

Система обогрева на базе измерителя-регулятора ТРМ202 и микроконтроллера ATMEL

Сергей Шишкин (Нижегородская обл.)

В статье описана система обогрева для производственных помещений на основе отечественного двухканального терморегулятора ТРМ202. Плата контроллера, входящая в систему, позволяет регулировать температуру в режиме реального времени. Рассмотрена схемотехника системы обогрева и прокомментировано программное обеспечение микроконтроллера.

В настоящее время вопросы экономии энергоресурсов являются весьма актуальными. В статье представлена система, которая позволяет экономить электроэнергию, затрачиваемую на обогрев помещений.

В складских или производственных помещениях, в вечернее и ночное время, при отсутствии персонала можно получить экономию энергоресурсов за счёт понижения температуры обогреваемых помещений. Предлагаемая система обогрева позволяет автоматически поддерживать заданные температуры в дневное и ночное время.

Сформулируем основные требования к системе обогрева (далее – система):

- система должна автоматически поддерживать заданные температуры в двух интервалах времени (дневном и ночном) в диапазоне от 1 мин до 24 ч;
- система работает в режиме реального времени;

- в качестве источника тепла применяется тепловая пушка.

Функциональная схема системы показана на рисунке 1. Основные функциональные узлы: измеритель-регулятор А1 (далее – терморегулятор), плата контроллера А2, нагреватель А3. Нагреватель состоит из симисторного блока А3.1 и тепловой пушки: электронагревателя А3.2 и вентилятора А3.3. Временная диаграмма, поясняющая алгоритм работы системы, представлена на рисунке 2.

Функцию поддержания заданных температур в системе выполняет терморегулятор ТРМ202 фирмы «ОВЕН». В данном терморегуляторе реализованы два независимых канала измерения и поддержания температуры (№ 1 и № 2). Заданные температуры (дневная и ночная) и другие параметры каналов программируются. Выходные сигналы терморегулятора поступают на плату контроллера А2. Выходные сигналы платы контроллера обеспечивают управление нагревателем.

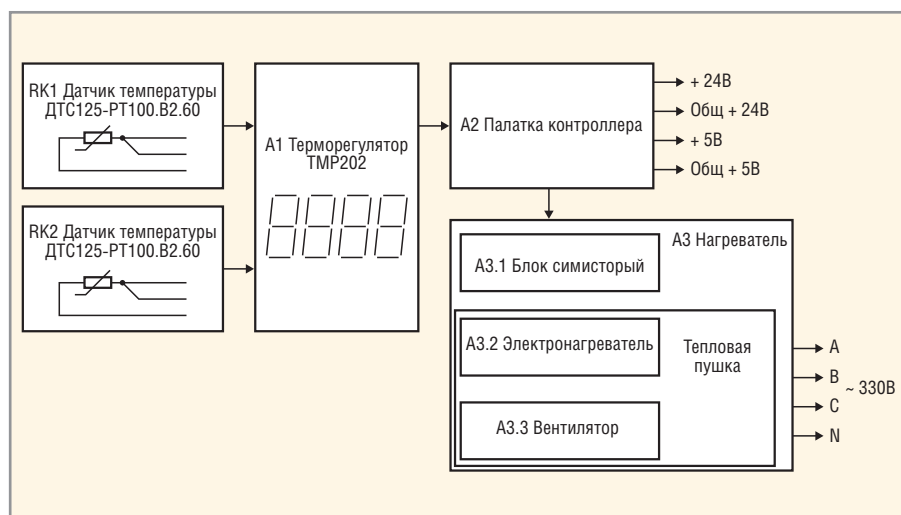


Рис. 1. Функциональная схема системы

Таким образом, плата контроллера обеспечивает поддержание заданных температур в заданные интервалы времени. На плате контроллера реализован таймер, который функционирует в режиме реального времени. До момента времени t_1 (см. рис. 2) система поддерживает температуру, заданную в канале № 1 терморегулятора (дневная температура). С момента времени t_1 до момента времени t_2 система поддерживает температуру, заданную в канале № 2 терморегулятора (ночная температура). Интервал поддержания ночной температуры ($\Delta t = t_2 - t_1$) программируется.

