

А. В. Єршов¹
Ю. М. Савонов¹
О. Є. Капустян¹
Є. І. Івахненко¹
О. Б. Корнієнко¹

ВИКОРИСТАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ІНВЕРТОРА ДЛЯ ІНДУКЦІЙНОГО ПІДГРІВУ

¹Національний університет «Запорізька політехніка»

Індукційне нагрівання є прогресивним методом обробки матеріалів для надання їм спеціальних технологічних властивостей. Широко відоме індукційне загартування циліндричних деталей після хіміко-термічної обробки: цементація, азотування, азотонавуглецювання тощо. Такий вид обробки дозволяє по-перше, суттєво прискорити процес нагрівання заготовки під загартування, по-друге, реалізувати ще одну перевагу: під дією височастотного магнітного поля вихрові струми неглибоко проникають у поверхневі шари деталі. Таким чином, зміцнюється тільки поверхневий шар заготовки, глибинні шари не зазнають змін і зберігають свої в'язко-пластичні характеристики. Це сприяє підвищенню не тільки зносостійкості деталі, але й зберігає пластичність, що збільшує опір ударно-динамічним навантаженням.

Проте, попри всі переваги індукційного нагрівання, устаткування для його здійснення досить складне і громіздке. Та й вартість його така, що не всі виробничі майстерні і дільниці, найчастіше, можуть собі його дозволити. Метою цієї роботи є застосування зварювального інвертора, після відповідного перероблення, для використання в технологічних процесах загартування і розплавлення легкоплавких металів (алюміній, цинк, припої і т.д.). Одночасно із цим поставлено завдання збереження функцій зварювального інвертора як джерела для виконання зварювальних робіт.

З метою адаптації зварювального інвертора під виконання завдання індукційного нагрівання із збереженням функцій зварювання в блоці керування виконано деякі маніпуляції: перекомутована мікросхема ШІМ (широкоімпульсна модуляція) контролер, доданий тумблер перемикач режиму роботи: індукційне нагрівання — зварювальне джерело струму, додано змінний резистор регулювання частоти інвертора для одержання резонансу паралельного контуру індуктор—батарея конденсаторів і відповідно максимуму енергії, що віддається. До того ж, для оптимізації процесу височастотного нагрівання змонтовано зовнішній блок, у якому розміщуються трансформатори і батарея резонансних конденсаторів.

У результаті отримана установка для виконання робіт із загартування деталей і плавлення металів, що має достатній запас потужності, а це й дозволяє швидко здійснювати індукційне нагрівання. При цьому, вартість самого інверторного джерела струму і застосованих комплектуючих значно дешевше, ніж вартість стандартної промислової установки.

Ключові слова: індукційне нагрівання, індуктор, резонанс, паралельний контур, вихрові струми

Вступ

Вибір інвертора для індукційного підігріву потребує уважного вивчення технічних характеристик і параметрів. Важливо враховувати потужність, частоту, режими роботи та можливості регулювання. Оптиміальний вибір допоможе досягти максимальної продуктивності

У сучасних технологіях використання індукційного підігріву має велике значення. Цей метод надає великі переваги у порівнянні з традиційними методами підігріву. Розглянемо практичні аспекти і переваги.

- *Практичні застосування*

Установки для індукційного підігріву широко використовуються в автомобільній, нафтовій та металургійній промисловості. Вони також знаходять застосування в ремонтних та будівельних роботах.

- *Принцип роботи*

Зварювальний інвертор використовується для індукційного підігріву шляхом створення високочастотного магнітного поля. Цей процес дозволяє швидко і уніфіковано нагрівати матеріали без прямого контакту. Це особливо корисно для великих обсягів ремонту деталей

Переваги зварювального інвертора

Використання інвертора для індукційного підігріву дозволяє отримати високу ефективність та точність процесу. До того ж, цей метод забезпечує економію енергії та зменшення витрат на обслуговування.

- *Ефективність та економія*

Використання зварювального інвертора для індукційного підігріву сприяє зменшенню витрат на електроенергію та підвищенню продуктивності. Цей метод також дозволяє зменшити витрати на обслуговування та підтримку обладнання.

- *Безпека та надійність*

Зварювальний інвертор для індукційного підігріву має високі стандарти безпеки та надійності. Технологічні рішення, такі як автоматичне відключення у разі перевищення параметрів, забезпечують безпеку в процесі роботи.

