регулювання режимів роботи індукційної установки. Також конструкція обладнана системою ручного ввімкнення, та системою індикації процесів нагріву.

За допомогою показів на пристроях власне і відбувається контроль за роботою установки в цілому.

ВИСНОВОК

Конструювання малогабаритної індукційної установки є досить складним технологічним процесом, так як він повинен забезпечити дотримання великої кількості критерій, таких як : зручність конструкції, малогабаритність, портативність і т.д. Дана установка працює по принципу безконтактної передачі енергії в предмет, що нагрівається. В наслідок цілеспрямованого руху індукційних струмів в індукторі відбувається безпосередньо сам процес плавки, тривалість якого складає декілька хвилин.

Створення даної установки є досить вигідним, так як галузь її застосування безмежна, починаючи з використання для звичайної лабораторної роботи та закінчуючи виготовленням надскладних однорідних сплавів з тугоплавких металів. Слід зауважити, що собівартість даної конструкції приблизно в десятки разів менша від аналогів і становить приблизно 1000 грн., якщо ж, наприклад, вартість установки К240-3, що має практично аналогічні параметри, становить майже 40000 грн.

На даний момент нам вдалося провести плавку легкоплавких металів (свинцю, олова) та провести віджиг сталі СТ – 3, досягнувши температури 300°C. Основною проблемою, яка була виявлена в результатів експериментів досліджень, являється вихід резонансного режиму індуктора при зміні властивостей оброблюваного виробу. В даний момент одним зі шляхів вирішення цієї проблеми являється застосування мікроконтролерної техніки, яка здатна автоматично налаштувати індуктор, що входить до складу резонансного контуру, в режим резонансу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Индукционные тигельные печи: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Л.И. Иванова, Л.С. Грובה, Б.А. Сокунов, С.Ф. Сарапулов. Екатеринбург: Изд-во УГТУ – УПИ, 2002. 87 с.
2. Гребенюк В.Ф., Хомутов В.И., Калмыков Е.В. Выбор конфигурации и расчёт индукторов для высокочастотного нагрева : - Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2002.
3. Негуляев В.Ю. Сварочный инвертор. От простого к сложному: Киев 2006. 50 с.
4. Бодажков В.А. Объёмный индукционный нагрев / Под ред. А.Н. Шамова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 1992. – 72 с.
5. Электротехнологические промышленные установки, под ред. А.Д. Свенчанского, М,- энергоатомиздат, 1982г, 399с.