АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНИХ РІШЕНЬ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ПАЙКИ

Зайцев К. С., Ковальов С. О.

Ця робота описує розробку альтернативних рішень інфрачервоної пайки та розробку контролюючих приладів цього процесу. Аналіз існуючих рішень в серійних приладах, їх переваги і недоліки дозволяють запропонувати нові шляхи поліпшення характерних особливостей якості пайки за рахунок автоматизації процесу та оптимізації профілів пайки.

Keywords: *інфрачервоне випромінювання, інфрачервона паяльна станція, Arduino, автоматизовані профілі пайки.*

Вступ. Якість готових рішень інфрачервоної (ІЧ) пайки далеко не завжди відповідає заявленому, а дійсно хороші апарати коштують не малих грошей. У процесі пайки, наприклад, підвищення чи утримання температури нагрівача вище потрібної, заданої технологічними вимогами, може негативно вплинути на результат роботи - відбувається зниження надійності паяного з'єднання.

Оператори станцій іноді навмисно перевищують необхідну норму через полегшення паяння на високих температурах, що є тотальною помилкою. Протидіяти цьому важко, тому що у даному випадку присутній людський фактор. Виходом з положення є введення автоматизованого контролю паяльних станцій.

В цій роботі пропонується прилад, котрий буде відповідати сучасним вимогам інфрачервоної пайки, мати зручну та технологічну апаратну частину, доброзичливий інтерфейс з можливістю моніторингу та управління особливостями процесу пайки з комп'ютера.

Для оцінки конкурентоспроможності паяльної станції з віддаленим контролем необхідно провести порівняння з аналогами, виявити переваги і слабкі сторони виробу. Однією з основних задач при реалізації інфрачервоної паяльної станції є чітке поняття які задачі повинен виконувати прилад, основи фізики процесу, кінцевий результат та можливості приладу. Основою інфрачервоних паяльних станцій є керамічний або кварцовий нагрівальний елемент [1]. Станція має два таких елементи – нижній та верхній і процес розігріву контролюється мікропроцесорною системою управління.

Сучасна паяльна станція повинна забезпечувати:

- пайку BGA - CBGA, CCGA, PBGA, μBGA, FCBGA, LFBGA, CGA, CSP, QFN, QFP, MLF, PGA і інших чипів розміром до 60х60мм;
- можливість пайки не тільки BGA, а також пластикових конекторів;
- контроль температури через аналіз сигналів з термопар;
- автоматичний і ручний режими роботи.
- можливість моніторингу процесу за допомогою комп'ютеру.
- завдання термопрофілів для пайки (як для свинецьвмісних припоїв так і для не вмісних), можливість їх зміни та додавання нових.

Апаратна частина. За типом нагрівального елемента паяльні станції поділяють на керамічні та кварцові. Одна з переваг керамічні нагрівачів - це пайка за допомогою випромінювання електромагнітних хвиль невидимого спектру, які є абсолютно безпечним для зору людини і дозволяють операторові робити візуальне спостереження за процесом. Вони також є найбільш надійними і забезпечують досить тривалий час експлуатації до відмови [2].

Кварцові нагрівачі, в свою чергу, відрізняються меншою інерційністю і забезпечують більшу однорідність зони нагрівання, хоча вони використовують крім невидимого ще й видимий і, тому, небезпечний для зору діапазон інфрачервоного випромінювання.

Як відомо, потужність ІЧ випромінювання з одиниці площі поверхні нагрівача пропорційна четвертій ступені температури (закон Стефана-Больцмана), а

довжина хвилі з максимальною амплітудою складових спектра, обернено пропорційна температурі. Кварцовий нагрівач в звичайному режимі має температуру нагріву спіралі 2200-2700С, максимум випромінювання на хвилі довжиною 1 мкм. В той же час згідно з графіком на рисунку 1 навіть при такій температурі максимум дуже пологий, в спектрі містяться в тому числі і довгі хвилі, причому амплітуда їх набагато менше максимуму [3]. При зниженні температури спіралі (послідовне з'єднання нагрівачів або діммірування) графік спектру плоскішає і шкідлива короткохвильова частина (довжина хвилі менш ніж 2.5мкм) становить досить малий відсоток загальної потужності.