- *Порівняння з традиційними методами*

У порівнянні з традиційними методами підігріву, використання інвертора дозволяє досягти швидкості та однорідності нагріву, що підвищує якість деталей та дає економію часу.

Для створення установки індукційного підігріву вибрано зварювальний інвертор марки «EDON TB-315».

Технічні характеристики інвертора

| | | | |
|-----------------------|-----|------------------------------|------|
| Напруга живлення, В | 220 | Напруга холостого ходу, В | 67 |
| Мінімальний струм, А | 20 | Потужність при ПВ 60 %, кВт | 16,5 |
| Максимальний струм, А | 315 | Потужність при ПВ 100 %, кВт | 11,7 |

Принципова схема інверторного джерела живлення показана на рис. 1.

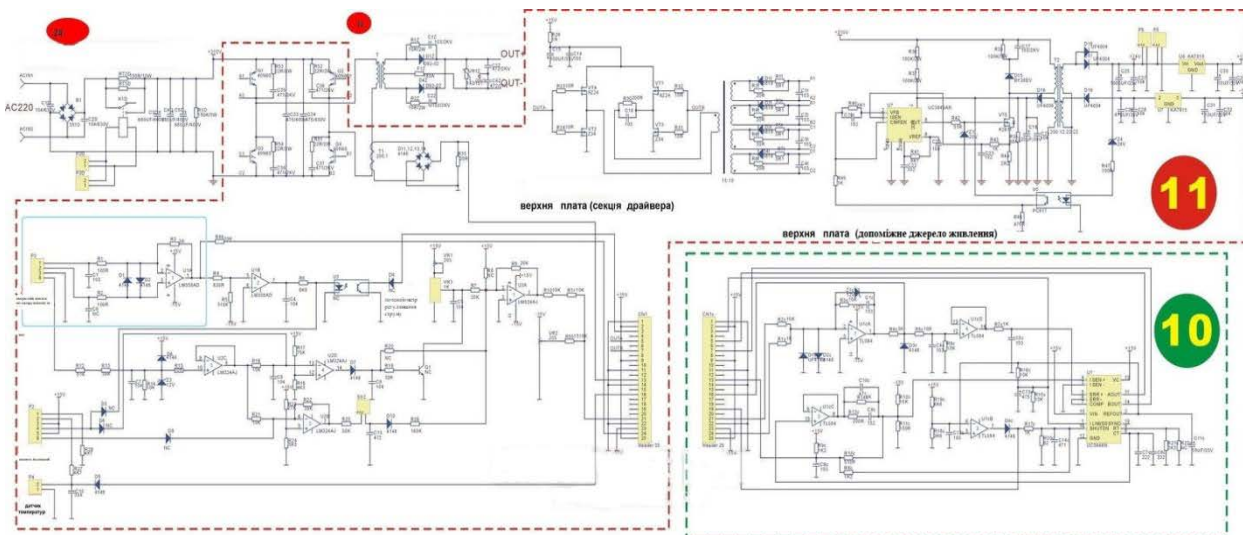


Рис. 1. Принципова схема інверторного джерела живлення «EDON TB-315»

Внутрішня компоновка елементів і блоків зварювального інвертора показана на рис. 2.

Це повний міст [1]. Силкові ключі (4 плеча по 2 транзистори IGBT 40N60 (40 А, 600 В) в паралель для збільшення потужності) здійснюють комутацію і управління силовим трансформатором. Для розв'язання силових транзисторів один від одного в коло затворів окремо включені резистори номіналом 20 Ом.

Блок керування зварювальним інвертором, побудований на основі контролера широтно-

імпульсної модуляції UC 3846 (блок 10 на рис. 1), показаний на рис. 3.

