

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

УДК 004.31-022.53:621.365.46

Хацкевич  
Александр Дмитриевич

**Микроконтроллерная система управления термическими профилями  
пайки электронных модулей**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-38 80 03  
«Приборы, системы и изделия медицинского назначения»

Научный руководитель  
Ланин Владимир Леонидович  
д.т.н., профессор

Минск 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития электронной аппаратуры характеризуется широким применением поверхностно монтируемых (SMD) элементов: безвыводных "чиповых" резисторов и конденсаторов, миниатюрных корпусов БИС, пластмассовых и керамических кристаллоносителей и др., что позволяет отказаться от плат с металлизированными отверстиями, упростить установку элементов, повысить надежность электронных блоков.

Технология поверхностного монтажа является наиболее распространенным на сегодняшний день методом конструирования и сборки электронных модулей на печатных платах. Основным ее отличием от «традиционной» технологии сквозного монтажа в отверстия является то, что компоненты монтируются на поверхность печатной платы, однако преимущества технологии поверхностного монтажа печатных плат проявляются благодаря комплексу особенностей элементной базы, методов конструирования и технологических приемов изготовления электронных модулей.

Одной из первых технологий пайки SMD компонентов стало применение конвекционных печей, где оплавление припоя осуществлялось за счет нагрева его потоком горячего воздуха. В установках пайки с принудительным конвективным теплообменом тепло к монтируемым платам подается посредством конвективной теплоотдачи принудительно перемещающимся с малой скоростью нагретым воздухом. Скорость нагрева в таких системах определяется разностью температур между нагретым воздухом и печатной платой. Вследствие большой тепловой инерционности конвекционные печи имеют конвейер, движущийся с небольшой скоростью, по которому платы проходят через несколько зон нагрева. Такая технология требует как предварительного нанесения на контактные площадки паяльной пасты, так и приклеивания компонентов к поверхности платы, чтобы при обдуве горячим воздухом не произошло их смещения. Одним из недостатков этой технологии является разогрев до температуры пайки всей платы. В конвекционных печах практически невозможно точно выдерживать температурный профиль пайки корпусов типа BGA.

Индукционные устройства на магнитопроводе способны с высокой точностью поддерживать температуру нагрева деталей при высокой теплоотдаче в процессе монтажной пайки. Максимальная скорость нагрева при оптимальных параметрах процесса высокочастотного (ВЧ) нагрева достигает  $50^{\circ}\text{C}/\text{с}$ , что позволяет реализовать бесконтактный нагрев небольших по размеру

деталей в зазоре магнитопровода индуктора. Наиболее важными преимуществами ВЧ нагрева являются следующие:

- энергия нагрева создается вихревыми токами непосредственно в материале изделия;
- возможны высокая плотность энергии и короткое время нагрева,
- локализация нагрева в пределах обрабатываемой зоны,
- нагрев в любой среде, включая вакуум или инертный газ,
- высокая экологическая чистота нагрева,
- использование электродинамических сил для улучшения растекания припоя, перемешивания расплава металла и т.д.

Однако использовать индукционный нагрев в паяльных устройствах для монтажной пайки стали сравнительно недавно. Индукционный нагрев с помощью специализированной оснастки – индукторов – в диапазоне высоких частот (до 2000 кГц) при отношении глубины проникновения к толщине детали  $b/h < 0,5-1,0$  требует значительных удельных мощностей (до  $10^6$  Вт/м<sup>2</sup>). Такой нагрев применяют для конструкционной пайки волноводных трактов, металлобумажных конденсаторов, коммутационных элементов, твердосплавного инструмента и т.д. Индукторы соленоидального типа характеризуются значительным рассеянием магнитного потока, низким КПД и необходимостью электрической и тепловой изоляции от нагреваемых поверхностей деталей.

С переходом на бессвинцовую технологию ключевым требованием к паяльному оборудованию становится стабильность термуправления, то есть сохранение точности поддержания температуры в течение всего процесса пайки электронных компонентов. Связано это требование с тем, что температура пайки повысилась на 40 градусов и стала близка к предельно допустимой для компонентов температуре. Снижение точности термического профиля нагрева увеличивает риск теплового повреждения компонентов. Традиционные индукционные системы достаточно инерционны, в них затруднено применение в качестве датчика термопары, подверженной электромагнитным наводкам.

Прогресс в области индукционного нагрева при монтажной пайке достигнут за счет новых конструкций индуктирующих устройств и применения мощных полевых транзисторов в ВЧ источниках питания. Нагрев переменным электромагнитным полем в зазоре магнитопровода индукционного устройства с открытой магнитной цепью обеспечивает высокую скорость при небольших удельных мощностях, однако сильно зависит от материала детали и геометрических факторов.

Воздействие энергии электромагнитного поля позволяет осуществить не только высокопроизводительный бесконтактный нагрев деталей с помощью наведенных в них вихревых токов ВЧ, но и активировать припой за счет вихревых токов и пондеромоторных сил, и улучшить его растекание по паяемым поверхностям. Качество паяемых соединений в процессах ВЧ пайки зависит от следующих факторов: конструкции индуктора и магнитопровода, скорости нагрева деталей и припоя, избирательности и локальности ВЧ нагрева, равномерности и регулируемости нагрева во времени и по сечению паяемых деталей.