У мощных тепловых пушек при выключении, во избежание нагрева корпуса и выхода из строя элементов управления, необходимо сначала выключить электронагреватель, а потом, с некоторой задержкой, вентилятор. То есть после выключения электронагревателя производится его обдув до тех пор, пока температура на выходе тепловой пушки не достигнет окружающей. Требуемая задержка по времени Δt_1 при выключении вентилятора зависит от технических характеристик тепловой пушки (мощность, производительность, габариты и т.д.). Плата контроллера реализует вышеуказанную функцию – осуществляет задержку между выключением электронагревателя и вентилятора. Данный интервал времени (задержка) программируется.

В алгоритме работы платы контроллера можно выделить шесть режимов работы:

- режим № 1 (часы 1). Отсчёт и индикация текущего времени: минуты–секунды;
- режим № 2 (часы 2). Отсчёт и индикация текущего времени: часы–минуты;
- режим № 3 (время 1). Задание и индикация значения времени t_1 (начало интервала поддержания ночной температуры);
- режим № 4 (время 2). Задание и индикация значения времени t_2 (конец

интервала поддержания ночной температуры);

- режим № 5 (задержка). Задание и индикация значения задержки Δt_1 (временная задержка выключения вентилятора после выключения электронагревателя);
- режим № 6 (контроль задержки). Визуальный контроль увеличения (инкремент) времени задержки Δt_1 , начиная с нулевого значения (текущее значение). Как только текущее значение сравнивается с заданным, сразу выключается вентилятор в тепловой пушке, и на дисплее снова индицируется нулевое значение.

Принципиальная схема системы приведена на рисунке 3. Интерфейс управления системой включает в себя интерфейс управления терморегулятором и интерфейс управления платы контроллера. Фотография лицевой панели терморегулятора ТРМ202 приведена на рисунке 4. Интерфейс управления платы контроллера показан на рисунке 5. Фотография интерфейсной части платы контроллера приведена на рисунке 6. Обозначение

элементов на рисунке 5 в соответствии с принципиальной схемой (см. рис. 3) показано условно. Принципиальная схема нагревателя приведена на рисунке 7.

Нагреватель подключается к плате контроллера через жгут 2. Терморегулятор А1 подключается к плате контроллера А2 через жгут 1. Сетевое трёхфазное напряжение 380 В поступает на нагреватель через соединитель Х1 типа 2РТТ36Б5Ш18-В.

Поскольку система построена на базе терморегулятора ТРМ202, уместно привести его функции и основные технические характеристики:

- измерение температуры и других физических величин (давления, влажности, расхода и т.п.) в двух различных точках с помощью стандартных датчиков;
- независимое регулирование двух измеряемых величин по двухпозиционному закону;
- регулирование одной измеряемой величины по трёхпозиционному закону;
- вычисление и регулирование разности двух измеряемых величин ($\Delta T = T_1 - T_2$);

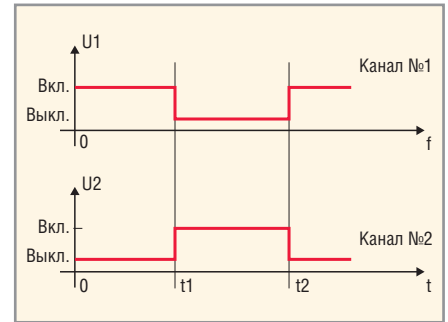


Рис. 2. Алгоритм работы системы

- вычисление квадратного корня из измеряемой величины при работе с датчиками, имеющими унифицированный выходной сигнал тока или напряжения;
- диагностика обрывов линии подключения входных сигналов;
- сохранение параметров регулятора в энергонезависимой памяти при отключении напряжения питания;
- защита установок от несанкционированного воздействия путём ввода пароля;
- передача измеренных значений, а также значений параметров, характеризующих работу прибора, на



4. Лицевая панель терморегулятора ТРМ202

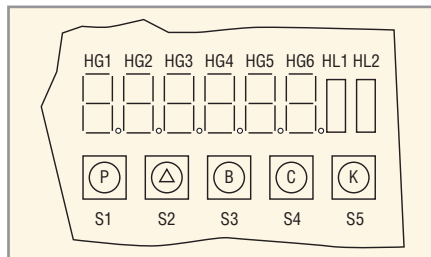


Рис. 5. Интерфейс управления платы контроллера

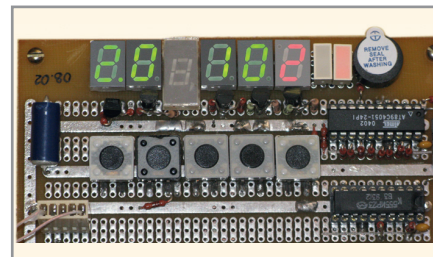


Рис. 6. Интерфейсная часть платы контроллера

внешние устройства управления и/или сбора данных по интерфейсу RS-485;

- дистанционное управление прибором.