Рисунок 1 – Температурний спектр кварцового нагрівача.

Таким чином, можна відмітити, що кварцові нагрівачі, які працюють із слабким накалом, за властивостями випромінювання не дуже відрізняється від промислового кварцового випромінювача. Але більше зниження температури спіралі - до невидимого випромінювання – неможливо, оскільки питома потужність випромінювання з одиниці площі суттєво знижується (пропорційно четвертій ступені температури), а поверхня випромінювання спіралі в кварцовому нагрівачі дуже мала. У цьому випадку не можливо забезпечити щільність потоку потужності на достатньому рівні. Слід також відмітити, що кварцове скло трубок ламп блокує хвилі довше 4мкм.

Таким чином можна зробити важливий висновок: для створення якісного ІЧ приладу з використанням кварцових нагрівачів

необхідно створити максимально можливу потужність потоку випромінювання на мінімальній площі. Лампи розташовуються впритул, а необхідна не дуже велика потужність досягається шляхом їх послідовного з'єднання або дімміруванням, тобто вони штучно працюють із слабким напруженням [3].

Експерименти з використанням станції показали, що питомої потужності нижнього нагрівачу 8 Вт / кв.см вистачає не тільки для достатнього розігріву плати з будь-яким допустимими матеріалами, а й для випаювання різноманітних роз'ємів та сокетів взагалі без верхнього нагрівача, за допомогою одного нижнього підігріву, захистивши решту плати тепло-ізолюючим матеріалом. Для правильного функціонування верхнього нагрівача необхідна потужність не менш 10-12 Вт / кв.см.[4,5]. Також слід враховувати, що кварцові нагрівачі є нелінійним елементом, і при розрахунку потужності послідовне з'єднання двох однакових нагрівачів, дає не чверть номіналу для кожного, як впливає з закону Ома, а третину, при з'єднанні трьох ламп - 1/6 частину номіналу, при чотирьох - 1/8.

Було встановлено, якщо відстань від ламп до опромінюваної поверхні, дорівнює або більше, ніж 4/3 відстані між осями нагрівачів, нерівномірністю нагрівання можна знехтувати. Це підтверджує тест з прожарювання паперу, при якому ніякої смугастості не спостерігається.

Структура та алгоритм роботи приладу. ІЧ паяльна станція має наступні основні вузли (рис. 2):

1. нижній ІЧ випромінювач – це інфрачервоні випромінювачі, що встановлені в нижній частині (в корпусі) станції, для попереднього і рівномірного нагрівання всієї плати до 200-220 °С. Дуже важливо щоб плата була прогріта рівномірно, інакше її може «повести» в результаті чого вона деформується.

2. нижня термopа, яка власне і знімає температуру з низу плати і не дає їй перегрітися, даючи автоматиці сигнал на відключення живлення.

3. верхній кварцовий інфрачервоний випромінювач, який нагріває локальне місце на платі для розпаювання і подальшої пайки.

4. верхня термopа, яка контролює температуру верхнього випромінювача в момент розпаювання.

5. контролюючий модуль на базі Arduino.

6. апаратно-виконавчу частину (система комутації обладнання та система охолодження)

Рисунок 2 – Структурна схема приладу.

Основну частину управління приладом становить автомат з двома датчиками (в їх якості виступають термопара плати і термопара чіпу) і двома виконавчими механізмами – нижній та верхній нагрівач, які керуються за допомогою реле.

Було вирішено, що алгоритм регулювання потужності нагріву у автоматичному режимі роботи буде реалізований на ПК, за допомогою контролера Arduino [7] (далі - контролер). Контролер забезпечує зв'язок між станцією і ПК. Він циклічно виконує наступні функції: отримує з ПК параметри для забезпечення регулювання температури нагрівачів за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ-регулювання), встановлює необхідну температуру нагрівачів, передає температуру термопар в ПК.

Контролер очікує на USB порту повідомлення типу SETxxx * ууу *, де xxx та ууу – відповідно потужність верхнього та нижнього нагрівача у відсотках. Якщо отримане повідомлення відповідає шаблоном, виставляються коефіцієнти, що необхідні для ШІМ-регулювання нагрівачів і повертається повідомлення OKaaabbbcccd, де aaa і bbb – встановлена потужність верхнього та нижнього нагрівачів, ccc і ddd – показники температури, яка отримується від верхньої та нижньої термопари [6].

