

# Микроконтроллерное управление температурными профилями монтажной пайки электронных модулей

**Устройство управления температурными профилями инфракрасной монтажной пайки поверхностно монтируемых компонентов с помощью микроконтроллера MSP430 позволяет оперативно вносить изменения в программу контроля с помощью интерфейса внутрисхемного программирования и контролировать температуры в диапазоне +20...+350 °С с точностью до 0,5 °С.**

**Владимир Ланин**

vlanin@bsuir.by

**Александр Лаппо**

## Введение

Современное производство изделий электроники представляет собой сложный и многокомпонентный процесс, состоящий из большого числа различных технологических операций. Проблема снижения трудоемкости контроля и одновременного повышения качества изделий решается за счет широкого применения автоматизированных систем контроля (АСК) на основе компьютерной техники. АСК позволяют существенно повысить эффективность производства, качество продукции, производительность труда, а также скорость и точность контроля параметров изделий, исключить субъективность оценок, уменьшить численность обслуживающего персонала. В современных системах контроля все чаще применяются микроконтроллеры (МК). МК представляет собой специальную микросхему, предназначенную для управления различными электронными устройствами. Отличие МК от микропроцессора в том, что разработчики микроконтроллеров объединили процессор, память, ПЗУ и периферию внутри одного корпуса.

Неполный список периферии, которая может присутствовать в МК, включает [1] универсальные цифровые порты, которые можно настраивать как на ввод, так и на вывод; интерфейсы ввода/вывода UART, I<sup>2</sup>C, SPI, CAN, USB, IEEE 1394, Ethernet; аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи; массивы встроенной флэш-памяти; встроенный тактовый генератор и сторожевой таймер.

Наиболее известными и применяемыми семействами МК являются MCS 51 (Intel); MSP430 (Texas Instrument); ARM (ARM Limited); AVR (Atmel); PIC (Microchip) и STM8 (ST Microelectronics).

Важным и принципиальным различием МК считается их принадлежность к CISC- либо RISC-архитектуре. Первая — классическая, Принстонская архитектура предполагает мощный набор одно-, двух- и трехбайтовых команд, которые наряду с про-

чими данными передаются по общей шине данных. Выполнение одной команды, таким образом, растягивается на несколько машинных циклов, зато в итоге получается надежный результат. Идеология RISC основана на идее резкого уменьшения числа команд с тем, чтобы любая из них могла выполняться за минимальное число тактов. Практически все современные МК относятся к классу RISC-устройств.

По сравнению с промышленными и одноплатными компьютерами микроконтроллеры обладают следующими преимуществами: низкая цена; широкий выбор микроконтроллеров различной архитектуры и конфигурации; возможность построения систем реального времени без необходимости использования специализированных операционных систем; открытость или бесплатность большинства средств разработки программного обеспечения (ПО) для микроконтроллеров. К недостаткам микроконтроллеров можно отнести необходимость доработки ПО под конкретное семейство и даже модель микроконтроллера.

## Разработка устройства микроконтроллерного управления

Основные требования для устройства микроконтроллерного управления температурными профилями пайки таковы:

- напряжение питания 12 В;
- измерение температуры в диапазоне +20...+350 °С;
- управление нагревателями с помощью электромагнитных реле;
- передача результатов измерений температуры на ЖКИ.

Для выполнения данного типа задач в общем случае подходит абсолютное большинство представленных на рынке МК. Поэтому при выборе МК целесообразно руководствоваться экономическими соображениями, удобством монтажа и универсальностью применения.



Рис. 1. Микроконтроллер MSP430 с отладочной платой

Микроконтроллерное устройство базируется на МК MSP430G2553 фирмы Texas Instruments. Семейство МК MSP430 сочетает низкое энергопотребление и весьма гибкую архитектуру, что делает его незаменимым для широкого круга применений, где требуется особо низкий потребляемый ток. Такими применениями являются переносные измерительные приборы и другие устройства, работающие длительное время без смены батарей [2].