Основные технические характеристики терморегулятора ТРМ202 приведены в таблице. Регулятор зарегистрирован в Госреестре средств измерений. Прибор имеет много различных настроек, однако их программирование не вызывает сложностей.

Рассмотрим основные часовые функции платы контроллера. В таймере предусмотрены следующие функции: счёт реального времени, индикация текущего времени в 24-часовом формате в режимах часы–минуты и минуты–секунды; установка текущего времени; установка времени включения времени $t1$ и времени включения времени $t2$, установка задержки $\Delta t1$ включения вентилятора. Все вышеуказанные параметры могут быть перепрограммированы. Если текущее время совпало с установленными значениями $t1$ и $t2$, то на 10 с включается звуковая сигнализация с частотой повторения 1 Гц.

Интерфейс управления системой состоит из лицевой панели терморегулятора и органов управления платы контроллера. Интерфейс платы контроллера (см. рис. 5) включает в себя клавиатуру (кнопки S1 – S5), световые полосы HL1 – HL2 и блок индикации (дисплей) из шести цифровых семисегментных индикаторов HG1 – HG6.

Кнопки клавиатуры имеют следующее назначение:

- S1 (P) – выбор режима работы часов: «часы 1», «часы 2», «время 1», «время 2», «задержка», «контроль задержки»;
- S2 (Δ) – увеличение на единицу значения каждого разряда при установке времени в режиме «часы 2», а также при установке времени в режиме «время 1», «время 2», «задержка», «контроль задержки»;

- S3 (B) – выбор разряда при установке текущего значения времени в режиме «часы 2» и в режимах «время 1»,

«время 2», «задержка», «контроль задержки». В выбранном разряде включается точка h;