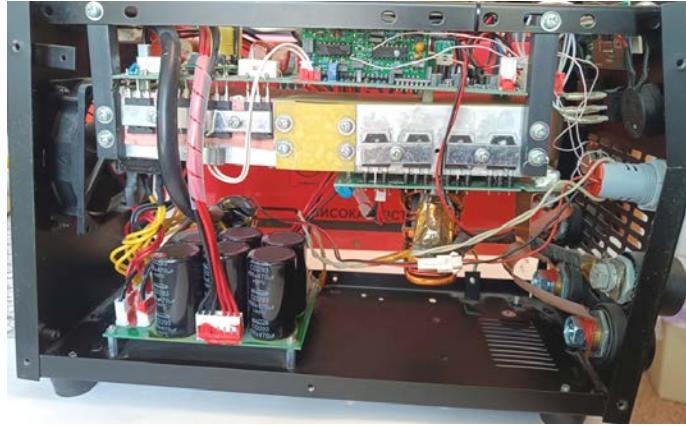


Рис. 2. Внутрішня компоновка елементів і блоків зварювального інвертора

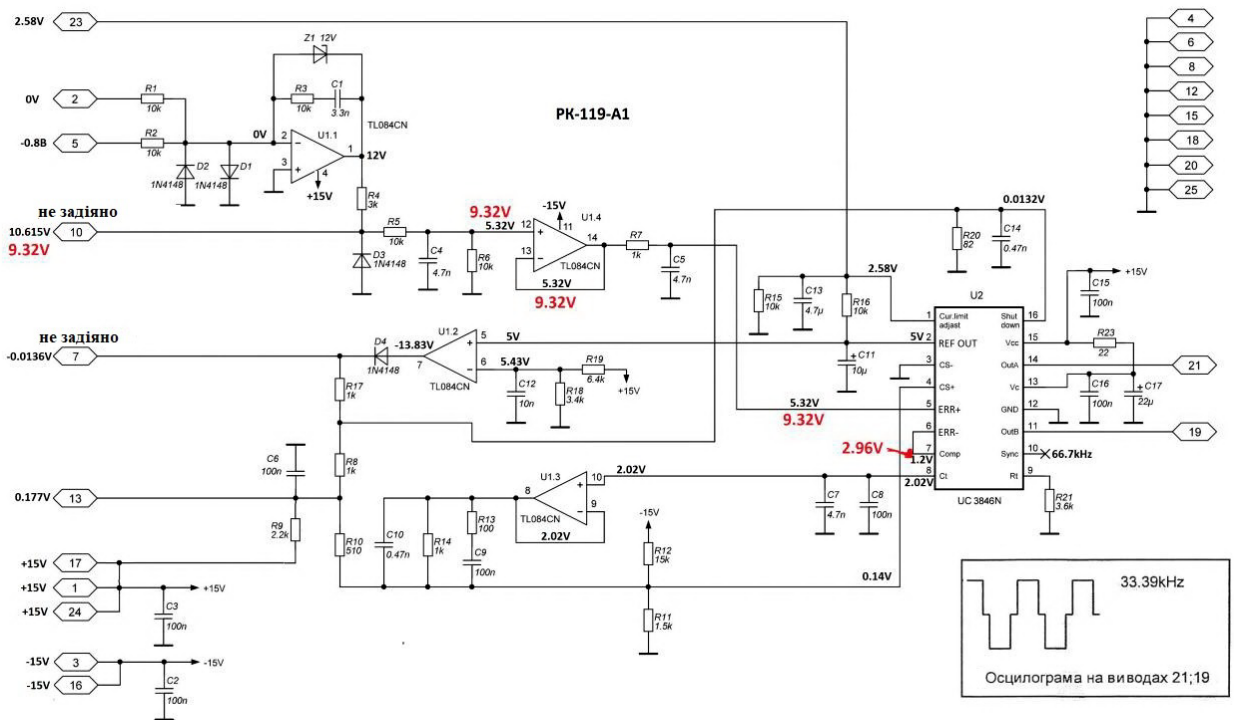


Рис. 3. Блок керування зварювальним інвертором

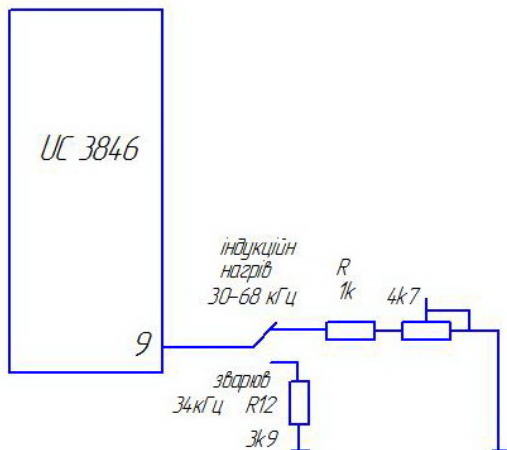


Рис. 4. Схема переробки у блоці управління інвертора

Виходами мікросхеми є 11 і 14. Вона навантажена на первинну обмотку ТГР (трансформатор гальванічного розв'язування). Чотири вторинних обмотки здійснюють управління силовими ключами і підключені до їхніх затворів.