Данный МК имеет максимальную тактовую частоту 32 кГц, 16-битное RISC-подобное ядро, 10-битный АЦП и UART и напряжение питания от 1,8 до 3,3 В. Конструктивно МК выполнен в 20-выводном DIP-корпусе, что обеспечивает удобный монтаж и демонтаж на плате. МК имеет примерную розничную цену в 2 евро, а также распространяется и бесплатные средства разработки и отладки (рис. 1).

Архитектура МК семейства MSP430 содержит 16-битное RISC ЦПУ, гибкую систему тактирования, а также периферийные модули, объединенные общими шинами адреса MAB и данных MDB (рис. 2). Сочетание современного ЦПУ и отображаемых в памяти аналоговых и цифровых периферийных модулей делает семейство MSP430 пригодным для работы в приложениях, связанных с обработкой смешанных сигналов. Высокоэффективная аналоговая подсистема позволяет выполнять точные измерения. Флэш-память с возможностью внутрисхемного программирования предоставляет возможность гибко изменять программный код (в том числе во время эксплуатации) и сохранять данные измерений.

Микроконтроллерное устройство на базе MSP430 позволяет оптимизировать температурные профили монтажной пайки электронных модулей для обеспечения максимального соответствия типовому температурному профилю [4]. Структурная схема устройства представлена на рис. 3. Контроль температуры обеспечивается посредством измерения напряжения на выходе термоэлектрического преобразователя (термопара типа ХК, ТХК). Сигнал с термопары через усилитель постоянного тока на основе операционного усилителя поступает на МК.

С помощью встроенного 10-битного АЦП последовательного приближения измеренный аналоговый сигнал преобразовывается в двоичную форму. Для минимизации ошибки измерения усиленный сигнал термопары