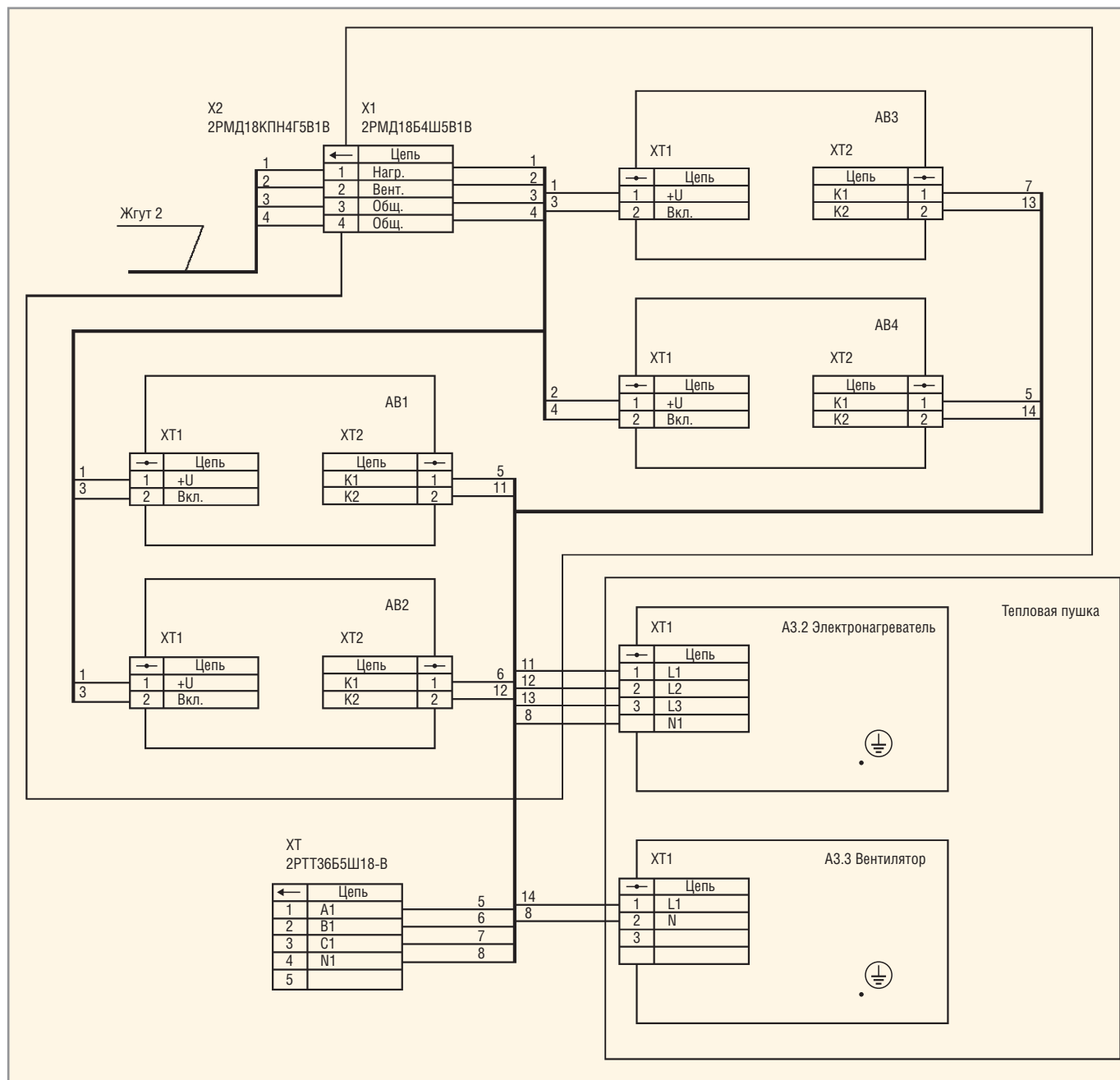


Рис. 7. Принципиальная схема нагревателя

- S4 (C) – кнопка пуск/стоп. Данной кнопкой разрешается/запрещается счёт времени;
 - S5 (K) – кнопка выбора каналов температуры (№ 1 или № 2) терморегулятора А1 к микроконтроллеру DD2 при текущем времени. Если выбран канал температуры № 1, включена световая полоса HL1 и к микроконтроллеру DD2 подключен выход № 1 терморегулятора; если выбран канал температуры № 2, включена световая полоса HL2 и, соответственно, к микроконтроллеру DD2 подключен выход № 2 терморегулятора.
- Например, в режиме «часы 2» при первом нажатии на кнопку S3 для установки нужного значения выбирается разряд единицы минут (точка h вклю-

чена у индикатора HG5). Значение разряда устанавливается кнопкой S2. При следующем нажатии на кнопку S3 выбирается разряд «десятки минут» (индикатор HG4) и т.д. После установки значения разряда «десятки часов» (индикатор HG2) при нажатии на S4 разрешается счёт времени.

Разряды индикации интерфейса платы контроллера имеют следующее назначение (справа налево по рисунку 5):

- 1-й разряд (индикатор HG6) отображает «1» в режиме «часы 1», «2» в режиме «часы 2», «3» в режиме «время 1», «4» в режиме «время 2», «5» в режиме «задержка», «6» в режиме «контроль задержки»;
- 2-й разряд (индикатор HG5) отображает единицы минут в режимах «ча-

сы 2», «время 1», «время 2», единицы секунд в режимах «часы 1», «задержка», «контроль задержки»;

- 3-й разряд (индикатор HG4) отображает десятки минут в режимах «часы 2», «время 1», «время 2», десятки секунд в режимах «часы 1», «задержка» и «контроль задержки»;
- 4-й разряд (индикатор HG3) отображает сегмент g с периодом включения 1 с во всех режимах;
- 5-й разряд (индикатор HG2) отображает единицы часов в режимах «часы 2» и «время 1», «время 2», в режиме «часы 1» отображает единицы минут;
- 6-й разряд (индикатор HG1) отображает десятки часов в режимах «часы 2» и «время 1», «время 2», в режиме «часы 1» отображает десятки минут.

Сразу после подачи питания устройство переходит в режим работы «часы 1», отсчёт текущего времени запрещается. Отсчёт текущего времени разрешается только после нажатия на кнопку S4 (C). При совпадении текущего времени с установленными «время 1», «время 2», на 10 с включается прерывистая звуковая сигнализация ВА1.

Алгоритм работы системы обогрева следующий. После подачи питания, как уже упоминалось, следует задать в терморегуляторе А1 значения уставок для каналов № 1 и № 2; на плате контроллера – значение времени t_1 ; значение времени t_2 и значение времени задержки Δt_1 .