Така компоновка схеми дозволяє зберегти роботозпроможність мікросхеми у разі виходу ключів з ладу.

Задання частоти роботи інвертора здійснюється по 9 виводу. Для цього 9 вивід підключений на «землю» через резистор R_{12} номіналом 3,9 кОм.

Переробка інвертора для індукційного нагріву передбачала такі кроки [2]:

1. Вивід резистора R_{12} , який іде на 9 вивід ШІМ випадно і підключено до контакту тумблера (рис. 4).
2. Створено послідовне коло з резистора номіна-

лом 1 кОм та змінного резистора 4,7 кОм, який підключено до іншого виводу тумблера. Середній вивід тумблера — на виводі 9 мікросхеми. Таким чином, у верхньому положенні перемикача 2 (рис. 5) частота інвертора змінюється в діапазоні 30...68 кГц (для підстроювання контуру в резонанс). В нижньому положенні перемикача забезпечує роботу інвертора в режимі зварювання з фіксованою частотою 34 кГц.



Рис. 5. Передня панель інверторного джерела живлення після переробки: 1 — амперметр мережі живлення; 2 — перемикач режиму роботи індукційний підігрів-зварювання; 3 — регулятор сили струму; 4 — регулятор частоти при індукційному нагріві; 5 — виводи на індукційний нагрів; 6 — виводи на зварювання



Рис. 6. Вид на трансформаторів зовнішнього блоку



Рис. 7. Передня стінка зовнішнього блоку

3. Відводи від вторинної обмотки силового трансформатора (до випрямних діодів) підключені до додаткових байонетних роз'ємів 5 шиною, перетином 20 мм (рис. 5). Щоб не переплутати виводи на нагрів і на зварювання, байонетні роз'єми на нагрів менші, ніж на зварювання.

4. Для контролю резонансу паралельного контуру: індуктор-батарея конденсаторів встановлено амперметр змінного струму 1. Амперметр живиться напругою +15 від чергового джерела живлення інвертора (блок 11, рис. 1).

Але навіть після таких переробок використовувати інвертор для індукційного нагрівання досить важко. Справа в тому, що напруга на виході занадто велика (67 В), а струм (навіть 315 А) замалий для здійснення нагрівання. Тому використано понижувальний трансформатор. Осердя трансформаторів — 2 шт. Кожен трансформатор — це п'ять феритових кілець розміром 45×28×12 мм, склеєних разом. Магнітна проникність феритів 2000 НМ. Габаритна потужність одного кільця становить 1085,2 Вт. Тобто, 10 кілець — це 10,85 кВт. Феритові кільця підібрані за допомогою програми Lite-Calcit — розрахунок трансформатора двотактного перетворювача (версія 2000).

Склеєні кільця ізолювані термостійким каптоновим скотчем. Первинна обмотка — це мідна трубка діаметром 10 мм, на яку надіті обидва трансформатори. Вторинні обмотки — 2×8 витків лідцентрату загальним перетином 16 мм² теж обмотані каптоновим скотчем (рис. 6). Вторинні обмотки обох трансформаторів з'єднані паралельно. Таким чином сумарний перетин вторинної обмотки становить 32 мм², а коефіцієнт трансформації — 4.

Також у зовнішньому блоці містяться: батарея конденсаторів для створення резонансного контуру; вентилятор охолодження трансформаторів і конденсаторів розміром 125×125 мм, розташований на задній стінці блоку. Живлення вентилятора здійснюється від окремої обмотки на трансформаторі: один виток багатожильного дроту в фторопластовій ізоляції. Виводи цієї обмотки підключені до випрямного моста з «fast» діодів FR 302. Далі — фільтруючий конденсатор 1000,0 мкФ × 25 В, який зашунтовано керамічним конденсатором 0,1 мкФ × 200 В.

Передня стінка зовнішнього блоку — це пластина зі склотекстоліту товщиною 8 мм, в якій зроблено багато отворів для покращення охолодження трансформаторів і конденсаторів і на якій закріплені мідні болти для підключення індуктора (рис. 7).