Пайка инфракрасным (ИК) излучением обеспечивает возможность бесконтактного нагрева на воздухе, в контролируемой газовой среде или в вакууме.

Нагрев ИК излучением в целях пайки имеет ряд технологических преимуществ, однако их реализация зависит от правильно сконструированной установки ИК нагрева. Инфракрасная пайка высокопроизводительна, инвариантна к типу паяемого изделия (корпус ИС, печатная плата), экологически чиста (не загрязняет окружающую среду), позволяет программировать режимы нагрева и вести пайку в любой контролируемой атмосфере, например нейтральной или защитной.

Целью данной работы является разработка микроконтроллерной системы управления термическими профилями пайки как при индукционной пайке, так и при инфракрасной, при монтаже SMD компонентов в электронных модулях и оптимизация технологических режимов монтажа бессвинцовыми припоями и пастами.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами**

Тема диссертационной работы утверждена Советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» от 11 сентября 2017г. Диссертационная работа выполнялась на кафедре «Электронной техники и технологии» в рамках следующей научной программы:

ГБ 16-2020 «Материалы, технологические процессы и устройства электронно-оптических систем, электронных средств, биомедицинской и интегральной электроники».

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является разработка микроконтроллерной системы управления термическими профилями индукционной пайки при монтаже SMD компонентов в электронных модулях и оптимизация технологических режимов монтажа бессвинцовыми припоями и пастами. Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Разработать и исследовать микроконтроллерные системы управления термическими профилями монтажа SMD элементов.
2. Исследовать и оптимизировать процессы поверхностного монтажа с применением концентрированных потоков высокочастотной электромагнитной энергии и инфракрасного излучения.

**Объект исследования** – микроконтроллерные системы управления термическими профилями пайки SMD элементов.

**Предмет исследования** – структура и программное обеспечение микроконтроллерной системы управления термическими профилями пайки при поверхностном монтаже.

### **Научная новизна и значимость полученных результатов.**

Разработана структура и программное обеспечение микроконтроллерной системы управления термическими профилями высокочастотной и инфракрасной пайки при поверхностном монтаже для обеспечения требуемого качества монтажных соединений в электронных модулях.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. В данной работе применяется ИК датчик измерения температуры, так как термопара обладает тепловой инерцией, что не позволяет производить достаточное количество измерений в единицу времени.
2. Применение микроконтроллера и микрокомпьютера позволяет создать гибкую современную быстродействующую систему по контролю за процессами пайки при помощи ВЧ индукционного или ИК нагрева.

### **Личный вклад соискателя**

Все основные научные результаты, представленные в работе, получены соискателем самостоятельно. В диссертации изложены результаты научно-исследовательских работ, выполненных автором лично (7 публикаций) и в соавторстве (4 публикации). В публикациях с соавторами личный вклад соискателя заключается в разработке методик исследований, постановке

основных экспериментов, проведении теоретических и экспериментальных исследований.

Участие научного руководителя: доктора технических наук, профессора кафедры ЭТТ БГУИР Ланина В. Л. заключалось в обсуждении структуры, целей и задач исследований, обсуждении и обобщении результатов теоретических и практических исследований, проведенных автором самостоятельно.

#### **Апробация результатов диссертации**

Результаты исследования были представлены и обсуждались на 10-й Международной НТК молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» (Минск:БНТУ, 2017), 53-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов(БГУИР, 2017г), 4-ом Белорусско-Китайском молодежном инновационном форуме «Новые горизонты-2017» (02-03 ноября 2017г., Минск), международной НТК Intermatic-2017 «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения»(20-24 ноября 2017г. Москва), 13-й международной НТК(20-24 ноября 2017, Севастополь), 54-й научно-технической конференции студентов и магистрантов БГУИР (23-27 апреля 2018г.),

#### **Опубликованность результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, из них 3 статьи и 2 материала докладов и 2 тезиса в сборниках докладов конференций.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключение, списка цитируемой литературы из 38 наименований. Общий объем диссертации 62 страниц, в том числе 44 иллюстрации и 3 таблиц.

В общей характеристике работы сформулированы ее цель и задачи, даны сведения об объекте и предмете исследования, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

Во введении обозначена актуальность исследований в области пайки SMD компонентов на современном этапе производства высокотехнологичных электронных устройств.

В первой главе описываются и анализируются основные методы и устройства воздействия концентрированными потоками электромагнитной энергии для сборки и монтажа электронных модулей с SMD компонентами.

Вторая глава посвящена аналитическому обзору микроконтроллерных систем и ПЛК, выбору компонентов для прототипа установки контроля термопрофилей пайки.

Третья глава посвящена настройке операционной системы и установки необходимого программного обеспечения для прототипа установки контроля термопрофилей пайки и созданию алгоритма работы протитпа установки контроля термопрофилей пайки.

Четвертая глава посвящена анализу экспериментальных режимов работы высокочастотного инвертора и ИК пайки.