Допустим, что для канала № 1 терморегулятора задана уставка T_1 (дневная температура). Для канала № 2 терморегулятора задана, соответственно, уставка T_2 (ночная температура). Предположим, что система включается в дневное время и текущая температура меньше T_1 . После нажатия на кнопку S4 сигнал лог. 0 с вывода 5 клеммной колодки ХТ1 терморегулятора поступает через жгут 1 и контакт 1 соединителя Х2, через замкнутые контакты 1, 7 реле DA1, на вывод 9 микроконтроллера DD2 (на выводе 11 микроконтроллера присутствует лог. 1). При этом микроконтроллер DD2 выставляет лог. 0 на выходы 2, 3. Включаются соответственно реле DA2 и DA3. В данных реле через замкнутые контакты 7, 4 напряжение +24 В поступает через соединитель Х3 и жгут 2 на соединитель Х1 нагревателя. В тепловой пушке одновременно включатся электронагреватель и вентилятор.

Как только текущая температура достигнет уставки, выходная оптопара канала № 1 терморегулятора закрывается. Сигнал лог. 1 с вывода 5-клеммной колодки ХТ1 терморегулятора поступает на вход 9 микроконтроллера DD2. При этом микроконтроллер выставляет лог. 1 на вывод 2 и через время, равное Δt_1 , сигнал лог. 1 на вывод 3, тем самым выключая сначала в тепловой пушке электронагреватель и через время, равное Δt_1 , вентилятор. Подобные циклы включения и выключения тепловой пушки будут поддерживать температуру в помещении, равную уставке T_1 .

Пусть текущее время стало равным значению t_1 (начало ночного интервала времени). Тогда микроконтроллер DD2 устанавливает лог. 0 на выводе 11, включая реле DA1. В данном реле замыкаются контакты 7, 14. Теперь

Основные технические характеристики терморегулятора ТРМ202

Входы	
Количество каналов	2
Время опроса входов, не более	1 с
Тип датчиков	Термопары (по ГОСТ Р 8.585-2001) или ТПС (по ГОСТ Р 6651-94)
Входные сигналы	4...20 мА
	0...20 мА
	0...5 мА
	0...1 В
	-50...+50 мВ
Предел основной допускаемой приведённой погрешности при измерении ТПС термопарой унифицированных сигналов тока и напряжения	0,25% 0,5% 0,5%
Выходные устройства (ток нагрузки/напряжение)	
Транзисторная оптопара	200 мА/40 В пост. тока
Симисторная оптопара	0,5 А/240 В
Электромагнитное реле	8 А/220 В, 50 Гц
Интерфейс связи	
Тип интерфейса	RS-485
Длина линии связи, не более	1000 м
Тип линии связи	Экранированная витая пара
Скорость передачи, Кбит/с	2,4; 4,8; 9,6; 14,4; 19,6; 28,8; 38,4; 57,6; 115,2
Питание	
Напряжение питания прибора	90...220 В
Потребляемая мощность, не более	6 ВА
Частота	47...63 Гц

на вывод 9 микроконтроллера DD1 поступает сигнал с вывода 8-клеммной колодки ХТ1 терморегулятора, т.е. подключается канал № 2 терморегулятора, и тепловая пушка будет поддерживать температуру в помещении, равную уставке T_2 .

Пусть текущее время стало равным значению t_2 (конец ночного интервала

времени). Тогда микроконтроллер DD1 устанавливает лог. 1 на выводе 11, отключая реле DA1. Снова замыкаются контакты 1, 7 реле DA1. Теперь тепловая пушка будет поддерживать температуру в помещении, равную уставке T_1 .

Рассмотрим основные узлы принципиальной схемы системы (см. рис. 3). Основой устройства служит микро-

контроллер DD2, рабочая частота которого задаётся генератором с внешним резонатором ZQ1 (10 МГц). Пьезоэлектрический излучатель BA1 включается с вывода 15 регистра DD1. Сигнал с выхода 13 микроконтроллера через резистор R16 периодически (с периодом 1 с) включает сегмент g индикатора HG3.