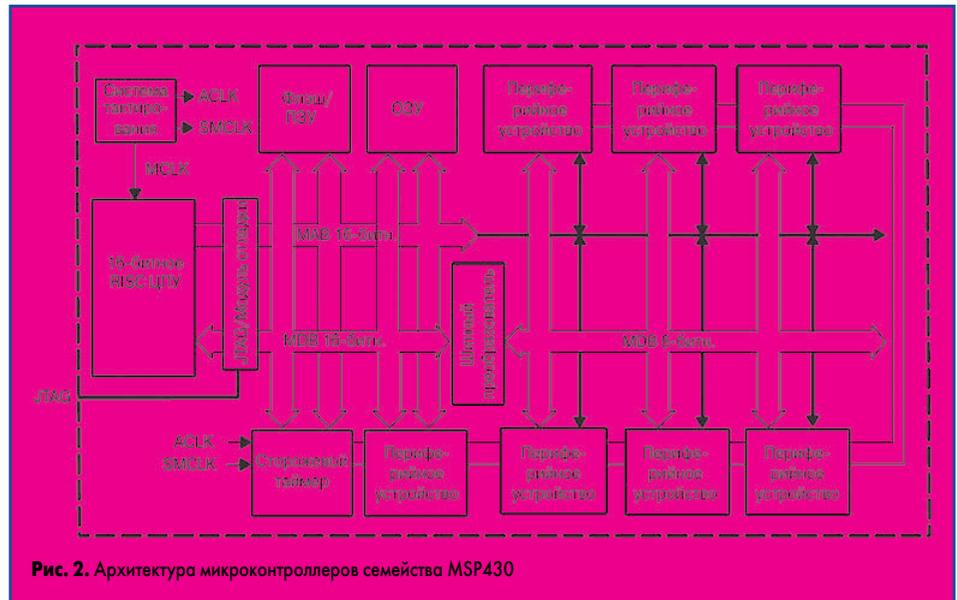


Рис. 2. Архитектура микроконтроллеров семейства MSP430

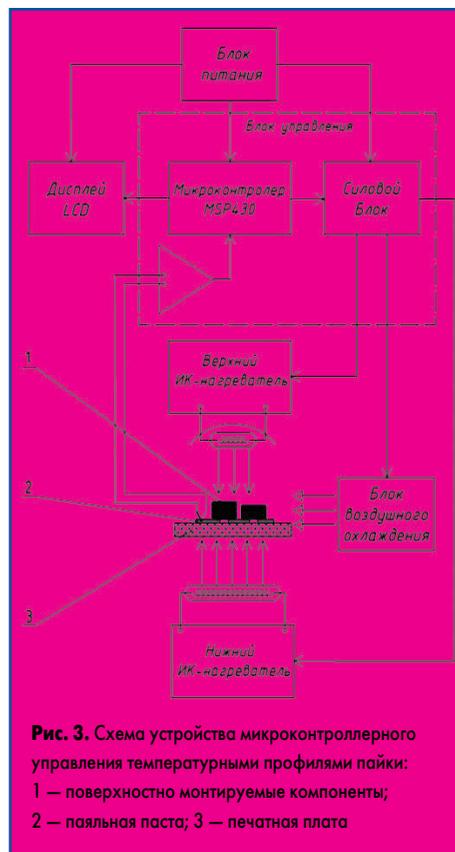


Рис. 3. Схема устройства микроконтроллерного управления температурными профилями пайки:  
1 — поверхностно монтируемые компоненты;  
2 — паяльная паста; 3 — печатная плата

измеряется 20 раз в секунду с последующим вычислением среднего значения. На основании значения измеренного сигнала с помощью градуировочной таблицы (так называемой lookup table) вычисляется значение текущей температуры. Алгоритм вычислений оптимизирован для выполнения на микроконтроллерах семейства MSP430. С учетом рассчитанной температуры и с помощью электромагнитных реле происходит управление основным и дополнительными нагревателями.

В конструкции устройства предусмотрено использование двух типов верхних инфракрасных (ИК) нагревателей с возможностью простой и быстрой их замены. Это нагреватели на основе галогенной ИК-лампы КГМ 30–300, работающей в ближней ИК-области, и керамического нагревателя Elstein SHTS/4, соз-



Рис. 4. ИК-нагреватели:  
а) галогенная ИК-лампа накаливания КГМ 30–300;  
б) керамический ИК-нагреватель Elstein SHTS/4

дающего излучение в средней ИК-области (рис. 4). Установка нагревателей производится так, чтобы их излучающая поверхность располагалась над зоной пайки. Нижний нагреватель, предназначенный для предварительного нагрева печатной платы до температуры +130...+170 °С с целью защиты монтируемых компонентов и платы от термоудара, содержит две соединенных последовательно галогенные лампы КИ 220–1000 и отражатели.

Система охлаждения состоит из двух вентиляторов на поверхности корпуса для охлаждения паяемого модуля и верхнего нагревателя, а также вентилятора, установленного внутри корпуса для охлаждения нижнего нагревателя, что позволяет контролировать процесс охлаждения собираемого или ремонтируемого электронного модуля. Информация о режиме работы нагревателей и текущей температуре выводится на жидкокристаллический дисплей (рис. 5). Внешний вид устройства с установленным верхним керамическим ИК-нагревателем показан на рис. 6.



Рис. 5. Внешний вид ЖКИ с измеренной температурой и статусом реле



Рис. 6. Устройство инфракрасной пайки со средневолновым керамическим излучателем, установленным в качестве верхнего нагревателя



Рис. 8. Термопрофиль ИК-пайки

температуре записывались в файл в автоматическом режиме с интервалом в 1 с. На первом этапе осуществлялся предварительный равномерный нагрев модуля до +150 °С с целью предотвращения появления дефектов, связанных с термоударом компонентов. Далее следовал этап активации флюса, на котором температура поддерживается постоянной. Последующий нагрев до температуры пайки и выдержка в процессе пайки осуществлялась с помощью керамического нагревателя. Заключительный этап — охлаждение электронного модуля (рис. 8).