В пятой главе описывается алгоритм работы прототипа установки контроля термопрофилей пайки и пользовательского интерфейса для работы с ним.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря таким качествам ВЧ индукционного нагрева, как локальность нагрева, простота конструкции, высокая экологическая чистота нагрева, создание вихревых токов, возможность использования электродинамических сил для улучшения растекания припоя и перемешивания расплава металла, данный тип воздействия концентрированных потоков электромагнитной энергии лучше всего подходит для поверхностного монтажа электронных модулей. С помощью индукционных устройств, выполненных на магнитопроводах, можно осуществлять пайку силовых контактов, разъемов и проводов на печатные платы, коаксиальных кабелей и герметизацию металлостеклянных корпусов интегральных схем.

Управление высокочастотным инвертором осуществляется микроконтроллером, который задает необходимый режим пайки и позволяет автоматизировать процесс. Управление ВЧ инвертором может осуществляться посредством изменения питающего напряжения силового модуля

Обзор контроллеров показал достоинства и недостатки каждого из устройств. Контроллеры марок Simens и Mitsubishi, Omron предназначены для решения широко спектра задач автоматизации. Но сложное программное обеспечение требует большого опыта в работе с данными контроллерами. Микроконтроллер Beckhoff CX9000 обладает оптимальным соотношением цена качество. В прототипе используется микрокомпьютер Raspberry pi 3.

Были выбраны необходимые элементы обвязки для прототипа установки.

Термопара не позволяет совершать большое количество измерений в единицу времени, так как обладает тепловой инерцией. Это делает невозможным быструю корректировку термопрофиля, когда это необходимо. Использование термопары ведет к индицированию электромагнитным полем дополнительного тепла в металлических полупроводниках. Поэтому в схемах управления применяют бесконтактные инфракрасные датчики измерения температуры, обладающие высокой скоростью измерений в единицу времени.

Наличие ИК датчика измерять температуру в диапазоне от 100°C до 380°C.

Благодаря использованию микрокомпьютера можно обрабатывать, хранить и передавать полученные данные в сеть интернет или сохранять в базу данных для использования в будущем.

Платформа Linux обладает обширными возможностями в программировании, нетребовательна к вычислительным ресурсам контроллера. Наличие бесплатных программ и фреймворков для работы с контроллером,

выгодно отличает его от дорогих аналогов, где помимо контроллера необходимо приобрести и лицензионное программное обеспечение.

Благодаря Node-Red был создан алгоритм позволяющий организовать работу модулей системы в единую платформу контроля термопрофилей пайки. Также был создан пользовательский интерфейс для работы с установкой. При использовании индукционного нагрева ВЧ инвертором, существует множество параметров, влияющих на скорость и величину нагрева припоя. После проведения исследований в области воздействия частот, напряжений питания и использования резонансных контуров, были получены термограммы различных режимов нагрева. На основании этих термограмм, можно выбрать оптимальный режим нагрева, с необходимой скоростью и величиной нагрева.

При использовании резонансного контура с батареями емкостью  $C=0,25$  мкФ и частоте  $f=60$ кГц, получаем оптимальный режим нагрева в данной конфигурации установки.

Благодаря наличию программируемых микроконтроллера и микрокомпьютера установка обладает гибкостью и позволяет настраивать систему под различные задачи. Понятный и простой интерфейс обладает функционалом для общения с установкой. И в случае необходимости может быть модернизирован под конкретные задачи. Благодаря наличию Wi-Fi в микрокомпьютере установку можно интегрировать в сеть для удаленного управления и контроля термопрофилей.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

- [1] Ланин, В. Л. Микроконтроллерное управление устройствами мониторинга и перемещения / В. Л. Ланин, А. Д. Хацкевич // Материалы Междунар. НТК «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» INTERMATIC-2017. - М : МИРЭА, 2017. – С. 1096–1099.
- [2] Хацкевич, А. Д. Автоматизация управления температурными профилями монтажной пайки / А. Д. Хацкевич, В. Л. Ланин // Новые горизонты – 2017 : сборник материалов Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, 2-3 ноября 2017 г. : в 2 т. – Минск : БНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 38-40.
- [4] Хацкевич А.Д. Автоматизация управления температурными профилями монтажной пайки/ А.Д. Хацкевич// доклад на IV-ом Белорусско-Китайском молодежном инновационном форуме «Новые горизонты-2017» Тезисы докладов – Минск, БГУИР, 2017. – С.38-40.
- [5] Хацкевич А.Д. Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций RT-2017. Труды 13-й Международной НТК. Севастополь 20-24 ноября 2017.–С.165
- [6] Хацкевич А.Д. Микроконтроллерное управление термопрофилями индукционной пайки/ А.Д.Хацкевич // 54 научно-техническая конференция студентов и магистрантов: Тезисы докладов – Минск, БГУИР, 2018.
- [7] Хацкевич А.Д. Цифровая автоматическая станция мониторинга погодных условий/А.Д.Хацкевич // 53 научно-техническая конференция студентов и магистрантов: Тезисы докладов – Минск, БГУИР, 2018. – С.84 – 86.