Клавиатура собрана на кнопках S1 – S5, для её функционирования задействован вывод 8 микроконтроллера DD2. Резисторы R17, R18 – токоограничительные, для световых полос HL1 и HL2. Выходные сигналы с каналов № 1 и № 2 терморегулятора A1 подключаются к выводу 9 микроконтроллера DD2 через контакты реле DA1. Само реле управляется с вывода 11 микроконтроллера DD2. Каналы управления нагревателем и вентилятором собраны соответственно на реле DA2 и DA3, которые управляются с выводов 2 и 3 микроконтроллера DD2. Динамическая индикация реализована на регистре DD1, транзисторах VT1 – VT5 и цифровых семисегментных индикаторах HG1 – HG2, HG4 – HG6.

Коды для включения вышеуказанных индикаторов при функционировании динамической индикации поступают на вход P1 микроконтроллера DD2. Как видно из схемы рис. 3, аппаратные возможности микроконтроллера DD1 исчерпаны полностью.

Цифровая часть принципиальной схемы устройства гальванически развязана и от сети, и от напряжения управления нагревателем и вентилятором +24 В.

Программное обеспечение микроконтроллера (см. дополнительные материалы к журналу на интернет-странице www.soel.ru) полностью обеспечивает реализацию алгоритма работы электронных часов. Основная задача «часовой» части программы – формирование точных временных интервалов длительностью 1 с – решена с помощью прерываний от таймера TF0 и счётчиков на регистрах R4 и R5. Таймер TF0 формирует запрос на прерывание чрез каждые 80 мкс. Счётчики на данных регистрах подсчитывают количество прерываний, и, как только количество прерываний станет равно определённому числу, устанавливается флаг, по которому в основной программе инкрементируется ячейка памяти микроконтроллера, где хранятся единицы секунд.

Питающее напряжение поступает на плату контроллера с соединителя X1. Конденсатор C1 фильтрует пульсации в цепи питания +5 В. Сразу после подачи питания на выводе 1 микроконтроллера DD1 через R2C4 формируется сигнал системного аппаратного сброса. Затем происходит инициализация программы, в которой задаются параметры работы динамической индикации. Далее идёт счёт текущего времени и разрешается работа устройства по описанному выше алгоритму.

Каждый байт из функциональной группы буфера отображения в подпрограмме обработки прерывания таймера TF0 выводится в порт P1 микроконтроллера DD1. Номер группы или режим работы записан в регистре R2. В процессе обработки подпрограммы прерывания происходит опрос клавиатуры. Нажатием кнопки S1 инкрементируется регистр R2, и тем самым задаётся один из шести режимов работ (см. выше). При нажатии на кнопку S2 устанавливается флаг, разрешающий инкрементировать разряд, выбранный кнопкой S3.

Программа микроконтроллера разработана в среде μ Vision2 и состоит из трёх основных частей: процедуры инициализации, основной программы, работающей в замкнутом цикле, и подпрограммы обработки прерывания от таймера TF0.

В основной программе происходит счёт текущего времени, установка текущего времени и значений $t1$, $t2$, Δt , сравнение текущего времени с временем $t1$ и $t2$, включение звукового сигнала и преобразование двоичного числа значений.

В памяти данных микроконтроллера с адреса 30H по 4DH организован буфер отображения для динамической индикации. По своему функциональному назначению адресное пространство данного буфера можно условно разбить на шесть функциональных групп:

- 30H – 34H – адреса, где хранится текущее время в минутах и секундах. Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «часы 1»;
- 35H – 39H – адреса, где хранится текущее время в часах и минутах. Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «часы 2»;
- 3AH – 3EH – адреса, где хранится время $t1$. Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «время 1»;

- 3FH – 43H – адреса, где хранится время $t2$. Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «время 2»;
- 44H – 48H – адреса, где хранится заданное значение времени $\Delta t1$. Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «задержка»;
- 49H – 4DH – адреса, где хранится текущее значение времени $\Delta t1$. Эти адреса выводятся на индикацию в режиме «контроль задержки».

Данные адреса загружаются в регистр R0 микроконтроллера. Точнее, в каждом режиме в регистр R0 записываются адреса определённой функциональной группы (метки ТЕМ00, ТЕМ01, ТЕМ02, ТЕМ03, ТЕМ04, ТЕМ05). Каждый байт из функциональной группы в цикле, в подпрограмме обработки прерывания таймера TF0 (метка OT), после перекодировки выводится в порт P1 микроконтроллера. Для включения индикаторов HG1, HG2, HG4 – HG6 необходимо установить лог. 0 на выводах 2, 5, 6, 9, 12 регистра DD1 соответственно. Так, например, чтобы в режиме «часы 1» на индикаторе HG6 индцировалась «1», необходимо двоично-десятичное число, расположенное по адресу 30H, перекодировать, вывести в порт P1 микроконтроллера и записать лог. 0 в пятый разряд регистра DD1 (вывод 12).