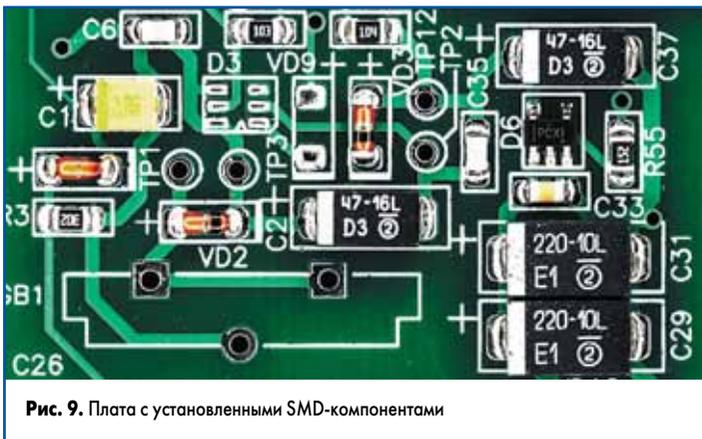


Рис. 9. Плата с установленными SMD-компонентами

Для проверки качества паяных соединений на устройстве с микроконтроллерным управлением выполнена пайка поверхностно монтируемых компонентов на плату электронного модуля (рис. 9). В процессе монтажа поверхностно монтируемых компонентов получены контактные соединения, некоторые из них имели дефекты. Шарики припоя, представляющие собой сферические образования из припоя, были выявлены на плате возле выводов транзистора (рис. 10а). Причиной образования дефекта может быть неправильный выбор режимов пайки, интенсивное испарение растворителя на стадии предварительного нагрева. Выявлены также дефекты установки компонентов (рис. 10б), причина появления которых не зависела от режимов работы устройства, а была связана с ошибками оператора, производившего установку компонентов на манипуляторе.

После дополнительной настройки устройства и устранения причин ранее выявленных дефектов произведен повторный монтаж поверх-