«Справжнє» апаратне ШІМ-регулювання за допомогою мікроконтролера з частотою дискретизації кілька кілогерц в випадку з твердотілим реле неможливо, тому що твердотіле реле не може бути відключено в довільний момент часу. Тому було вирішено реалізувати власний алгоритм ШІМ-регулювання з частотою близько 5 герц. Така частота задовольняє вимогам при яких лампи повністю гаснути не встигають. При цьому мінімальний коефіцієнт заповнення в 10% цілком достатній для можливості захопити один період напруги. [6]

При написанні скетч-програми прийшлося відмовитися від завдання затримок за допомогою функції delay (), так як є вірогідність, що під час затримок дані з порту можуть втрачатися. Алгоритм являє собою нескінченний цикл, в якому перевіряється наявність даних з USB порту і контролюється значення лічильників часу в програмі, що реалізує ШІМ-регулювання. Якщо є в наявності коректні дані з порту, вони оброблюються, якщо лічильник часу має значення, що вказують на необхідність перемикання згідно із алгоритмом ШІМ-регулювання, проводяться відповідні дії по включенню-вимиканню нагрівачів [8].

Алгоритм роботи програми наведено на рисунку 3.

Додаток для комп'ютера. Програма дає можливість відображати стан нагрівачів, створює графік температури і має вбудовану примітивну мову моделювання. Програма складається з набору пар «умова - дія». Наприклад, «при досягненні нижньої термопарою температури 120 градусів встановити наступні рівні потужності: для нижнього нагрівача 10%, для верхнього - 80%». Така множина умов реалізується необхідний термопрофіль, швидкість нагріву, температура утримання і т. п. У додатку довжина такту складає 1 секунду і вимірюється спеціальним таймером. Під час кожного такту в контролер відправляються поточні установки потужності та отримуються поточні значення температур нагрівачів. Останні відображаються у вікні параметрів та на графіку, потім викликається процедура перевірки логічних станів і підготовки даних для нового сеансу обміну.

Формування профілів ефективного ГЧ нагріву. Дослідження рівномірності зони

теплого поля нагріву верхніх і нижніх ІЧ нагрівачів дають наступну інформацію:

Рисунок 3– Алгоритм роботи контролеру

Ізотермічні зони: центральна зі швидкістю нагріву $> 5^{\circ}\text{C}/\text{c}$ має форму кола, після-зони - овальні, що обумовлено прямокутною формою рефлектора (рис. 4а). На рис. 4б зображені зони теплового поля ІЧ

нагрівача з маскою квадратної форми 4×4 мм. Ізотерми мають квадратну форму зі стороною 6 мм при $V > 3^{\circ}\text{C}/\text{c}$, 12 мм при $V = 2,2^{\circ}\text{C}/\text{c}$ і 18 мм при $V < 1^{\circ}\text{C}/\text{c}$. Застосування відражаючих екранів різної форми збільшує локальність нагрівання [8]. Найбільш швидке нагрівання $15^{\circ}\text{C}/\text{c}$ досягається при зменшенні відстані від плати до верхнього ІЧ нагрівача. Застосування якісного рефлектора для ІЧ джерела дозволяє при тій же інтенсивності нагріву вдвічі зменшити споживану потужність і замінити водяне охолодження повітряним. Підвищення локальності ІЧ нагрівання за рахунок світловідбиваючої маски не робить істотного впливу на швидкість росту температури, зменшуючи в цілому тільки нагрів плати [8].

Оптимальні режими ІЧ пайки наступні:

- нагрів нижнім нагрівачем плати до $90-110^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю $6-8^{\circ}\text{C}/\text{c}$,
- нагрів верхнім і нижнім нагрівачами до температури пайки зі швидкістю $10-14^{\circ}\text{C}/\text{c}$.

При необхідності локалізації нагріву для термочутливих елементів застосовують світловідбиваючу маску.