Записывая поочерёдно после перекодировки, в цикле, в порт P1 микроконтроллера байты из функциональной группы буфера отображения и лог. 0 на соответствующий вывод регистра DD1, мы получаем режим динамической индикации. Понятно, что каждый разряд индикатора устройства привязан к определённому адресу в функциональной группе. Так, например, значение числа или символа, отображаемого на индикаторе HG6, находится в первом адресе функциональной группы (для режима «часы 1» это 30H, а для режима «часы 2» – 35H).

На регистре R1 реализован счётчик разрядов. При инициализации в R0 загружается адрес 30H (режим «часы 1»), а в R1 – число 1. В памяти данных в ячейке с адресом 20H находится байт, который управляет разрядами динамической индикации и внешними устройствами: пьезоэлектрическим излучателем BA1 и световыми полосами HL1 и HL2. Данный байт записывается в регистр DD1 сразу после записи перекодированного байта из функциональной группы в порт P1 микро-

контроллера DD2 и представляет собой код «бегущий ноль» для включения знакомест (разрядов) динамической индикации. Цикл динамической индикации составляет 3,328 мс. В данном цикле регистры R0 и R1 инкрементируется.

В подпрограмме обработки прерывания от таймера TF0 происходит обращение к процедурам динамической индикации. Сразу после подачи питания при инициализации во все разряды порта P3 микроконтроллера DD2 записываются лог. 1. Разработанная программа на ассемблере занимает порядка 1,3 Кб памяти программ.

В устройстве использованы резисторы С2-33Н-0,125 Вт, но подойдут любые другие с такой же мощностью рассеивания и погрешностью 5%. Конденсаторы С1, С4 – К50-35. Конденсаторы С2, С3 типа К10-17-Н90-0,1 мкФ.

В дисплее устройства целесообразно выделить разряд, индицирующий режим его работы (индикатор НГ6) на фоне остальных разрядов интерфейса. Поэтому для данного разряда выбран

семисегментный индикатор красного цвета HDSP-F001 (подойдет HDSP-F151); индикаторы НГ, НГ2, НГ4, НГ5 – зелёного цвета, типа HDSP-F501. Подойдут любые другие индикаторы с общим анодом и приемлемой яркостью свечения. Индикатор НГ4 типа АЛС324Б. В индикаторе НГ4 для формирования знака «←» используется только сегмент g. Можно применить индикаторы типа HDSP-F507 или HDSP-F157. Световые полосы НЛ1, НЛ2 типа КВ-2300EW – красного цвета. Можно подобрать любые другие или заменить их светодиодами. На плате контроллера установлены соединители WF-4 (вилки). Ответные части – НУ-4 (розетки).

Пьезоэлектрический излучатель ВА1 НРМ14АХ можно заменить на НРА17АХ или НРА14АХ. Терморегулятор А1 типа ТРМ202-Щ2.КК (выходное устройство – оптопара транзисторная, структуры n-p-n-типа), термопреобразователи сопротивления (датчики температуры) типа ДТС125-РТ100.В2.60. Более подробную информацию о терморегуляторе и датчиках температуры можно найти в [3].

В тепловой пушке применён электронагреватель А3.2 типа LHS PREMIUM 60L, 5 кВт, 380 В, вентилятор А3.3 типа АСО 550 Вт, 220 В, с конденсатором. Технические характеристики электронагревателя и вентилятора можно найти в [4]. В симисторном блоке А3.1 применены приборы типа БС-440-63/40-Н. Технические характеристики симисторов можно найти в [5].

Уместно напомнить, что при подключении нагревателя к системе необходимо соблюдать требования электробезопасности. На плате контроллера нет никаких настроек и регулировок, и если монтаж выполнен правильно, то она начинает работать сразу после подачи напряжения питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бродин В.Б., Шагурин И.И. Микроконтроллеры. Архитектура, программирование, интерфейс. ЭКОМ, 1999.
2. <http://www.tme.pl>.
3. <http://www.owen.ru>.
4. <http://www.olmax.ru>.
5. <http://www.contravt.ru>.

