

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Промышленная электроника

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Интеллектуальные энергетические системы

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему: Четырехканальный термометр с микроконтроллерным управлением

Студент

Н.А. Герасимов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.К. Кудинов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Название дипломной работы: “Четырехканальный термометр с микроконтроллерным управлением”.

Данная дипломная работа состоит из пояснительной записки на 54 стр, введения на 1стр, включая 20 рисунков, 9 таблиц, списка 26 источников, в том числе 5 источников на иностранном языке и чертежей на 6 листах формата А1.

Все четыре части направлены на повышение эффективности процесса измерения температуры.

В этой работе изучаются отношения между аналоговыми и цифровыми датчиками температуры.

В работе затрагиваются следующие вопросы: анализ датчиков температуры; выбор элементной базы термометра; разработка его функциональной и принципиальной электрических схем.

Цель работы – сообщить сведения о возможности четырехканального измерения температуры.

Объектом дипломной работы является цифровое измерение температуры.

Дипломная работа может быть разделена на следующие логически взаимосвязанные части: анализ существующих датчиков температуры с аналоговым и цифровым выходами; выбор элементной базы цифрового термометра; разработка его функциональной и принципиальной электрических схем .

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная дипломная работа актуальна не только в задачах контроля и регистрации температуры, но и для измерения различных статических и динамических параметров цифровых микросхем, выражаемых через температуру.

ABSTRACT

The title of the graduation work is: “Four-channel thermometer with micro-controller control”.

The graduation work consists of an explanatory note on 54 pages, an introduction on 1 page, including 20 figures, 9 tables, a list of 26 sources, including 5 sources in a foreign language and drawings on 6 sheets of A1 format.

All four parts look toward improving the effectiveness of temperature measurement process.

This study examines the relation between analog and digital temperature sensors.

The work touches upon: analysis of temperature sensors; selection of the element base of the thermometer; development of its functional and schematic electrical diagrams.

The aim of the work is to give some information about four-channel temperature measurement capabilities.

The object of the graduation work is digital temperature measurement.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: analysis of existing temperature sensors with analog and digital outputs; selection of the element base of a digital thermometer; development of its functional and schematic electrical diagrams.

In conclusion we'd like to stress The graduation work is relevant not only in the tasks of temperature control and registration, but also for measuring various static and dynamic parameters of digital chips expressed in terms of temperature.

Содержание

Введение.....	5
1. Датчики температуры.....	6
1.1. Датчики температуры с аналоговым выходом.....	7
1.2. Датчики температуры с цифровым выходом.....	22
2. Выбор элементной базы цифрового термометра.....	28
2.1. Последовательная шина обмена данными I ² C.....	28
2.2. Жидкокристаллический индикатор.....	30
2.3. Системный микроконтроллер.....	35
2.4. Однокристалльная система сбора данных AduC812.....	39
3. Функциональная схема цифрового термометра.....	44
4. Принципиальная электрическая схема цифрового термометра.....	48
Заключение.....	51
Список используемой литературы.....	52

Введение

Активное становление средств электронной техники стало основой автоматизации различных процессов в науке, промышленности и в быту. При этом автоматизация в основном зависит от возможностей средств получения первичной информации (датчиков) об управляемом параметре или же всего процесса в целом.

В разработанном нами четырехканальном термометре с микроконтроллерным управлением (цифровом термометре) использованы как цифровые, так и аналоговые датчики (ДТ).

Сигнал аналогового датчика, при помощи управляющего микроконтроллера со встроенным АЦП, преобразуется в цифровой.

В настоящей действительности одновременно с созданием датчиков с цифровым выходом, отмечается стремление к объединению ДТ с микропроцессорными средствами приведено в работах [1]-[4]. С целью контроля и управления температурой в физических, химических и биологических процессах применяются различные ДТ, причем в основном цифровые.

Например, в пищевом производстве для повышения качества продуктов требуется контроль и управление температурой и временными процессами их производства.

В тоже время для инженерно-технического персонала, связанного с работой в автомобилестроении, интересна температура в двигателях внутреннего сгорания и дизельных двигателях.

Точные измерения значений температуры востребовано и в альтернативных источниках электроэнергии (солнечные батареи, ветряные средства и так далее) для обеспечения оптимальных режимов работы. Вместе с тем не следует забывать, что контроль и регулирование температуры в значительной

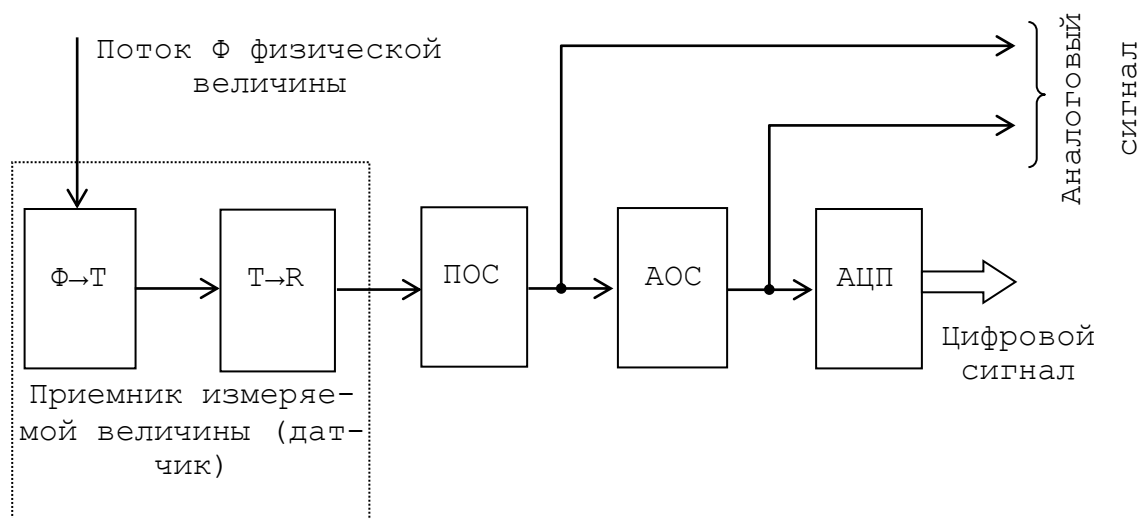
степени обеспечивает экономию в расходовании тепловой и электроэнергии в производстве и быту.

1. Датчики температуры

Используемые наименования и определения для разных датчиков (ДТ) четко отображены в Инструкции 2600 Общества немецких инженеров и электриков Германии (VDI/VDE- Richtlinie 2600).

Стандартная система контроля и управления состоянием какой-либо физической величиной приводится на рисунке 1.

Здесь датчик входит в состав измерительной системы, которая с точки зрения структуры идентична системе управления, за исключением того, что исполнительные устройства отсутствуют, т.к. нет воздействия управляющих сигналов ЭВМ на управляемый процесс [5].



Φ→Т – первичный преобразователь (ПП)

Т→R – вторичный преобразователь

ПОС – первичная обработка сигнала

АОС – аналоговая обработка сигнала (компенсация, линеаризация и пр.)

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

Рисунок 1- Система контроля и управления физической величиной

Сложности технического воплощения интерфейсов, которые возникают у разработчиков, состоят в том, что ДТ обладают разнородными выходными сигналами, которые в общем случае подразделяются на аналоговые и цифровые, а технология их производства определяется методами изготовления полупроводниковых интегральных микросхем (ИМС), что обеспечивает существенное удешевление цены ДТ, повышение их надежности и воспроизводство.

1.1. Датчики температуры с аналоговым выходом

При применении ДТ, определение температуры основывается в основном на использовании зависимости электрического сопротивления от температуры.

От того, повышается или уменьшается сопротивление ДТ, выделяют полупроводниковые ДТ с положительным или отрицательным температурным коэффициентом (ТКС).

Металлические (никель, платина и их сплавы) ДТ имеют положительные ТКС. При создании ДТ на основе термопар используются законы термоэлектричества, справедливость которых установлена опытным путем.

Следует знать, что формируемая термо э.д.с и температура взаимосвязаны небольшой нелинейной зависимостью [1]-[4].

Сопротивление проводников из металлов, повышается с ростом температуры. При этом вариации сопротивления от значения температуры математически выражается как [2],[16]:

$$R_t = R_0 [1 + a(T_1 - T_0) + b(T_1 - T_0)^2 + \dots], \text{ где}$$

R_0 - сопротивление при 0°C (то есть при 273 К),

R_t - сопротивление при температуре T_1 ,

a, b - температурные коэффициенты.

Сопротивление проводников из металлов достаточно хорошо описывается уравнением: $R_t = R_0[1 + a(T_1 - T_0)]$, где

a - ТКС, который для платины равен 0,0039 1/К, а никеля -- 0,00539 1/К.

Сопротивление ДТ при 0°C как правило берется равным 100 Ом и подобные резисторы обозначаются как Pt-100 или Ni-100.

Используются также стандартно изготавливаемые сопротивления на значения в 500 Ом и 1 кОм. Допускаемые вариации данных этих значений в пересчете на градусы по шкале Цельсия, имеют значения для классов

- А: $(0,15 \pm 0,002 \text{ T})^\circ\text{C}$,

- В: $(0,3 \pm 0,005 \text{ T})^\circ\text{C}$.

Наиболее дешевые металлические ДТ производятся в тонкопленочном варианте и содержат тонкую (не более 0,6 мм) керамическую подложку, на которую наносится слой металла толщиной в пределах 1,5 мкм.

Далее в слое металла с помощью лазера формируется рисунок в виде меандра, а после посредством термокомпрессионной сварки производят контактирующие отводы.

С целью защиты металлического слоя от сторонних воздействий его покрывают керамическим слоем толщиной в 15 мкм.

В [3] приведены характеристики при разных температурах трех датчиков фирмы Degussa- Hanau, изготовленных указанным способом.

Термопары (ТП) предназначены для измерения в диапазоне температур от 0 до 2300°C и изготавливаются посредством соединения двух разнородных проводов, к примеру, меди и медно-никелевого сплава.

Две такие ТП создают полноценный ДТ. В случае расположения одного из спаев, к примеру, в холодную воду, а второй в объекте измерения, то между спаями сформируется термо э.д.с, равная $(8 \div 80) \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$.

С целью обеспечения высокоточного измерения такой э.д.с используются специальные усилительные устройства.

Следует отметить, что в последнее время получили распространение интегральные микросхемы (ИМС) для измерения температуры посредством ТП без опорной точки при 0°C .

Рисунок 2 иллюстрирует ИМС AD594 фирмы Analog Device для ТП из соединения константан-железо.

Преобразователь сигнала ТП AD594 осуществляет линейризацию термо э.д.с ДТ в динамическом диапазоне измерений $(0\div 300)^{\circ}\text{C}$.

Возникающие погрешности, объясняются изменением собственной температурой ИМС, представлены рисунком 2,б и достигают $0,6^{\circ}\text{C}$.

Однако при этом результирующая погрешность вызывает вариацию измеренной температуры в несколько процентов, то есть он предназначен только для простых устройств управления.

Поэтому для высокоточных измерений требуются значительно более сложные схемы.

С целью высокоточных измерений посредством кремниевых датчиков (КД) их квадратичную амплитудную характеристику следует линейризовать.

Обычно она обеспечивается подключением независящего от температуры сопротивления R_k параллельно КД при электропитании схемы постоянным напряжением.

В случае же электропитании переменным напряжением, сопротивление R_k подключается последовательно с датчиком R_t (рисунок 3,а).

На рисунке 2,б приводится схема формирования измерительного сигнала для КД типа КТУ81.

ДТ располагается в плече измерительного моста (ИЗМ), содержащего резисторы ($R_5\div R_9$), а резистор R_5 используется для линейризации самого КД (R_6). ИЗМ потребляет напряжение равное $2,7\text{В}$, которое создается посредством стабилитрона ВЗХ. Чувствительность ИЗМ равна $4\text{мВ}/^{\circ}\text{C}$ и возрастает до $50\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ на его выходе, поэтому в динамическом диапазоне измерений температур $(0\div 100)^{\circ}\text{C}$ формируется аналоговый сигнал $(0\div 5\text{В})$.