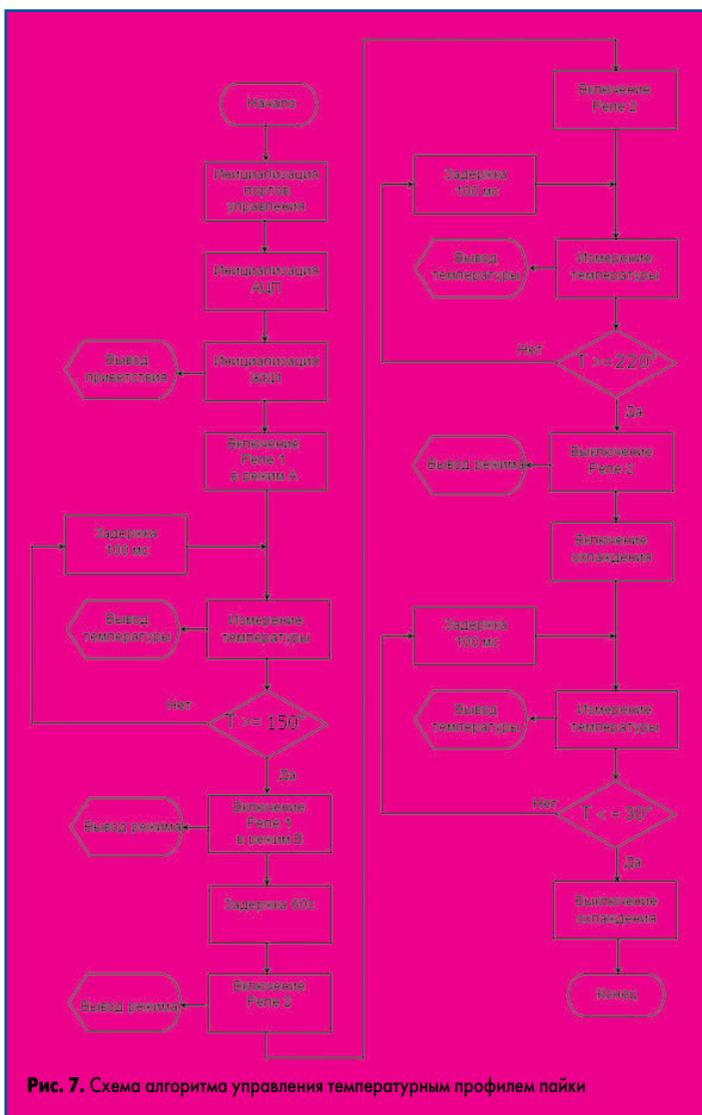


Рис. 7. Схема алгоритма управления температурным профилем пайки

Программное обеспечение микроконтроллера выполнено на языке программирования С в среде разработки Code Composer Studio 5.0. Программирование микроконтроллера осуществлено с помощью отладочной платы MSP-EXP430G2. Алгоритм управления температурным профилем пайки представлен на рис. 7.

**Практическое применение устройства**

После отладки программного обеспечения микроконтроллера выполнены исследования температурных профилей пайки с помощью измерителя-регулятора ОВЕН ТРМ210 и компьютера. Данные о тем-

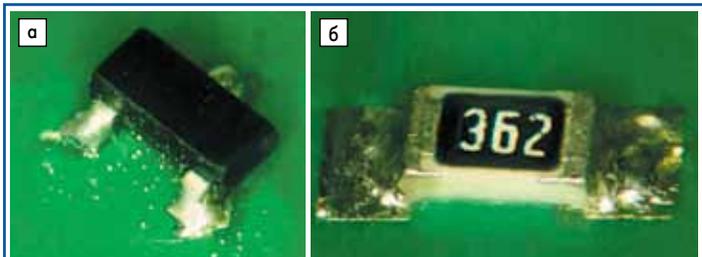


Рис. 10. Дефекты монтажа SMD-компонентов: а) образование шариков припоя; б) недостаточное перекрытие контактных площадок

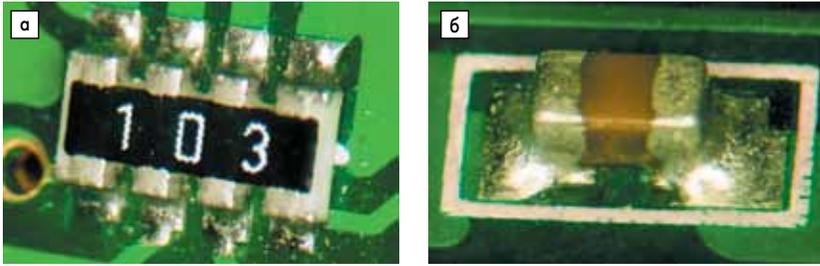


Рис. 11. Качественные паяные соединения: а) чип-резисторная сборка; б) чип-конденсатор

носно монтируемых компонентов в различных корпусах. Полученные паяные соединения установленных компонентов (рис. 11) были изучены под микроскопом Carton NSWT-620 на соответствие их стандарту IPC-A-610D, и сделано заключение, что микроконтроллерное устройство ИК-пайки обеспечивает надежное поддержание оптимального температурного профиля пайки поверхностно монтируемых компонентов.

### Заключение

Микроконтроллерное устройство ИК-пайки позволяет максимально приблизить температурный профиль пайки поверхностно монтируемых компонентов к типовому профилю и оперативно вносить изменения в программу контроля с помощью интерфейса внутрисхемного программирования. Диапазон контролируемых температур составляет +20...+350 °C

с точностью измерения до 0,5 °C. Монтаж поверхностно монтируемых компонентов в электронных модулях с помощью разработанного устройства соответствует критериям качества электронных сборок стандарта IPC-A-610D.

### Литература

1. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом и оборудованием. М.: Горячая линия – Телеком, 2009.
2. Davies J. H. MSP430 Microcontrollers Basics. N. Y.: Newnes, 2008.
3. Евстифеева А. В. Семейство микроконтроллеров MSP430X2XX. Архитектура, программирование, разработка приложений. М.: Додэка XXI, 2010.
4. Ланин В., Сергачев И. Температурно-временные профили пайки электронных модулей // Технологии в электронной промышленности. 2012. № 7.