Швидкість нагріву верхнього нагрівача потужністю 500 Вт з рефлектором становить $3-5^{\circ}\text{C}/\text{c}$; верхнього і нижнього нагрівача потужністю 500 Вт до $10^{\circ}\text{C}/\text{c}$. Застосування захисної маски підвищує швидкість нагріву до $15^{\circ}\text{C}/\text{c}$ за рахунок відображення, збільшуючи ступінь локалізації нагріву. Подальше збільшення швидкості нагріву можливо за рахунок поліпшення якості параболічних рефлекторів і підвищення їх здатності, що відображає швидкість зростання температури в зоні пайки знижується зі збільшенням відстані від ІЧ нагрівача до плати: для верхнього в 2 (рис. 5) і для нижнього в 3 рази (рис.6)[8].

Режими пайки оплавленням визначаються температурним профілем, який оптимізований для ІЧ нагрівачів (рис. 9). Стадія попереднього нагрівання знижує тепловий удар на електронні компоненти і друковані плати. При швидкості нагріву не більше $1-3^{\circ}\text{C}/\text{c}$ відбувається випаровування розчинника з паяльної пасти. Висока швидкість нагріву призводить до передчасного випаровування розчинника і цілої низки дефектів: пошкодження компонентів за рахунок теплового удару, розбризкування кульок припою і виникненню перемичок [9-11]. Отже різниця температур

«предподогреву» і оплавлення не повинна перевищувати 100 °С

Рисунок 5 – Температурні залежності в зоні нагріву верхнього ІЧ випромінювача при відстанях до плати, мм: 1 - 15, 2 - 25, 3 - 35

Рисунок 6 – Температурні залежності в зоні нагріву нижнього ІЧ випромінювача при відстанях до плати, мм: 1 - 10, 2 - 20, 3 - 30, 4 - 40, 5 - 50, 6 - 60

Рисунок 4. Ізотермічні зони для різної швидкості нагріву:
а): 1 – $>5^{\circ}\text{C}/\text{c}$; 2 – $5^{\circ}\text{C}/\text{c}$; 3 – $3,8^{\circ}\text{C}/\text{c}$; 4 – $3,3^{\circ}\text{C}/\text{c}$; 5 – $<2,2^{\circ}\text{C}/\text{c}$;
б): 1 – $>4^{\circ}\text{C}/\text{c}$; 2 – $2,2^{\circ}\text{C}/\text{c}$; 3 – $1,1^{\circ}\text{C}/\text{c}$; 4 – $<0,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$

Рисунок 7 – Оптимальний температурний профіль пайки ІЧ нагріванням для олов'яно-свинцевих припоїв

Висновки. Застосування інфрачервоної пайки є перспективним напрямком в технології поверхневого монтажу, який забезпечує зменшення витрат на експлуатацію обладнання при одночасному підвищенні якості паяних з'єднань. ІЧ нагрівання вигідно відрізняється тим, що має більш просте устаткування, яке набагато економніше і доцільніше для поверхневого монтажу виробів.

На підставі аналізу причин виникнення дефектів поверхневого монтажу, зроблено висновок, що однією з причин їх утворення є недосконалість температурного профілю

пайки. Вирішення цих проблем пропонується за допомогою сучасних приладів, що забезпечують повну автоматизацію процесу пайки, зводячи нанівець людський фактор. Важливою перевагою запропонованої ІЧ станції також являється дешева вартість комплектуючих, із збереженням якості пайки в порівнянні з серійними приладами вартістю в тисячі доларів. Розроблене програмне забезпечення, що забезпечує дистанційним управлінням робить процес ще простішим і, в кінцевому підсумку, не вимагають високих навичок оператора.