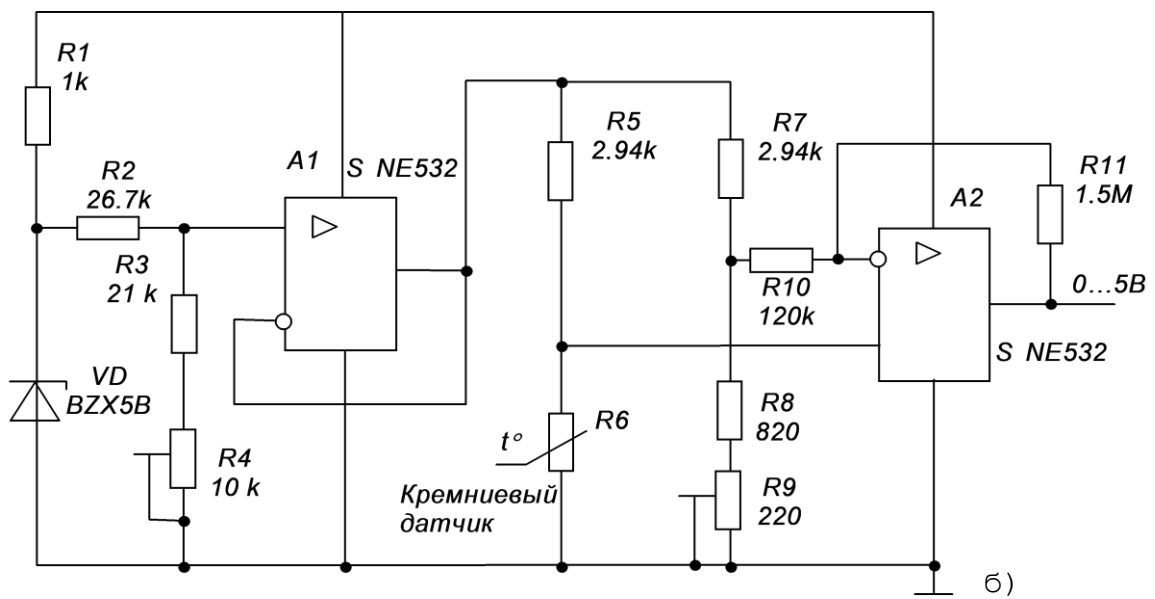
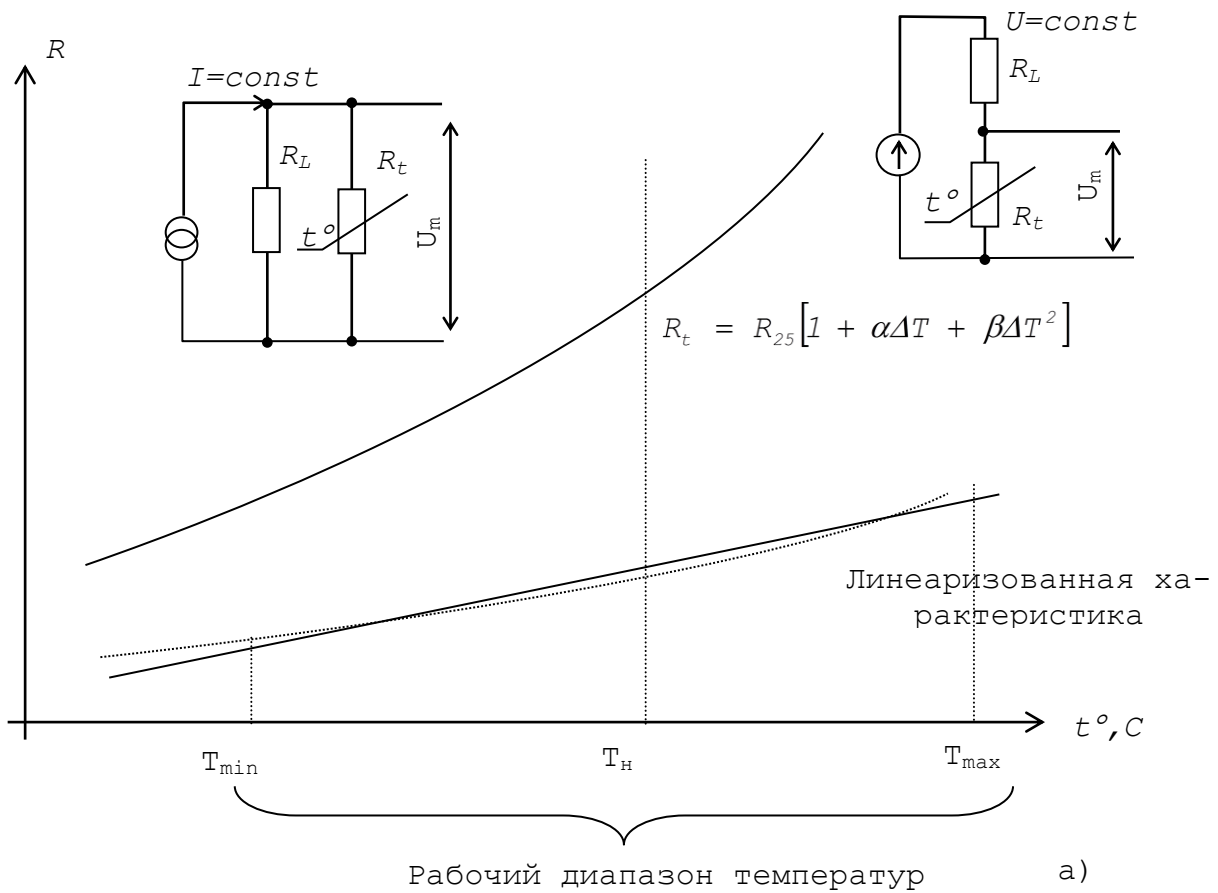


Рисунок 2 - Схема формирования измерительного сигнала для КД типа КТУ81.

Измерительная схема рисунок 3 служит частотно-импульсным аналогом схемы рисунок 2,б, в которой длительность импульсов напряжения на выходе определяется температурой. Амплитудная характеристика схемы подвергается линейризации в диапазоне температур $(-28 \div +99)^\circ\text{C}$ посредством резисторов R1 и R2, которые включаются последовательно с КД.

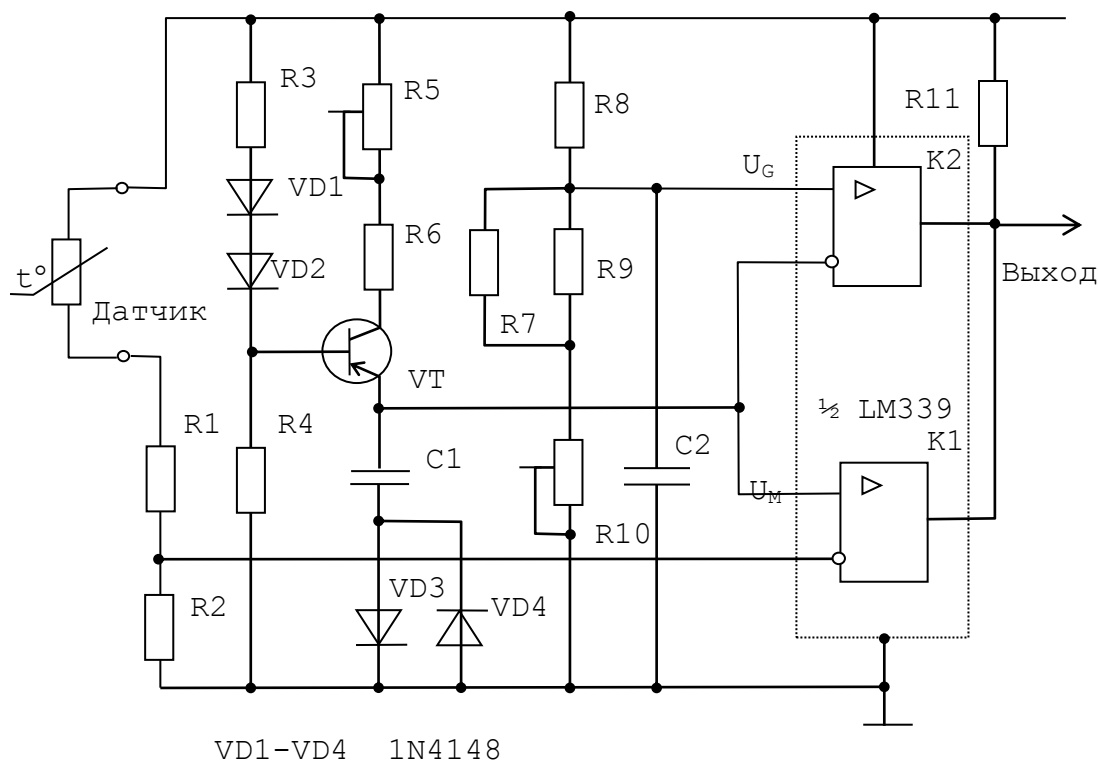


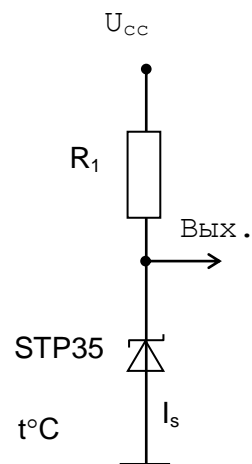
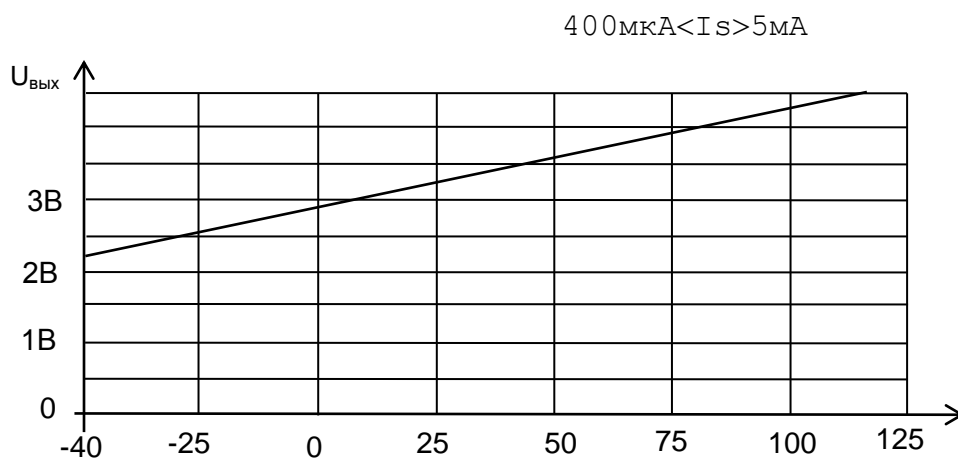
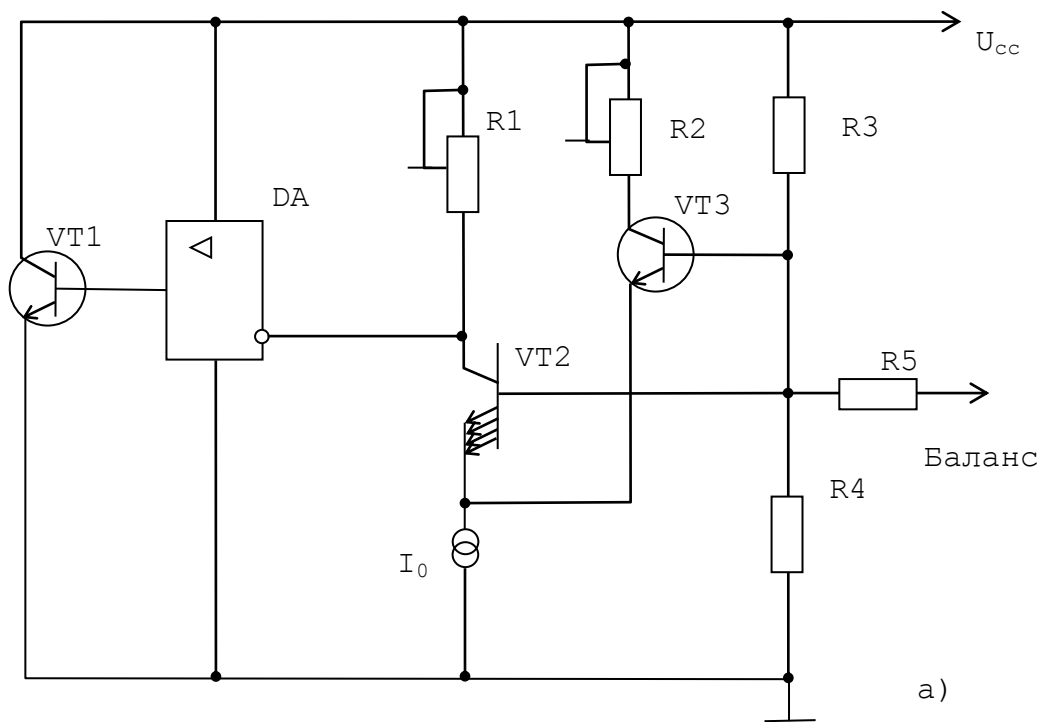
Рисунок 3 - Измерительная схема с импульсным выходом

На рисунке 4,а проиллюстрирована схема внутренних соединений КД, изготовленного по биполярной технологии.

В этом вариант измеряемой величиной служит напряжение $U_{бэ}$ кремниевого транзистора, а сама измерительные схема с КД этой разновидности выполняется просто (см. рисунок 4,б).

Посредством дополнительного сопротивления R1 выставляется максимальный ток, с целью предотвращения саморазогрев КД.

Рабочее напряжение не требует стабилизации и находится в диапазоне $(6 \div 24)$ В при чувствительность КД в $10\text{мВ}/^\circ\text{C}$.



б)

Рисунок 4 - Кремниевый датчик температуры STP35

ДТ могут быть различных классов точности, что определяется значением не скомпенсированной погрешности при измерении температуры, а наилучший выбор сопротивления R1 устанавливается диапазоном измерения температуры $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ и значением сопротивления нагрузки.

В качестве другого примера можно привести датчик LM3911, выпускаемый фирмой National Semiconductor, метод работы которого подобен STP35 и имеет выходное напряжение, прямо отображающее абсолютную температуру по шкале Кельвина при чувствительности в 10 мкВ/К.