Підключення зовнішнього блока до індуктора здійснюється мідними дротами перетином 128 мм². Індуктор — це мідна трубка, яка охолоджується водою, діаметром 10 мм і має 12 витків з внутрішнім діаметром 200 мм, загальною висотою 240 мм. Для розрахунку ємності батареї конденсаторів на першому етапі розраховано індуктивність індуктора. Для цього використовували програму “Resonance Calculator (RT)” (додатки в Google Play). Розрахована індуктивність становить 19,615 мкГн.

Розрахована ємність батареї конденсаторів для частоти резонансу близько 55 кГц становить 0,43 мкФ.

Застосовано конденсатори марки СВВ 0,33 та 0,1 мкФ на напругу 2000 В, які підключені паралельно-послідовно. Точна підгонка резонансу контуру індуктор–батарея конденсаторів здійснювалась з використанням резистора змінного номіналу по досягненні максимального струму у живильній мережі (на передній панелі інвертора, рис. 5).

Висновок

Використання зварювального інвертора для індукційного підігріву є ефективним та економічно вигідним рішенням для різноманітних галузей промисловості. Цей метод має великі переваги у порівнянні з традиційними підходами та допомагає досягти високої продуктивності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] В. Ю. Негуляев, *Зварювальний інвертор — це просто*. Київ, Україна: Наукова думка, 2005, 42 с.
 [2] *Переробка зварювального інвертора в індукційну піч. Детальний огляд. Зварювальний апарат — нагрівач*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=MkGh1ssfS0k&list=PLFobUX0T-JruNRDgXVLnaB5-fQFoHxibI&index=95>.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 10.04.2024

Єршов Анатолій Васильович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій;

Савонов Юрій Миколайович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, e-mail: odissey204@gmail.com ;

Капустян Олексій Євгенович — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій;

Івахненко Євген Іванович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій;

Корнієнко Олена Борисівна — старший викладач кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій;

Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя

A. V. Ershov¹
Yu. M. Savonov¹
O. Ye. Kapustian¹
Ye. I. Ivachnenko¹
O. B. Kornienko¹

Application of Welding Inverter for Induction Heating

¹National University “Zaporizhzhia Polytechnic”

Induction heating is an advanced method of materials processing in order to attain special processing characteristics. Induction hardening of cylindrical parts after thermochemical treatment is widely known: carburization, nitride hardening, carbonitriding, etc. That sort of processing helps, firstly, to significantly speed up the heating process of hardening billet, and secondly, to use another advantage : by the action of high-frequency magnetic field eddy currents shallowly penetrate into the billet's surface layers. As a result of this process, only the billet's surface layer is being hardened, while interior layers do

not undergo hardening and save their viscous-plastic specifications. This helps to increase not only the wear resistance of the part, but also retains its plasticity, which allows it to resist shock dynamic loads.

However, in spite of all the advantages of induction heating, the processing equipment is quite complicated and bulky. And besides its cost is such high, that far from every workshop and manufacturing site can afford it.

The purpose of this study is the application of the welding inverter, after appropriate modifications, for using in the technological processes of hardening and melting of fusible metals (aluminum, zinc, solders, etc.). Concurrently there was set a task to retain the function of welding inverter as welding power supply.

In order to customize the welding inverter to the task of induction heating without sacrificing welding function, some adjustments were performed in the control unit:

- rewiring of PWM controller chip;
- adding of operation mode switch: “induction heating–welding power supply”;
- adding of frequency control potentiometer of the inverter to obtain the parallel resonance: “inductor–capacitor battery”, and thus ensure maximum of supplied energy.

Furthermore, to optimize the high-frequency heating process, external unit was installed, it houses transformers and a battery of resonant capacitors.

The resulting facility processes the parts hardening and metals melting, has ample power reserve and allows to perform induction heating rapidly. At the same time, the cost of the inverter power supply and applied components is much cheaper, than the cost of a standard industrial unit.

Keywords: induction heating, inductor, resonance, parallel circuit, Foucault currents.

Ershov Anatoliy V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Innovative Welding Technologies and Structural Modeling;

Savonov Yurii M. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Innovative Welding Technologies and Structural Modeling, e-mail: odissey204@gmail.com ;

Kapustian Oleksii Ye. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor; Head of the Chair of Innovative Welding Technologies and Structural Modeling;

Ivachenko Eugene I. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Innovative Welding Technologies and Structural Modeling;

Kornienko Olena B. — Senior Lecturer of the Chair of Innovative Welding Technologies and Structural Modeling