Література

- [1] Инфракрасное излучение. [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wikipedia.org/wiki/Инфракрасное_излучение
- [2] Как паяют «мосты» и чипы на материнских платах с помощью паяльной станции [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/muk/blog/271515/>
- [3] Хельге Шимански (Helge Schimanski) Квалифицированные процессы ремонта на основе актуальных норм и стандартов I601 // Технологии в электронной промышленности. 2010
- [4] Валлин Л. Использование стандартов IPC на всех этапах производства электроники. Стандарты серии IPC-2220 и IPC-7351A // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 1.
- [5] Валлин Л. Стандарт IPC-4101C и серия IPC-6010 // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 2. 3.
- [6] Валлин Л. Стандарт и тренинг IPC-A-600H // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 6.
- [7] Arduino-Nano [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano/>.
- [8] Хельге Шимански (Helge Schimanski) Квалифицированные процессы ремонта на основе актуальных норм и стандартов I601 // Технологии в электронной промышленности. 2010
- [9] Патрик Церрер NanoFlux — Флюс с нанохимически активными металлическими соединениями для дисперсионной стабилизации мягких припоев.
- [10] Максим Шмаков, Александр Тиханкин Оптимизация температурного профиля пайки оплавлением// Технологии в электронной промышленности, 2008.
- [11] Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы нагревательного типа. М., 2015.

References

- [1] Инфракрасное излучение. [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wikipedia.org/wiki/Инфракрасное_излучение
- [2] Как паяют «мосты» и чипы на материнских платах с помощью паяльной станции [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/muk/blog/271515/>
- [3] Хельге Шимански (Helge Schimanski) Квалифицированные процессы ремонта на основе актуальных норм и стандартов I601 // Технологии в электронной промышленности. 2010
- [4] Валлин Л. Использование стандартов IPC на всех этапах производства электроники. Стандарты серии IPC-2220 и IPC-7351A // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 1.
- [5] Валлин Л. Стандарт IPC-4101C и серия IPC-6010 // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 2. 3.
- [6] Валлин Л. Стандарт и тренинг IPC-A-600H // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 6.
- [7] Arduino-Nano [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano/>.
- [8] Хельге Шимански (Helge Schimanski) Квалифицированные процессы ремонта на основе актуальных норм и стандартов I601 // Технологии в электронной промышленности. 2010
- [9] Патрик Церрер NanoFlux — Флюс с нанохимически активными металлическими соединениями для дисперсионной стабилизации мягких припоев.
- [10] Максим Шмаков, Александр Тиханкин Оптимизация температурного профиля пайки оплавлением// Технологии в электронной промышленности, 2008.
- [11] Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы нагревательного типа. М., 2015.

Надійшла до редакції 25.04.2019 р.

Зайцев Кирило Сергійович – магістрант, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: hardworkerhappy@gmail.com.

Ковальов Сергій Олександрович – к. т. н., доцент, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: sergiy.kovalov@donntu.edu.ua

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE INFRARED-SOLDER SOLUTIONS

The paper describes the development of alternative solutions for infrared soldering and control devices for this process, proposes a device that will meet the modern requirements of infrared soldering, have a convenient and technological hardware, a friendly interface with the ability to monitor and control the characteristics of the soldering process from the computer. The modern soldering station should provide the following basic functions: soldering of chips up to 60x60mm in size, possibility of soldering plastic connectors, temperature control through analysis of thermocouple signals; automatic and manual modes; ability to monitor the process using a computer, setting thermal profiles for soldering with different types of solders, the ability to change them and add new ones. By type of heating element, soldering stations are divided into stations with ceramic and quartz elements. The advantage of ceramic heaters is the soldering by means of radiation of electromagnetic waves of the invisible spectrum, which are absolutely safe for human vision and allow the operator to make visual observation of the process. Quartz heaters have less inertia and provide greater homogeneity of the heating zone, although they use a range of infrared radiation that is hazardous to humans. The optimum soldering mode using a quartz heater is determined by the temperature profile, which can significantly reduce the hazardous factors of the process and get a quality result. The use of infrared soldering is a perspective trend in surface mount technology, which reduces the cost of installing and operating equipment while improving the quality of solder joints. Designed software that allows remote control makes the soldering process easier and ultimately reduces operator skills requirements.

Keywords: *infrared radiation, infrared soldering station, Arduiono, automated soldering profiles.*

Zaitsev Kyrylo Serhiiiovych – undergraduate, State Higher Education Establishment “Donetsk National Technical University”, (Shybankova square, 2, Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine).

E-mail: hardworkerhappy@gmail.com.

Kovalov Serhii Oleksandrovych – PhD, Associate Professor, State Higher Education Establishment “Donetsk National Technical University”, (Shybankova square, 2, Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine).

E-mail: sergiy.kovalov@donntu.edu.ua