Внутренняя структура датчика показана на рисунке 5.

Типовые схемы включения - на рисунке 6. В случае включения датчика по рисунку 6, его применяют в качестве термометра с градуировкой по шкале Цельсия.

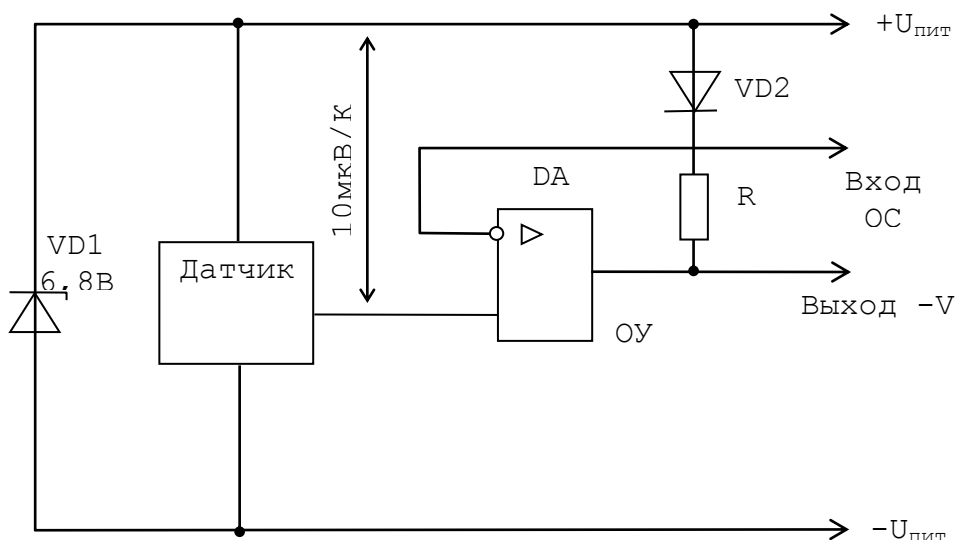
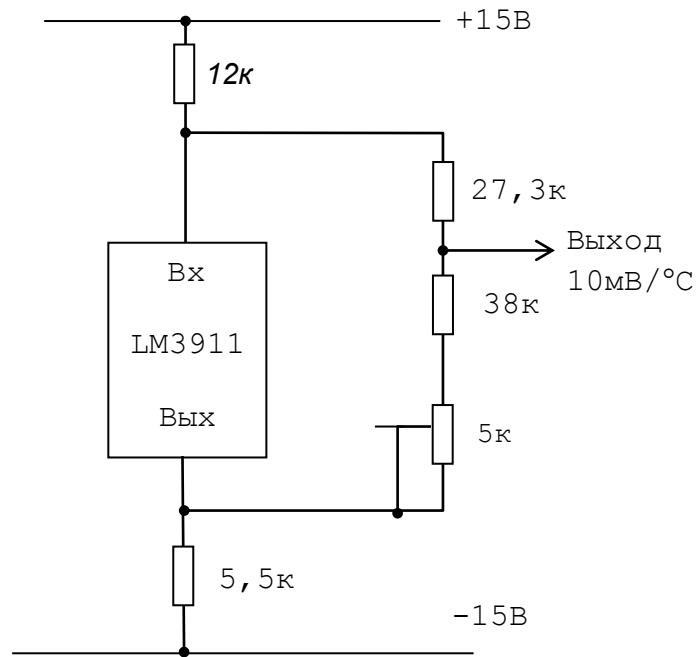


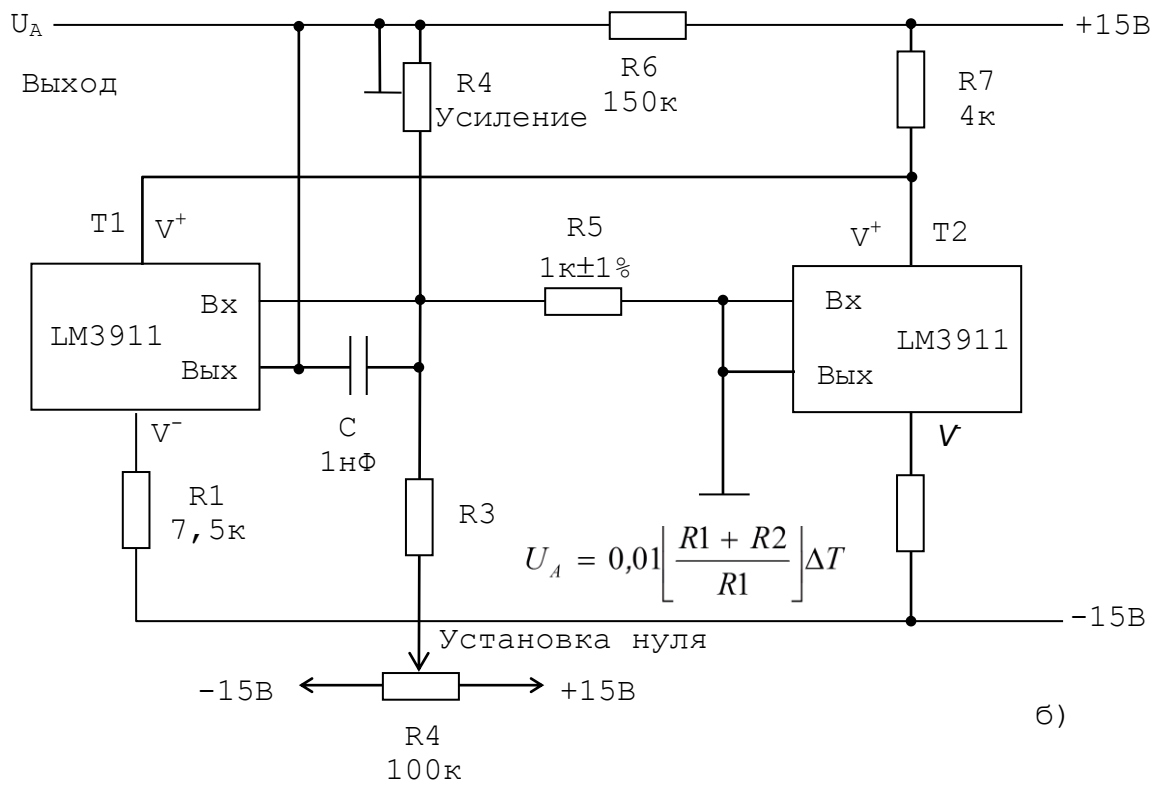
Рисунок 5 - Температурный контроллер LM3911 National Semiconductor

Переменным резистором значением в 5кОм напряжение на выходе калибруется в градусах шкалы Цельсия при чувствительности не менее 10 мВ/°С.

Несложный дифференциальный термометр на базе двух LM3911 приводится на рисунке 6,б.



а)



б)

Рисунок 6 - Измерение температуры (а) и разности температур (б) контроллером LM3911

Посредством данной схемы определяется разность температур между точками T1 и T2.

При $T1 = T2$ потенциометром в 100 кОм напряжение U_a выбирается равным нулю, а калибровка чувствительности – посредством вариации отношения $(R1+R2)/R1$ с использованием резистора R1.

Обзор Интернет-сайтов ведущих российских дистрибьюторов радиоэлектронных компонентов (www.promelec.ru, www.platan.ru, www.atomz.com, www.chipdip.ru и др.) показали, что на рынке РФ существует огромное количество монолитных датчиков температуры с аналоговым выходом.

Эти устройства отличаются ценой, конструктивным исполнением, диапазоном измеряемых температур, погрешностью преобразования, дополнительными функциональными возможностями.

В таблице 1 в качестве примера приведены основные параметры датчиков температуры с аналоговым выходом фирмы Analog Devices.

Таблица 1 - Температурные датчики общего назначения с аналоговым выходом

Микро-схема	Выход	Макс. погрешность	Температурный диапазон	Напряжение питания	Потребляемый ток	Примечание
AD590	+1μA/°K	±0.5°C	- 55°C...+150°C	+4В...+30В	300μA	двухвыводной температурный датчик
AD592	+1μA/°C	±0.5°C	- 25°C...+105°C	+4В...+30В	300μA	недорогой прецизионный температурный датчик
TMP17	+1μA/°C	±2.5°C	- 40°C...+105°C	+4В...+30В	300μA	недорогой с токовым выходом
AD22100	+22.5мВ/°C	±2.0°C	- 50°C...+150°C	+4В...+6В	650μA	пропорциональный датчик

Продолжение таблицы 1

AD22103	+28мВ/° С	±2.0°С	0°С...+100°С	+2.7В...+3.6 В	600μА	пропорциональ- ный датчик
TMP35	+10мВ/° С	±2.0°С	+10°С...+125° °С	+2.7В...+5.5 В	50μА	ток в режиме Shutdown 0.5 мкА
TMP36	+10мВ/° С	±2.0°С	40°С...+125° С	+2.7В...+5.5 В	50μА	ток в режиме Shutdown 0.5 мкА
TMP37	+20мВ/° С	±2.0°С	+5°С...+100° С	+2.7В...+5.5 В	50μА	ток в режиме Shutdown 0.5 мкА
TMP01	+5 мВ/°С	±1.5°С	55°С...+125° С	+4.5В...+13. 2В	500μА	Два порога и ги- стерезис про- граммируемые резисторами

Проведенный обзор температурных датчиков показал следующее:

- наиболее подходящими датчиками температуры являются монолитные (в интегральном исполнении) датчики, использующие температурную зависимость напряжения смещения р-п переходов полупроводниковых элементов;

- подавляющее большинство датчиков температуры с аналоговым выходом ориентированы на работу с АЦП (входной сигнал- напряжение), не смотря на ряд преимуществ токового и частотного выходов;

- наиболее дешевые датчики температуры имеют относительно большую нелинейность и температурную нестабильность выходной характеристики. При увеличении стоимости датчика на 10...15% указанные проблемы решены в заданном диапазоне температур;

- практически все датчики обладают температурной зависимостью своего выходного напряжения (выражается в градусах Кельвина ($0^{\circ}\text{C}=273^{\circ}\text{K}$). Это приводит к тому, что выходная характеристика датчиков смещена относительно нулевой отметки и не может напрямую использоваться для цифрового измерения температуры;

- дополнительная калибровка датчиков на одной ($+25^{\circ}\text{C}$) или двух точках существенно повышает точность измерения температуры.

Микросхемы TMP35\36\37 представляют собой низковольтные температурные датчики (сенсоры) с прямо пропорциональной зависимостью своего выходного напряжения от температуры, которая определяется в градусах по Цельсию.

Датчики не требуют какой-либо дополнительной калибровки в пределах погрешности $\pm 1^{\circ}\text{C}$ при $+25^{\circ}\text{C}$ и $\pm 2^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $-40\dots+125^{\circ}\text{C}$.

Для снижения указанной погрешности предусмотрены несложные процедуры внешней калибровки датчиков.

Напряжение питания датчиков находится в пределах $2,7\dots 5,5\text{В}$. Весьма низкий ток потребления (менее 50мкА) обеспечивает значение погрешности от само разогрева датчика – менее $0,1^{\circ}\text{C}$ в спокойном воздухе.

Функция отключения (shutdown) обеспечивает снижение потребляемого тока до уровня $0,5\text{мкА}$.

Высокая линейность, низкое выходное сопротивление и точная калибровка обеспечивают простоту использования датчиков в цифровых системах управления и контроля.

В этом случае не требуется программирование микроконтроллеров устройства с целью нормализации и коррекции характеристик датчиков.

Отличие датчиков заключается в диапазонах измеряемой температуры и крутизне (чувствительности) выходной характеристики.

В таблице 2 приведены основные технические характеристики датчиков температуры серии TMP3x с фирмы Analog Devices.

Из таблицы видно, что из серии датчиков TMP3х подходящим является датчик TMP36, имеющий приемлемый диапазон измеряемых температур и удобное значение крутизны (чувствительности) выходной характеристики.

Учитывая вышесказанное, окончательно в качестве датчика температуры с аналоговым выходом выберем микросхему TMP36F, стоимостью 30...50 рублей в зависимости от места приобретения.

Таблица 2 - Датчики температуры TMP3х с фирмы Analog Devices

Тип датчика	Диапазон измерения, °C	Чувствительность, мВ\°C	Напряжение смещения характеристики $U_{вых25°C}$
TMP35	+10...+125	10	250мВ
TMP36	-40...+125	10	750мВ
TMP37	+5...+100	20	500мВ

Датчики выпускаются в недорогих 3-х выводных корпусах ТО-92, 6-и выводных SO-8 для печатного монтажа и в корпусах SOT-23 для поверхностного (SMD) монтажа.

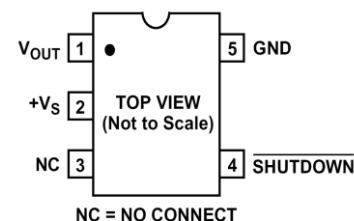
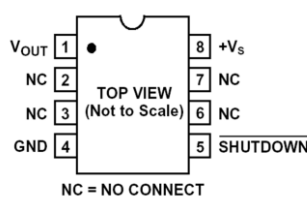
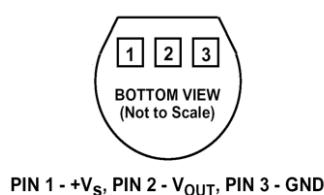


Рисунок 7 - Корпуса датчиков температуры TMP36 Analog Devices а)ТО-92, б)SO-8, в) SOT-23

Эквивалентная схема температурных датчиков TMP3х серии показана на рисунке 1.8. Основой датчика является дифференциальный каскад на транзисторах Q1 и Q2, смещенный примерно на 8мкА с помощью генератора тока на транзисторе Q3.

С учетом того, что область рабочих токов эмиттера Q1 примерно в 10 раз больше, чем у транзистора Q2, разность напряжений "база-эмиттер" ΔU_{BE} этих транзисторов будет описываться следующим выражением

$$\Delta U_{BE} = U_T \ln \left(\frac{A_{E,Q1}}{A_{E,Q2}} \right)$$

Резисторы R1 и R2 используются для подгонки значения ΔU_{BE} к необходимому значению для каждого образца температурного датчика (предварительная заводская калибровка).

Резистор R3 используется для передачи части напряжения U_{BE} транзистора Q1 для температурной компенсации выходного напряжения U_{OUT} .

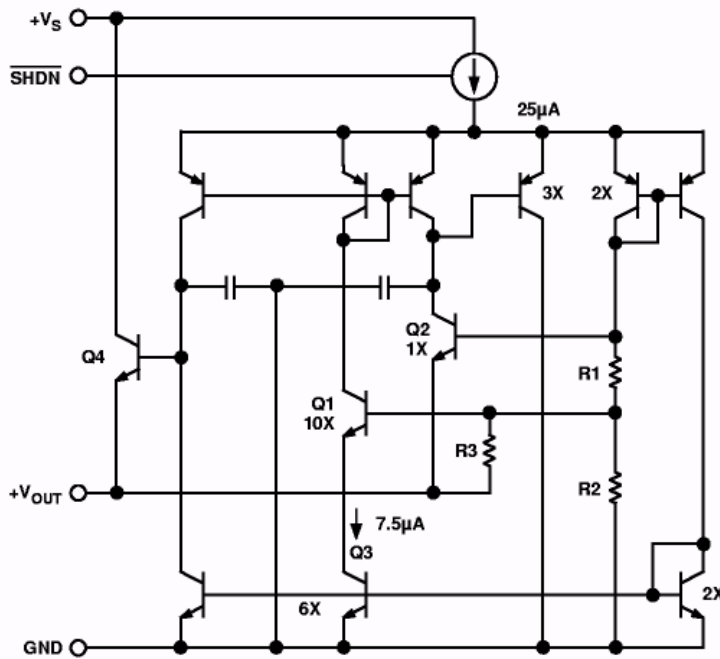


Рисунок 8 - Эквивалентная схема температурных датчиков серии TMP3x

Транзистор Q4 является буферным элементом и обеспечивает требуемый выходной ток датчика.

На рисунке 9 приведены типовые характеристики температурных датчиков TMP36F. Из графиков следует, что в заданном диапазоне измерения

- а) зависимость выходного напряжения датчика от температуры
- б) температурная погрешность датчика
- в) зависимость потребляемого тока от температуры
- г) минимальное напряжение питания датчика для различных диапазонов рабочих температур

Рисунок 9 - Типовые характеристики температурных датчиков TMP36F

Заданный коэффициент можно ввести разными и не сложными способами:

- ввести дополнительный усилитель с коэффициентом 100,
- задать диапазон преобразования АЦП (значение полной шкалы) 200мВ,
- задать коэффициент 100 программным способом.

Второй вариант представляется наиболее простым и, как правило, реализуется с помощью специальной перемычки или заданием специального бита данных.

1.2 Датчики температуры с цифровым выходом

В настоящее время как правило применяются цифровые датчики температуры (ДТ), то есть такие цифровые ДТ, которые вырабатывают на своих выходах цифровые коды, соответствующие значениям измеряемой температуры. Такие цифровые ДТ осуществляют цифровое измерение температуры и передают полученные коды далее в системы сбора данных по стандартному интерфейсу.

Проведенный обзор предложений по датчикам температуры с цифровым выходом показал, что, как и в случае с аналоговыми термодатчиками, количество представленных образцов весьма велико.

В частности, фирма Analog Devices выпускает два семейства микросхем-термодатчиков с встроенными АЦП - AD7416/17/18 и AD7816/17/18. Первое семейство имеет интерфейс I²C, второе – SPI [7],[8]).

Микросхемы семейства AD7816/17/18 достаточно просто стыкуются с различными микропроцессорами. Работа последовательного интерфейса микросхемы, а также возможные погрешности измерения температуры от само разогрева микросхемы при работе с повышенной частотой измерений, подробно описаны в [7]-[20]. Фирма Microchip так же выпускает ряд датчиков температуры с цифровым выходом:

ТС74 — малогабаритный ДТ с последовательным цифровым выходом, в котором значение температуры преобразуется внутренним ПНК в восьмиразрядный двоичный код с разрешающей способностью в 1°C и быстродействием равным восьми выборкам в секунду.

Электрическое соединение ПНК с ТС4 производится через 2-х проводный последовательный порт, который применяется и для управления режимом работы ДТ.

ТС1066, ТС1068 и ТСМ1617, это программируемые ТД, которые приспособлены для контроля температуры мощных микропроцессоров с встроенными температурно - зависимыми диодами. Значение температуры от которых преобразуется посредством внутреннего ПНК в восьмиразрядный позиционный двоичный код.

При этом передача информационных данных осуществляется с помощью последовательного порта, которая должна сопрягаться со стандартной шиной управления типа SM Bus.

Фирма Dallas Semiconductor выпускает линейку цифровых температурных датчиков DS1xxx, отличающихся техническими характеристиками, функциональными возможностями, используемым интерфейсом и, конечно, ценой, при этом, как правило, применяется цифровой термометр типа DS1820.

Используя простой интерфейс с однопроводной шиной и динамическим диапазоном температур ($- 55^{\circ}\text{C} \div +125^{\circ}\text{C}$) при повышенной помехоустойчивости, ИМС DS1820 позволяет создавать многоканальных средств контроля и управления температурой.

Вместе с тем данная ИМС отличается низкой надежностью функционирования, в случае обработке информации внутри нее.

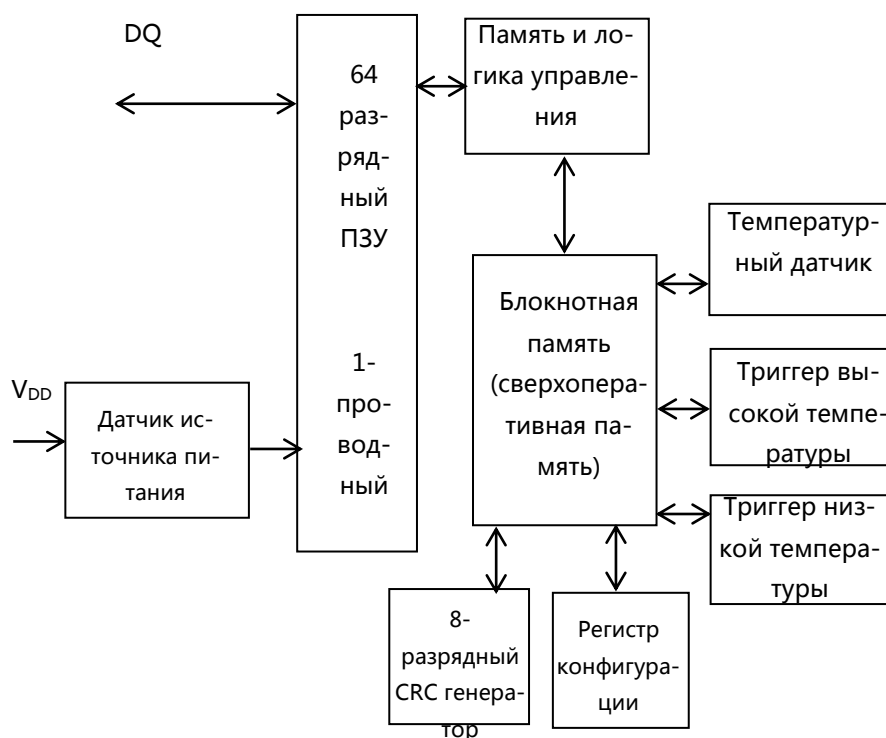
В связи с этим фактом компания выпустила на замену ИМС DS1820, ИМС типа DS 18B20, которая обеспечивает измерение температуры с разрешающей способностью (9 ÷ 12) разрядов.

На рисунке 10 приводятся главные элементы ИМС DS18B20, состав которой содержит

- 64 — разрядное ПЗУ
- температурный датчик
- температурные триггеры Твыс (Th) и Тнизк Tl
- регистр памяти конфигурации.

Взаимосвязь с ИМС DS18B20 производится посредством однопроводного порта при установке протокола соответствующей функции ПЗУ, при этом ведущая шина вначале разрешает только одну из нижеприведенных функций ПЗУ:

- чтение ПЗУ,
- совпадение ПЗУ,
- поиск ПЗУ,
- пропуск ПЗУ,
- аварийный поиск.



Процедура измерения температуры

Центральным элементом ИМС DS 18B20 служит ТД прямого преобразования, в котором имеются два частотных генератора с различными значениями температурных коэффициентов и настроенными на температуру в -55°C .

Разность количества импульсов создаваемых этими генераторами в единицу времени, служит в качестве опорного значения для последующего вычисления цифрового кода a , следовательно, и температуры.

Заметим, что ИМС DS18B20 с общим двенадцатиразрядным выходным кодом может использоваться и для получения (9 – 12) разрядов значения температуры.

Наиболее подходящим датчиком температуры с цифровым выходом является относительно дешевый, но весьма точный датчик DS1621 Dallas Semiconductor.

ИМС содержит ДТ, который обеспечивает измерение температуры в диапазоне $(-55^{\circ}\text{C} \div +125^{\circ}\text{C})$ с дискретностью $0,5^{\circ}\text{C}$. Также имеется и встроенный термостат, который поддерживает заданную температуру при длительности времени преобразования в одну секунду. Имеющий несколько выводов, значение каждого вывода описаны в таблице 3.

Таблица 3 - Назначение выводов ИМС типа DS1621

Символ	Вывод	Описание
SDA	1	Линия SDA шины I ² C
SCL	2	Линия SCL шины I ² C
Tout	3	Сигнал термостатирования
GND	4	Общий вывод
A2	5	Адресный вход 2

A1	6	Адресный вход 1
AO	7	Адресный вход 0
VDD	4	Питание "+"

Определение цифрового значения температуры осуществляется аналогично методике (рисунок 11), для ИМС DS18B20.

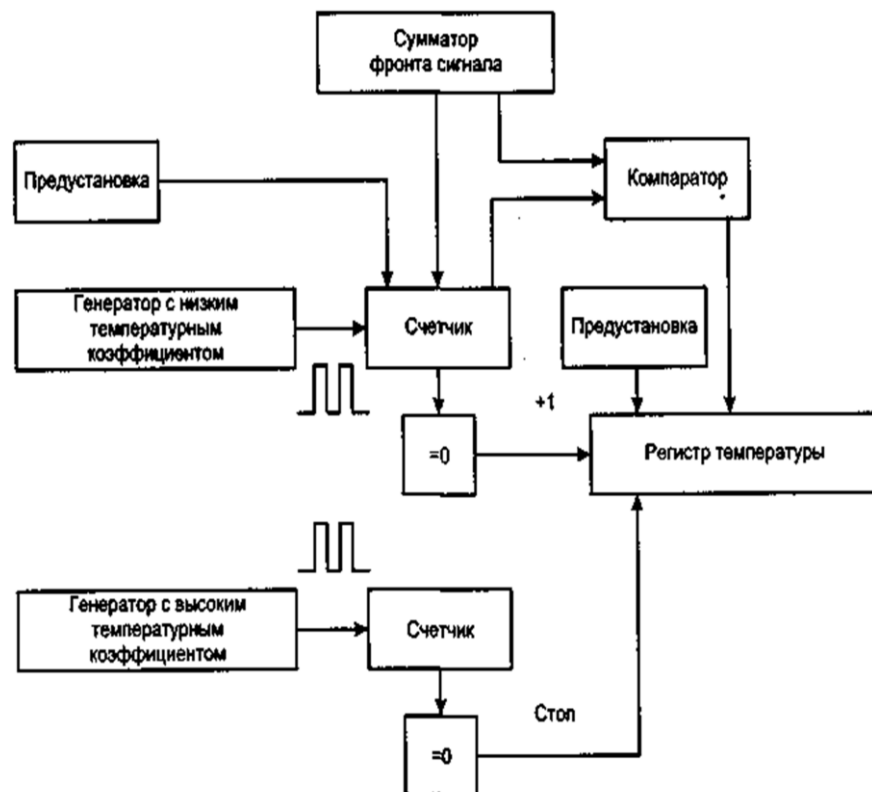


Рисунок 11 - Измерение температуры ДТ DS1621

В составе ИМС имеется два генератора, один из которых с высокой температурной стабильностью, а второй с существенной зависимостью частоты от

температуры. Кроме того также содержится счетчик импульсов, который предварительно фиксируется на показание, соответствующее температурному значению в -55°C .

Это значение представляется в виде девятиразрядного двоичного кода и посылается по шине передачи данных в виде двух байтов.

Данная ИМС обладает и режимом термостатирования, что обеспечивается формированием верхнего (ТН) и нижнего (ТЛ) значений температуры посредством двоичного кода (рисунок 12).

В случае нагревания и превышения уровня ТН формируется высокий уровень напряжения на выходе ТOUT, и начинается процедура охлаждения.

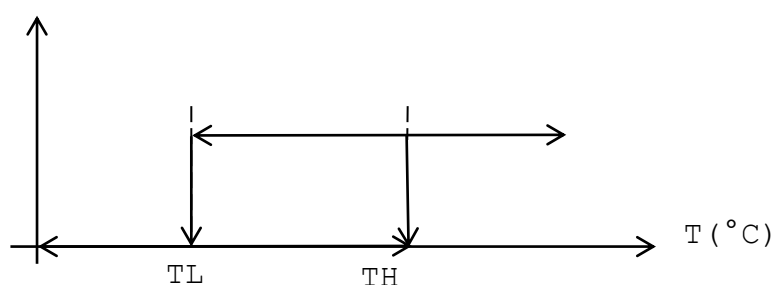


Рисунок 12

Когда же температура станет меньше значения уровня ТЛ, уровень напряжения на выходе ТOUT станет низким и опять начнется процедура нагрев.

Таким образом, осуществляется процедура управления гистерезисом температуры.

2. Выбор элементной базы цифрового термометра

2.1 Последовательная шина обмена данными I²C

Управление цифровыми датчиками и ЖК индикатором в разработанном термометре осуществляется микроконтроллером по специальной шине.

Широко известные в вычислительной техники быстродействующие шины ISA и PCI не предназначены для применения в РЭА бытового назначения, в виду сложности производства и, соответственно, высокой стоимости.

В связи с этим компания Philips, для бытовой РЭА, в своё время создала специальную шину с последовательным способом передачи данных Inter-Integrated Circuit Bus (I²C) [9],[10].

В виду своей технической простоты данная шина является промышленным стандартом во многих отраслях техники.

Шина содержит две линии, при этом соединительные линии общего провода и провода электропитания, не считаются: SCL и SDA, соответственно, линии синхронизации последовательных данных.

Устройства, которые подключены к шине регулярно следят за состоянием той и другой линий, а при необходимости переводят их в логическое

состояния нуля А выходные каскады этих устройств выполнены с «открытым коллектором» («открытым стоком»).

Электронные средства (ЭС), передающие данные по шине принято обозначать «передатчиком», в то время как ЭС, принимающие данные – «приемником». Терминология шины приведена в таблице 4.

Таблица 4 - Терминология шины

Термин (англ.)	Термин (рус.)	Описание
Transmitter	Передатчик	Передатчик данных в шину

Продолжение таблицы 4

Receiver	Приемник	Приемник данных с шины
Master	Ведущий	Начало передачи, формирование синхроимпульсов, конец передачи данных
Slave	Ведомый	Устройство, которое адресуется ведущим
Multi-master	Ведущий	Несколько ведущих пытаются использовать шину одновременно, без нарушения передаваемых данных
Arbitration	Арбитраж	Процесс осуществления Multi - master
Synchronization	Синхр.	Процесс синхронизации двух устройств

SDA и SCL, это двунаправленные линии, которые подключаются источнику электропитания посредством резистора.

Информация по шине I²C стандартном режиме пересылается с темпом в 100 кбит/с, а в «быстром» -- не менее 400 кбит/с.

А максимальное количество ЭС, нагружаемых на шины, определяется значением емкостью ее линий, которая равна 400пФ.

Исходное состояние шины – неактивное, то есть SCL и SDA находятся в высоко импедансном состоянии. Обмен данными начинается с поступлени-

ем сигнала START.

Подтверждение процесса передачи данных строго обязательно и выполняется посредством импульс синхронизации, который генерируется микроконтроллером, а наличие сигнал АСК подтверждения, говорит о нормальном окончании процесса обмена данными.

Шина обмена данными I²C с постоянными входными напряжениями 1,5В и 3В в ряде случаев имеют и собственное электропитание, при этом подтягивающие резисторы подключаются к нему.

I²C-устройства с входными напряжениями устанавливаемыми напряжением электропитания содержат одну линию питания, с которой и соединяется подтягивающий резистор.

Для I²C-устройств в обычном режиме значения резисторов определяется напряжением электропитания, информационной емкостью шины и числом подключенных ЭС. Наибольшее значение ток при ВЫСОКОМ логическом уровне для каждого порта имеет значение не более 10 мкА.

2.2. Жидкокристаллический индикатор

Современная бытовая РЭА, обычно содержит несколько кнопок управления, а требуемая пользователем информации визуализируется посредством цифрового индикатора (ЦИ).

Обычно ЦИ изготавливаются на технологии жидких кристаллов (ЖК – индикаторы) и в нем визуализируется информация о состоянии его внутренних устройств, уровни и источники сигналов, режимы работы и т.д. ЖК – индикаторы широкого применения имеют упрощенный внешний вид, обладают универсальным набором реализуемых функций.

Однако объем выводимой информации на ЖК – индикаторах широкого применения соперничает с фирменными моделями.

Буквенно-цифровые ЖК – индикаторы производятся многими компаниями, которые отличаются числом строк и выводимых символов в строке, типом жидких кристаллов, присутствием подсветки.

Ядром схемы управления буквенно-цифровых ЖК - индикаторов является ИМС серии HD44780, одна группа выводов которой соединяется с ЖК - экраном, а другая используется для связи с управляющими сигналами (рисунок 13).

Управление ЖК – индикатором проводится посредством 16-контактного разъема, два контакта (15 и 16) из которых не используются при отсутствии его подсветки, которая может быть электролюминесцентной, светодиодной или флуоресцентной.

Управление ЖК – индикатором, осуществляется посредством его выводов, назначения которых приводятся в таблице 5.

Таблица 5 – Команды управления ЖКИ HD44780

Обозначение	Описание
V_{ss}	Общий вывод
V_{dd}	Электропитание
V_{ce}	Управление контрастности
RS	Управление "данные/команды"
R/W	Управление режимов "чтение/запись"
E	Строб - импульс
DB0	Шина (ША) данных и команд
DB1	ША данных и команд
DB2	ША данных и команд
DB3	ША данных и команд
DB4	ША данных и команд
DB5	ША данных и команд
DB6	ША данных и команд
DB7	ША данных и команд
LEDA	Электропитание подсветки
LEDB	Электропитание подсветки

Информация поступает в ЖК – индикатор посредством восьми - или четырех - разрядных шин по линиям DB0-DB7 или же DB4-DB7.

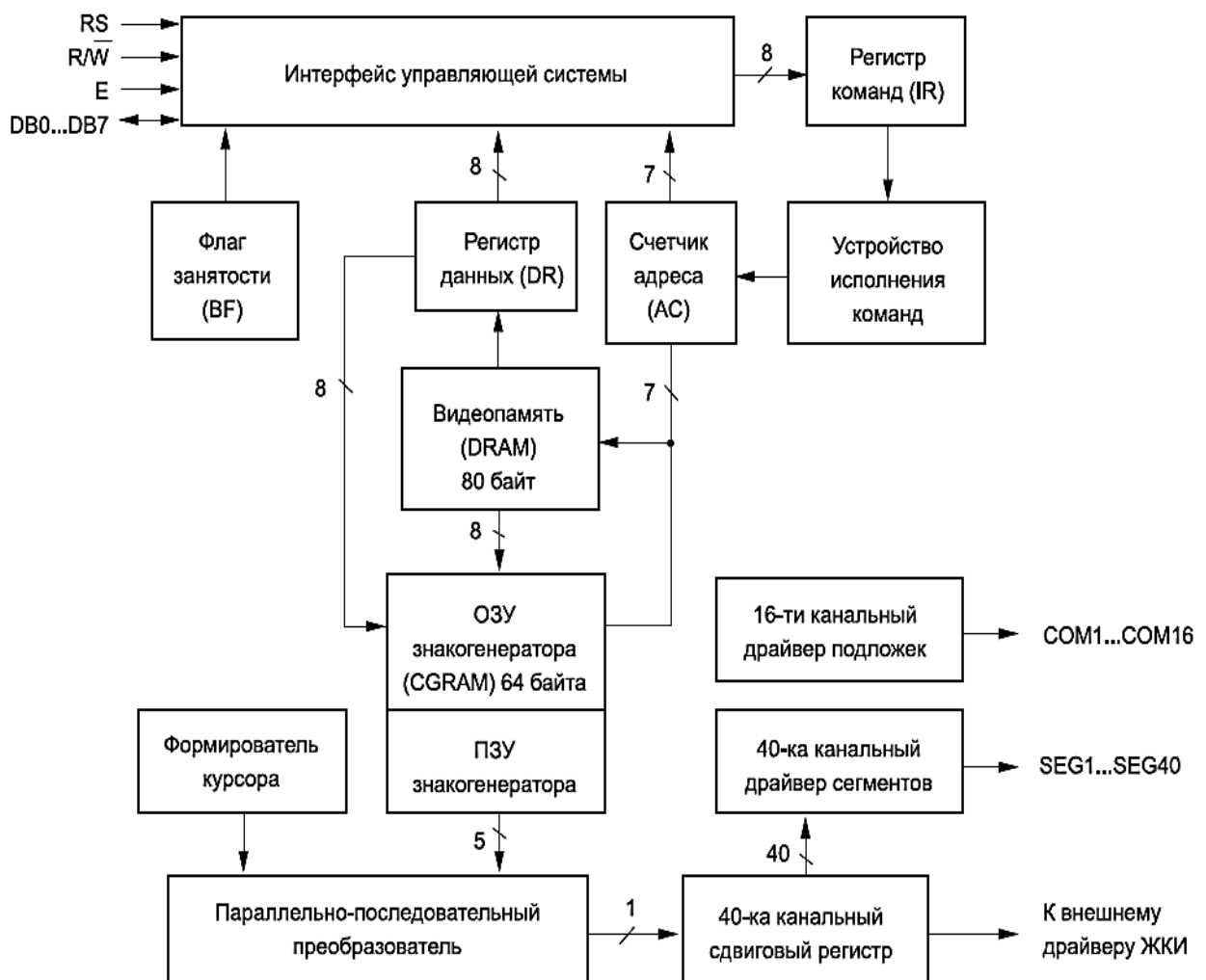


Рисунок 13 - Структурная схема ЖКИ HD44780

Для создания визуализации символов используется способ *знакогенератора*, при котором в памяти управляющей ИМС фиксируется набор символов, а востребованный символ визуализируется посредством приема информации по линиям DB0-DB7.

Управлять индикатором в режиме простого ввода символов (когда символы выводятся последовательно, один за другим) просто: достаточно подать на линии DB0—DB7 код символа, а затем провести стробирование по входу E (см. Таблицу 5 Команды управления ЖКИ HD44780).

Запись данных произойдет по спаду сигнала E.

Сигнал RS в этом случае должен находиться в положении "I", а сигнал R/W — в положении "O".

На самом деле полный цикл управления ЖК – индикатором является ответственным процессом, в виду того, что в режиме простого вывода символов, знакоместа заполняются последовательно слева направо, а при необходимости обнуления его содержимого требуется отдельные управляющие команды.

Перед началом работы ЖК – индикатор конфигурируется, в противном случае он просто не может функционировать, поэтому в ней имеются функции отображения курсора, с возможностью его отключения, а также режим многократного повторение визуализируемой информации, что обеспечивает ее редактирование.

ЖК - индикатор обеспечивает функционирование в одно – и двухстрочном режимах работы, причем первые восемь символов закреплены за первой строкой, а вторые восемь за второй строкой.

При однострочной конфигурации, не все потенциальные возможности ЖК - индикатора используются и поэтому в большинстве случаев применяют двухстрочный режим.

Запись команд управления осуществляется по стробу EN, а сигналы RS и R/W фиксируются в состояние «логический ноль», в то время как код команды пересылается посредством линий DB0—DB7.

Таблица 6 отображает главенствующие команды типичного ЖК - индикатора.

Таблица 6 - Главенствующие команды

Код команды								Описание команды
DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	
0	0	0	0	0	0	0	1	Обнуление индикатора

0	0	0	0	0	0	1	х	Возвращение курсора в исходное состояние
---	---	---	---	---	---	---	---	--

Продолжение таблицы 6

0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Режимы ввода: I/D - увеличение/уменьшение адреса ОЗУ; SH -- перемещение табло впра-
0	0	0	0	1	D	B	C	Команда включения табло: D - вкл./выкл. курсора C – вкл./выкл. курсора B – регулирование мерцания курсора
0	0	0	1	S/C	R/L	х	х	Сдвиг курсора или табло: S/C- сдвиг курсора/табло R/L- сдвиг влево/вправо
0	0	1	DL	N	F	х	х	Команда конфигурации: DL- разрядность шины N- количество строк табло F- размер шрифта знакогенератора
0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Выбор адреса знакогенератора пользователя
1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Выбор адреса встроенного ОЗУ:(1-о строчный режим – (00h ÷ 4Fh); 2-х строчный – (00h ÷ 27h) и (40h ÷ 67h)

В ЖКИ присутствует некоторое количество ячеек, в которых фиксируются символы, формируемые в знакогенераторе.

Кроме того имеются команды чтения из ОЗУ кодов введенных символов знакогенератора и чтения текущего положения управляющей ИМС.

Данные команды чтения выполняются путем подачи на R/W сигнала «логическая единица».

При этом команда чтения состояния жестко устанавливает, выполняет ли ЖК - индикатор в конкретный временной момент, какие либо процессы или же находится в состоянии ожидания прихода информационных данных.

Питание индикаторов. Потребляют они до 10мА при значении напряжения электропитания равным 5В, при этом его не следует увеличивать более чем на два вольта.

Контрастность ЖК – индикатора регулируется посредством схемы, отображенной на рисунке 14, в которой с помощью резистора R выбирается его положение, при котором визуализируемые на табло символы контрастны, а засветка знакомест минимальная.

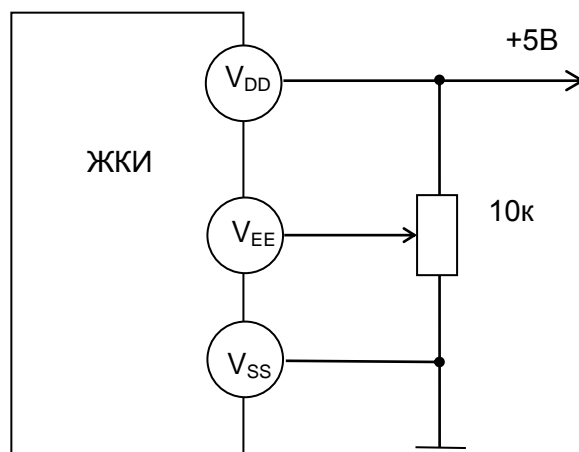


Рисунок 14 – Схема электропитания ЖК - индикатора

ЖК – плохо защищен от наводок по цепям электропитания, что приводит к сбою визуализируемых символов, а поэтому следует их регулярно обновлять, к примеру, один раз в одну секунду.

При этом мерцания табло практически не наблюдается, а вот помехозащищенность существенно увеличивается.

2.3 Системный микроконтроллер

Микроконтроллеры (МК) применяются в самых различных электронных средствах, а их доля в сравнении с другими электронными элементами описывается в 60%.

Исходя из оценки «функциональные возможности — цена», выделяются следующие компании, которые изготавливают МК: Atmel, Microchip и Ангстрем (РФ, г. Зеленоград).

Крайне популярны семейства управляющих МК архитектуры AVR, разработанной компанией Atmel и архитектуры MCS-51, разработанной компанией Intel, производятся множеством других компаний.

Кроме того имеет популярность и архитектура PIC, созданная фирмой Microchip.

Однокристалльный МК можно называть как упрощенным вариантом компьютера, а для его работы необходимы такие аппаратно – программные средства как микропроцессор (МП), память, счетчики - таймеры, периферийные средства, а также и программный продукт.

При этом аппаратные средства располагаются в одном кристалле, что несколько понижает универсальность МК, а МП становится *ядром*.

Кристалла обладает наружными линиями ввода/вывода ввода/вывода, которые принято обозначать *портами*.

В виду того, что МК жестко программируется для решения конкретной задачи, он не нуждается в операционной системе, то есть программа функционирования заносится в его персональную память.

При выборе МК необходимо считаться не только с его функциональные возможности, но и его стоимостью, к примеру, цена МК компании Intel, в (3÷3,5) раза больше цены МК компании Atmel.

В таблицах 7 – 9 рассмотрены параметры МК основных семейств.

ПЗУ в обязательном порядке обладает защитой от неразрешенного считывания, которая в случае отсутствия разрешения на считывание, в автоматическом режиме обнуляется.

Вместе с тем все МК обладают режим экономии электропотребления, при котором выполнение ряда операций останавливается.

Компания предложила интересную серию микроконтроллеров AVR, с использованием RISC архитектуры, при которой память программ и данных,

физически разделены и содержат различные шины связи с ядром МК.

Таблица 7 - Параметры МК семейства AT89

Тип МК	$U_{пит}, В$	ПЗУ, Кбайт	ОЗУ, байт	$f_{такт}, МГц$	$I_{max}, мА$
AT89C1051	2,7-6	1	64	12, 24	15
AT89C2051	2,7—6	2	128	12, 24	15
AT89C51	5	4	128	12, 16, 20, 24	20
AT89LV51	2,7—6	4	128	12	20
AT89C52	5	8	256	12, 16, 20, 24	25
AT89LV52	2,7-6	8	256	12	25
AT89S8252	2.7—6	8	256	12	25

Вместе с тем в МК типа AVR, обладает особенностью, которая называется конвейеризацией и обеспечивает одновременно выполнять текущую команду и готовиться к последующей.

МК с RISC архитектуре свойственен ряд недостатков, один из которых состоит в сложности расширении памяти при сохранении конвейеризации, а также ограниченный набор команд, пригодный для работы только с несложными задачами.

МК типа AVR содержат компараторы, АЦП, устройства ШИМ, последовательные шины ввода/вывода.

Таблица 8 - Параметры МК семейства AVR

Тип МК	ПЗУ, Кбайт	ОЗУ, байт	$f^{TM}, МГц$	$I^{TM}, В$
AT90S1200	1	64	12	2,7—6

AT90S2313	2	128	10	4—6
AT90S2323	2	128	10	2,7-6
AT90S2343	2	128	10	4—6

Продолжение таблицы 8

AT90S4414	4	256	8	2,7—6
AT90S4434	4	256	8	3,3—6
AT90S8535	8	512	8	2,7—6
AT90S8515	8	256	8	4—6
Atmega 103	128	4к	6	4—5,5
Atmega 03	128	2к	6	4—5,4

Следует иметь в виду, что в составе МК может находиться как оперативное запоминающее устройство ОЗУ, данные в котором сохраняются посредством электропитания, так и электрически стираемые постоянно программируемые ЗУ (ЭСПП ЗУ), в котором данные будут сохраняться и при отсутствии электропитания.

ЭСПП ЗУ производится как в соответствии с технологией flash (обеспечивает тысячу процедур программирования), так и по EEPROM с сохранением точного программирования до 10^5 раз.

Предпочтение для памяти программ отводится flash, а память данных обычно реализуется на EEPROM.

Большое применение нашли и МК серии PIC компании Microchip, которые располагаются на одном из первых мест в мире.

Особенность некоторых серий PIC МК заключается в том, что в них есть возможность программирования после установки в комплексную систему.

К сожалению, ИМС компании Microchip имеет высокую стоимость свойственную «многократным» кристаллам.

Таблица 9 - Параметры МК семейства PIC

Тип МК	ПЗУ, слов	ОЗУ, байт	$f_{\text{такт}}$, МГц	Число пор- тов
16C61	1024	36	20	13
16C66	8192	368	20	22
16C67	8192	368	20	33
16C710	512	36	20	13
16C71	1024	36	20	13
16C77	8192	368	20	33
16F84	1024	68	10	13
17C43	4096	454	33	33
17C44	8192	454	33	33

Из осуществленного выше анализа следует, что наиболее лучшим вариантом для проектирования бытовой РЭА, служат МК серии AVR или PIC.

Вместе с тем с учетом технического задания (организация интерфейса RS-232, подключение более 8 аналоговых/цифровых датчиков температуры, управление ЖК индикатором, малое энергопотребление и пр.) удобнее применить «промышленные» МК с функциональной периферией [6].

Это могут быть «мощные» МК или, так называемые, платы сбора данных (ПСД).

2.4 Однокристалльная система сбора данных AduC812

До недавнего времени, попытки выпустить многофункциональные микросхемы (ИМС) предпринимались рядом известными производителями.

Данные ИМС представляли собой МК, выполненный по классической цифровой технологии, в который каким либо методом введены функции АЦП и ЦАП.

В настоящее время фирма Analog Devices выпустила семейство микросхем серии ADuC8xx , в которых осуществлено комбинирование АЦП и ЦАП со встроенными МК и флэш-памятью.

Причем АЦП и ЦАП обладают высокой точностью преобразования при прямой и обратных преобразованиях напряжение-код и код-напряжение.

Наиболее простой и дешевой (420 рублей в розницу) из них является ИМС типа ADuC812, которая представляет собой восьмиканальную, двенадцатиразрядную систему сбора данных с встроенным МК.

Серийный выпуск микросхемы начался в мае 1999 года и с тех пор она является одной из самых популярных ИМС у разработчиков систем сбора данных.

Данную ИМС мы и выбираем в качестве основы для создания многозонного цифрового термометра.

Архитектура микросхемы (рисунок 14) содержит две основных части - аналоговую и цифровую, каждая из которых имеет отдельное электропитание, а передаточная функция ИМС представлена на рисунке 16.

Аналоговая часть ИМС содержит 8-входовой аналоговый мультиплексор (АМК), который подключен к аналоговым входам ИМС ADuC812, работающей с сигналами в диапазоне от нуля и до значения, равного напряжению источника опорного напряжения (ИОН).

ИОН используется внутренний, с напряжения 2,5 В и стабильностью в $40 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, или внешний с напряжением, также в 2,5 В.

К АМК подключен и внутренний ДТ, который служит для оперативного измерения температур кристалла, с целью последующей компенсации темпе-

ратуры холодного спая термопар, которые в свою очередь подключаются к одному или сразу к нескольким входам ИМС ADuC812.

На выходе АМК размещается устройство выборки и хранения (УВХ), которое служит для сохранения аналогового сигнала на входе, до момента окончания работы АЦП [19].

Аналоговая часть ИМС ADuC812 содержит также АЦП последовательных приближений (ПП) и два 12-ти разрядных ЦАП с выходными буферными усилителями. В качестве связующего интерфейса аналоговой и цифровой частями ИМС служат регистры управления и температурной калибровки.

Цифровая часть ИМС имеет свой МК, память и ряд периферийных устройств.

Электрически ИМС ADuC812 питается от источника электропитания напряжением 3В или 5В.

Остановимся более подробно на структурах АЦП, ЦАП и цифровой части ИМС ADuC812. Здесь АЦП представляет собой АЦП ПП, функционирующего в режимах одиночного или непрерывного преобразований со скоростью $200 \cdot 10^3$ преобразований в секунду.

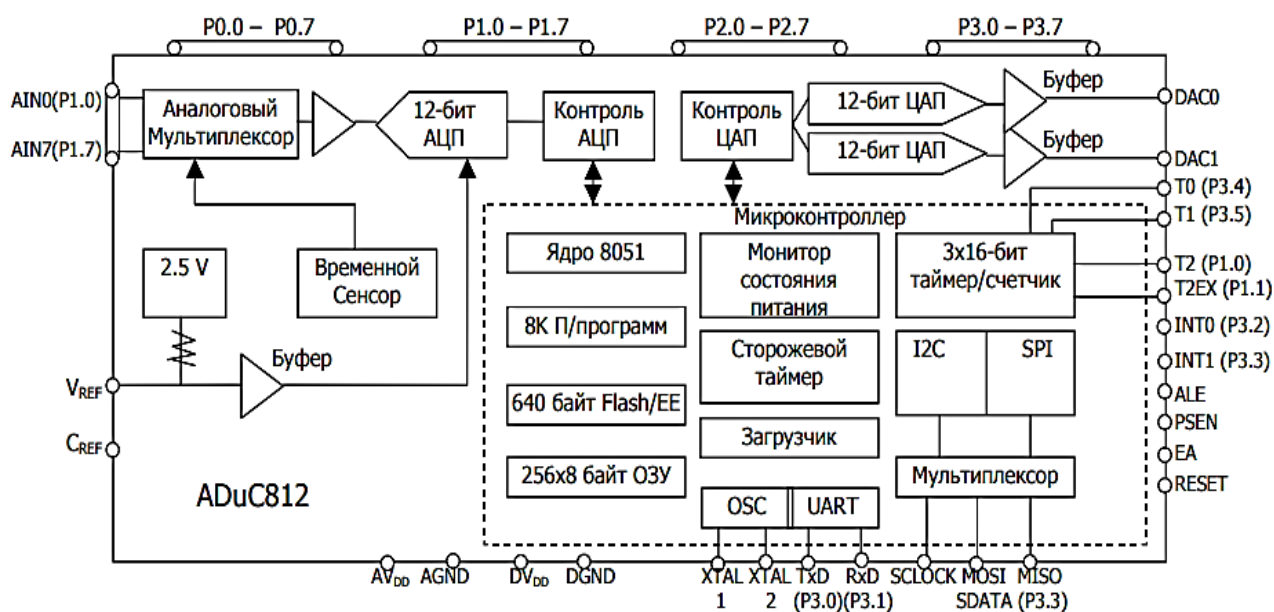


Рисунок 15 - Структура ИМС сбора данных AduC812

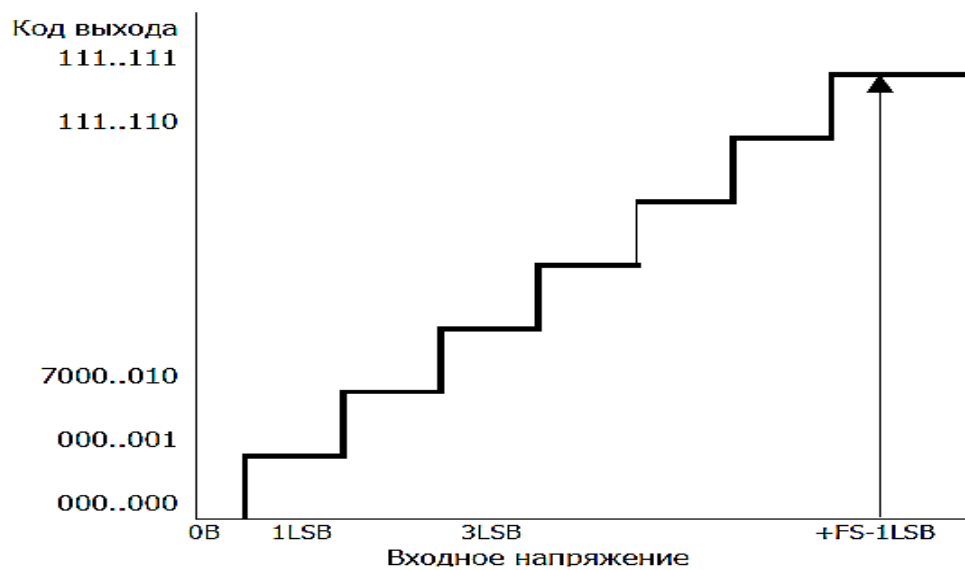


Рисунок 16 - Передаточная функция ИМС ADuC812
(Выходной код прямой с $1\text{LSB} = \text{FS}/4096 = 2,5\text{В}/4096$, при $V_{\text{ref}} = 2,5\text{В}$)

Результаты преобразования (РП) сохраняются во внешнем ОЗУ с информационной емкостью 16Мбайт. АЦП ПП имеет разрешающую способность в 11,5 разрядов и интегральную нелинейность $\pm 1/2$ МЗР.

ИМС системы сбора данных изготавливается уже калиброванной под оптимальную производительность, причем при каждом включении источника электропитания ИМС коэффициенты калибровки заносятся в определенные регистры памяти.

Режимы работы АЦП ПП управляются посредством трех регистров (РГ), которые расположены во внутренней памяти МК, а результаты преобразования (РП) считываются из двух РГ, причем первый отображает номер канала АМК и старшие четыре бита РП, в то время как второй – его младшие восемь бит [21].

Оба ЦАП управляются одним РГ управления и четырьмя РГ данных.

ЦАПы обладают возможностью изменения своей конфигурации под функционирование в 12-ти или 8-ми разрядных режимах.

МК обладает ядром типа 8051 с частотой 16МГц или 12МГц, 3-мя байтовыми портами ввода/вывода, один из которых, с повышенной нагрузочной

способностью, тремя 16-разрядными таймерами/счетчиками и расширенной периферией.

Блок памяти содержит флэш-память (ФЛП) программ (8 Кбайт) и ФЛП данных (640 Кбайт), а также ОЗУ (256 байт).

Информация во внутренней ФЛП фиксируется посредством внешнего программатора или непосредственно с асинхронного последовательного порта.

Описание протокола и процесса программирования ADuC812 непосредственно в системе описывается в [11]-[14]. ИМС системы сбора данных содержит два монитора, один из которых следит за зависанием МК, а при его фиксации устанавливает МК в начальное состояние.

Второй же наблюдает за напряжением источника электропитания (ИЭП), чтобы оно не уменьшалось и обеспечивает при потере электропитания, сохранность содержимого регистров. И возобновляет работу при восстановлении электропитания.

3. Функциональная схема цифрового термометра

Функциональная схема разработанного цифрового термометра представлена на рисунке 17 и имеет относительно простую и понятную структуру. Для питания цифровой части разработанного устройства и температурных датчиков используется стабилизатор напряжения +5В, собранный на интегральном линейном стабилизаторе.

С учетом того, что аналоговые датчики температуры имеют смещенную выходную характеристику (500мВ в точке 0°C) непосредственная индикация измеряемой температуры не возможна.

Решение этой проблемы заключается в нормализации (смещении) выходных характеристик датчиков на минус 500мВ в точке 0°C [15]-[18].

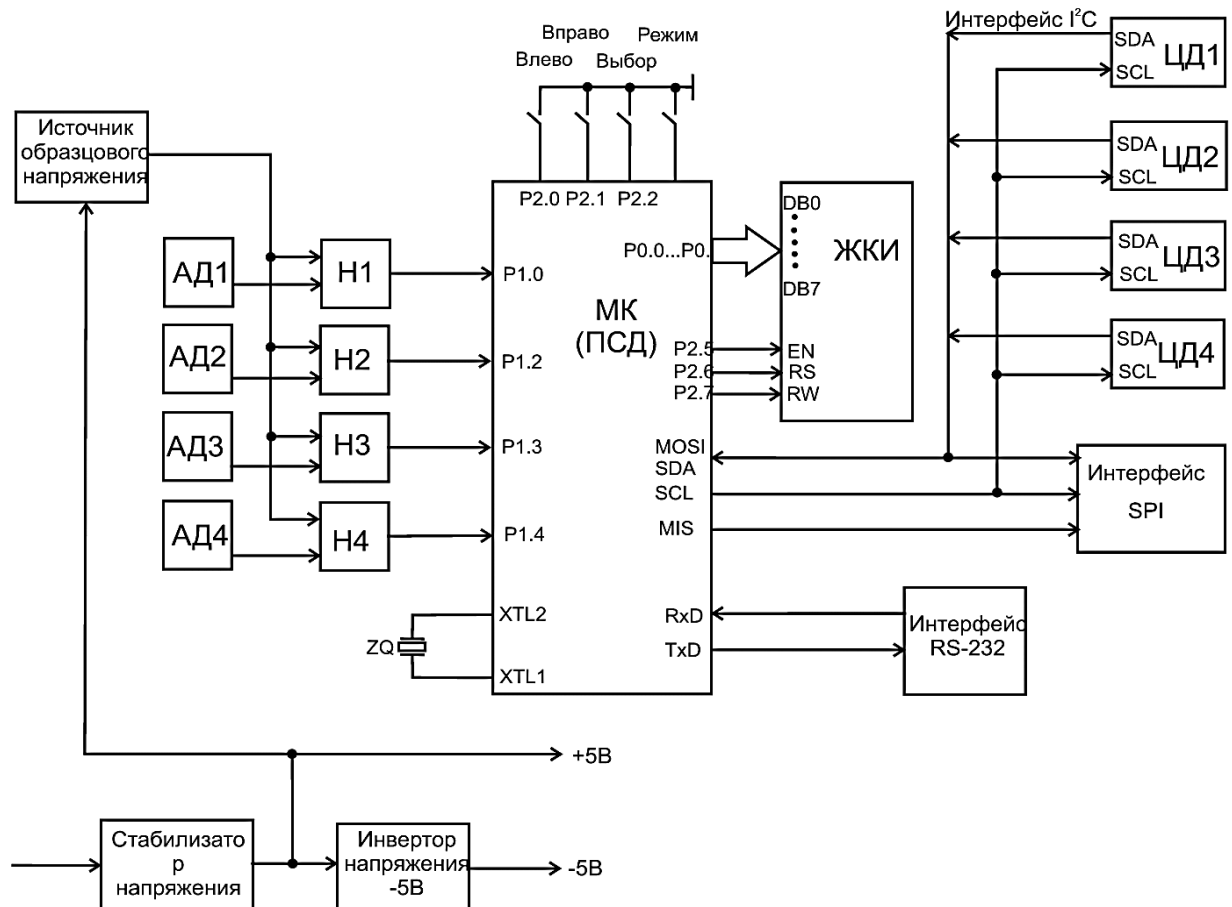


Рисунок 17 – Функциональная схема цифрового термометра

Для этого необходимо иметь двух полярное питание операционных усилителей (ОУ), схемы нормализации и источник образцового напряжения (ИОН) смещения.

Электропитание ОУ выполнено на ИМС (интегральном инверторе напряжения) типа ADM 660.

ИОН смещения -- на прецизионном регулируемом стабилизаторе IRU 431AL (см. в Иллюстративном материале. Цифровой термометр. Схему электрическую принципиальную).

Сигналы с датчиков температуры с аналоговым выходом АД1÷АД4 через нормализаторы Н1÷Н4 поступают на мультиплексированные входы АЦП микросхемы сбора данных ADuC812, где они измеряются и запоминаются.

Датчики температуры с цифровым выходом ЦД1÷ЦД4 подключены непосредственно к цифровой шине I²C (задается программно на выводах SDA и SCL) и результаты измерения обрабатываются процессором ADuC812.

Информация об измеряемой температуре отображается на русифицированном знакосинтезирующем ЖК индикаторе 2x16 символов со светодиодной подсветкой.

Обмен информацией между МК и индикатором производится по стандартной 8-разрядной шине данных 3-х разрядной шине сигналов управления.

Применяемый последовательный интерфейс с синхронной и асинхронной передачей данных, созданный по стандарту EIA RS-232C и рекомендациями V.24 CCITT, специально разработан для связи компьютера с удаленным терминалом.

В разработанном устройстве эта функция легко реализуется по шинам (RxD и TxD) асинхронного последовательного порта UART (asynchronous serial port) микросхемы ADuC812.

Кнопки управления "Режим", "Выбор", "Влево", "Вправо" обеспечивают оперативное управление термометром, вывод необходимой информации и задание требуемых режимов работы.

В разработанном устройстве предусмотрено внутрисистемное программирование микроконтроллера микросхемы ADuC812, что позволяет его перепрограммировать, не вынимая из готового устройства.

Используя простой 3-х проводной SPI интерфейс, внутрисистемный программатор связывается последовательно с микроконтроллером термометра, перепрограммируя всю энергонезависимую память в чипе.

Это позволяет оперативно вводить заданные значения предельных измеряемых температур, диапазоны измерений, обеспечивать работу выбранных датчиков в режиме термостата и пр.

Внутрисистемное программирование избавляет от демонтажа микросхем из устройства, что экономит время и деньги, как при разработке в лаборатории, так и при обновлении прошивки или параметров в памяти.

Для внутрисистемного программирования, программатор подключается к программируемому устройству как можно меньшим числом проводов [25].

Для программирования любого AVR МК в любом устройстве, используется простой 6-ти проводной интерфейс для подключения программатора к плате программируемого устройства (рисунок 3.2).

Последовательный периферийный интерфейс (SPI) представляет собой 3 провода:

- последовательный тактовый сигнал (SCK),
- главный вход - подчиненный выход (MISO),
- главный выход - подчиненный вход (MOSI).

В случае программирования AVR, внутрисистемный программатор работает в качестве ведущего, а программируемое устройство как ведомое.

Ведущий программатор создает на линии SCK тактовый сигнал для связи.

Во время действия импульсов на линии SCK, посылаются один бит данных ведущего программатора к программируемому (ведомому) устройству посредством линии MOSI.

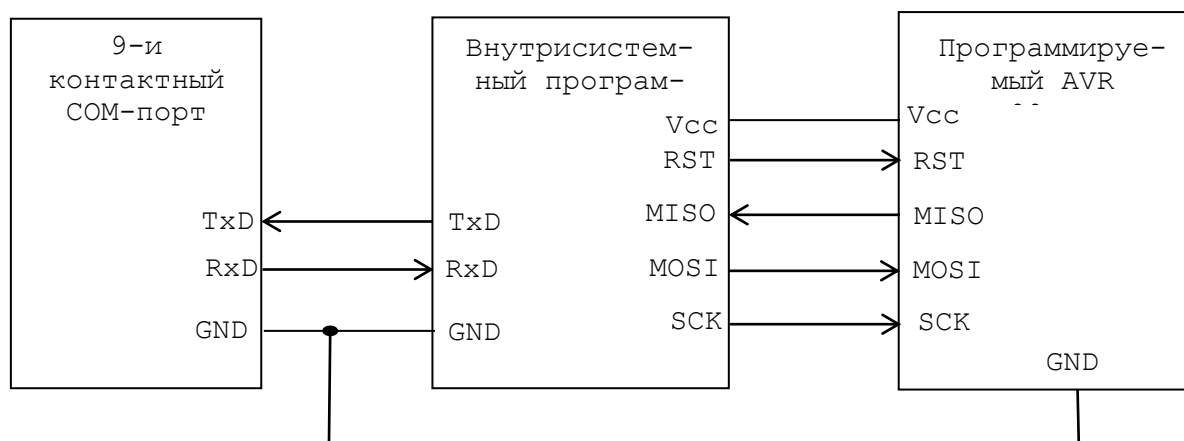


Рисунок 18 - Организация внутрисистемного программатора SPI

Одновременно при этом импульсам на линии SCK передаются по линии MISO один бит данных от ведомого программируемого устройства к ведущему программатору.

Для обеспечения устойчивости связи по трем SPI линиям, линии «земли» на ведущем программаторе и ведомом программируемом устройстве (GND) следует соединить между собой.

В процессе начала и нахождения в режиме последовательного программирования, сброс программируемого (ведомого) AVR МК должен сохраняться в активном логическом состоянии (низкий уровень). В то время как в процессе стирания ИМС, в его конце формируется сигнал сброс [22]-[23].

Чтобы упростить процедуру программирования, желательно предоставить программатору контроль над линией сброса программируемого MCU,

для автоматизации этой процедуры используется четвертая управляющая линия (RES). Для программирования устройства работающего при любом разрешенном напряжении питания (2,7...6,0В), программатор может питаться от программируемого устройства (V_{CC}).

4. Принципиальная электрическая схема цифрового термометра

Схема цифрового термометра приводится в Иллюстративном материале (см. Цифровой термометр. Схема электрическая принципиальная).

Выходное напряжение датчиков температуры с аналоговым выходом измеряется ИС системы сбора данных AduC812 и индицируется ЖК индикатором.

Для того чтобы индицируемые данные совпадали со значением измеряемой температуры, используется усилитель – нормализатор (рисунок 20), преобразующий выходную характеристику датчика TMP36F в вид, показанный на рисунке 19.

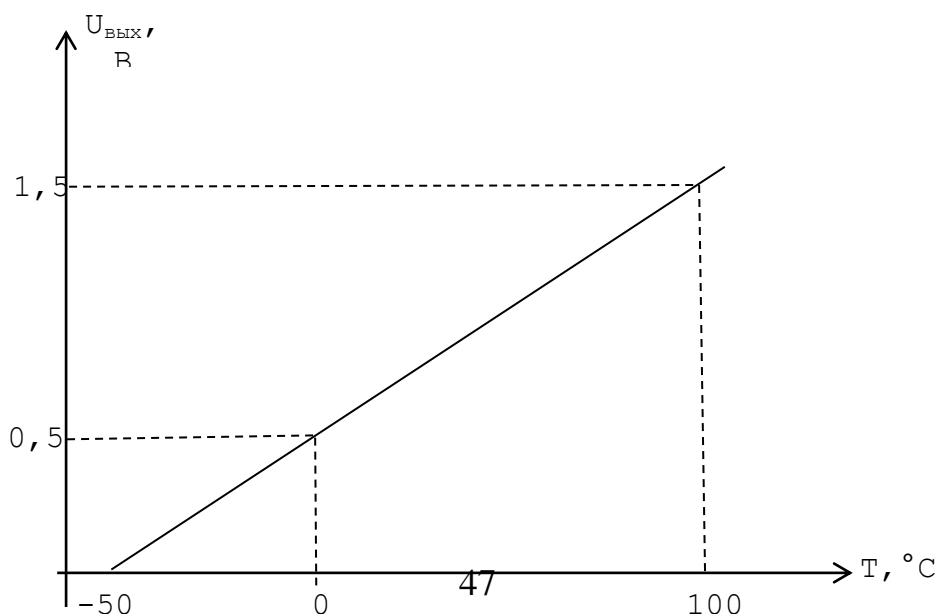


Рисунок 19 - Типовая выходная характеристика датчика температуры TMP36F

В этом случае индицируемые показания при выборе предела измерения АЦП 1,000В будут соответствовать измеряемой температуре.

В качестве источника опорного напряжения использован прецизионный стабилизатор IRU431AL фирмы International Rectifier.

Точность поддержания напряжения для ИС с индексом AL составляет 0,5%(тип.) при токе потребления 80мкА(max.).

Микросхема IRU431AL представляет собой трех выводной регулируемый стабилизатор параллельного типа, который может использоваться как источник опорного напряжения [26].

Его выходное напряжение может быть установлено любым в диапазоне 1,24...15В с помощью двух внешних резисторов. Уровень 1,24 В определяется значением внутреннего образцового источника напряжения VREF.

Влияние напряжение питания не превышает 1мВ\В, а температурная погрешность – менее 0,06% в рабочем диапазоне температур -65...150°C.

Уровень выходного напряжения определяется зависимостью

$$V_0 = V_{REF} \left(1 + \frac{R2}{R3} \right) + I_{REF} R2 .$$

Учитывая, что опорный ток стабилизатора весьма мал (0,05мкА тип.) второе слагаемое этой формулы можно не учитывать. Тогда при выборе R2=10кОм, для значения V₀ = 2,00В получим R1 = 3,24кОм.

Резистор R1 = 100Ом выбирается согласно рекомендациям производителя ИС.

Для смещения типовой характеристики датчика TMP39F на минус 500мВ использована микросхема DA2 узла А1.

Это операционный усилитель КР140УД17А с крайне малыми значениями напряжения смещения $U_{см} = 35\text{мкВ}$ (тип.), что позволяет не учитывать его при расчете погрешности схемы и ее температурной стабильности.

Выбирая $R1 = 40\text{кОм}$, а $R2 = 10\text{кОм}$ получим требуемое значение коэффициента ослабления 0,4.

При уровне опорного напряжения +2В с учетом инверсии сигнала в DA2 получим необходимое значение смещения минус 500мВ. Суммируясь с выходным напряжением датчика DA1, это смещение обеспечивает получение требуемой выходной характеристики.

В результате на ЖК индикаторе можно наблюдать значение измеряемой температуры непосредственно в градусах по шкале Цельсия без каких либо поправок и расчетов.

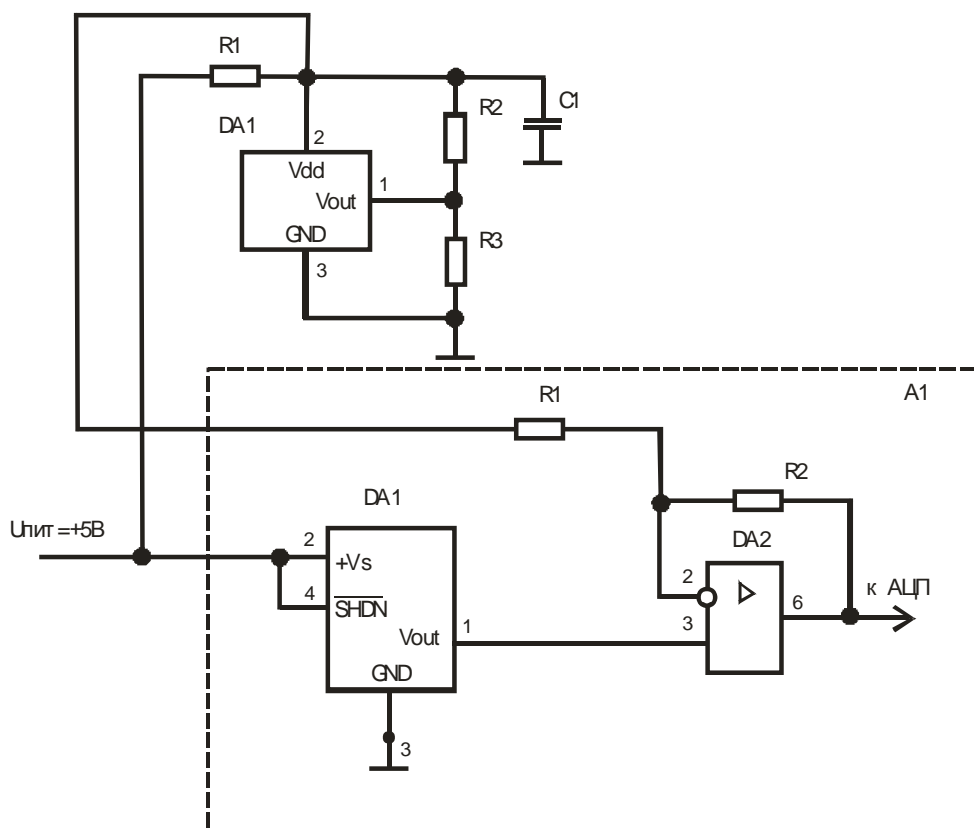


Рисунок 20 – Усилитель – нормализатор выходных сигналов датчика температуры TMP36F

Для работы с отрицательными значениями входных сигналов используемые операционные усилители DA2 узлов A1÷A4 требуют отрицательного источника напряжения питания [24].

Так по условиям технического задания это напряжения питания не предусмотрено, в схему введен дополнительный элемент DA3 --- КМОП конвертор напряжения на переключаемых конденсаторах ADM660 фирмы Analog Devices. Этот элемент обеспечивает точную инверсию напряжения в диапазоне $(1,5 \div 7)$ В, при токе нагрузки до 100мА.

Учитывая, что четыре ОУ потребляют по "минусовому" источнику не более 5мА, нагрузочная способность источника вполне достаточна.

Заключение

Широкое внедрение электроники в бытовую электронику позволило добиться значительного улучшения многих ее характеристик: повышение экономичности и эксплуатационной технологичности, расширение функциональных возможностей, снижение массогабаритных показателей и пр.

А использование систем сбора данных с микроконтроллерным управлением для оптимизации разнообразных технологических процессов вызывает большую потребность в датчиках физических величин.

В условиях, когда цены на средства вычислительной техники постоянно снижаются, весьма важной задачей становится обеспечение минимальной стоимости датчиков и аппаратуры сопряжения. В этом случае разработка датчиков, способных проводить первичную обработку информации и обладающих цифровым выходом, является весьма актуальной задачей.

Однако все возрастающее количество контролируемых параметров и повышенные требования к точности их измерения приводят к существенному усложнению программирования микроконтроллеров системы управления.

Разработанный в бакалаврской работе четырехканальный термометр с микроконтроллерным управлением содержит в своем составе: датчики температуры аналоговые TMP36F и цифровые DS1621; систему сбора данных AduC812 с тактовой частотой 12 или 16 МГц; шину обмена данными I²C; ЖК –

индикатор на ИМС HD44780; источники электропитание на ИМС (IRU431AL; MC78L05;ADM660V и ОУ К140УД17А).

Устройство отличается относительной простотой электрической схемы и отличается тем, что выполнено на однокристалльной системе сбора данных с микроконтроллерным управлением.

В случае необходимости предложенный четырехканальный термометр может быть доработан в области программного обеспечения или изменен в комплектации датчиками температуры.

Список используемой литературы

1. Бирюков С.А. Устройства на микросхемах. Цифровые измерительные приборы, источники питания, любительские конструкции.– М.: Солон-Р, 2000.- 192с.
- 2.Булкин П.С., Васильева О.Н., Киров С.А., Малова Т.И. Измерение температуры полупроводниковыми термометрами Учебное пособие – М.: ООП Физ. Фак - та МГУ, 2012, 17 с.
3. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение: Пер. с нем.- М.: Мир, 1989.- 196с.
4. Вульвет Дж. Датчики в цифровых системах: Пер. с англ./ Под ред. А.С.Яроменка. М.: Энергоиздат, 1981.- 200с.
5. Гарет П. Аналоговые устройства для микропроцессоров и микро-ЭВМ: Пер. с англ./Под ред. М.В.Гальперина.- М.: Мир, 1981.-272с.
6. Гнатек Ю.Р. Справочник по цифроаналоговым и аналого-цифровым преобразователям: Пер. с англ./Под ред. Ю.А. Рюжина. - М.: Радио и связь, 1982.- 552с.
7. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах.- Л.:Энергоатомиздат,1988.-304с.
8. Измерения в электронике: Справочник/В.А.Кузнецов, В.А.Долгов, В.М. Коневских и др.; Под ред. В.А.Кузнецова.- М.: Энергоатомиздат, 1987.-512с.

9. Кузьминов А.Ю. Интерфейс RS232. Связь между компьютером и микроконтроллером. М.: Радио и связь, 2004. - 168 с.: ил.
10. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения неэлектрических величин: Измерительные преобразователи. Л.: Энергоатомиздат, 1983.-320с.
11. Методы измерения температуры. Часть 1 Методы и средства контактного измерения температуры: методические указания к практической работе/ Сост. Т.Н. Немова, Н.А. Цветков. – Томск: Изд-во Том.гос. архит.- строит. ун-та, 2012 – 38 с.
12. Наладка средств измерений и систем технологического контроля: Справочное пособие/ А.С. Ключев, Л.М. Пин, Е.И. Коломиец и др.; Под ред. А.С.Ключева.-М.:Энергоатомиздат,1990- 400с.
13. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. - Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980.- 560с.
14. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры/ А.К. Быкадоров, Л.И. Кульбак, В.Ю. Лавриненко и др.; Под ред. В.Ю. Лавриненко.- М.: Высш. школа,1978.-320с.
15. Профос, П. Измерения в промышленности: справочник. В 3 кн. Кн. 2. Способы измерения и аппаратура / П. Профос; пер. с нем. – М.: Металлургия, 1990. – 384 с.
- 16.Семенов Б.Ю. Шина I2C в радиотехнических конструкциях. -- М.: «СОЛОН-Пресс», 2004. -- 224 с.
17. Соколова А.А., Суханова Н.Н., Смыслов В.И. Монокристаллические кремний сапфировые датчики температуры. - В кн.: Измерительные преобразователи механических и тепловых величин на базе микроэлектроники. - С. - Пб.: Лениздат,1996.- 231с.
18. Сопряжение датчиков и устройств в вода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ./Под ред. У. Томпкинса, Дж. Уэбстера.- М.: Мир, 1992.- 592с.
19. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. - М.: Энергоатомиздат, 1990.-320с.

20. Харт, Х. Введение в измерительную технику/ Х. Харт; пер. с нем. – М.: Мир, 1999. – 391 с.
21. Чистофорова, Н.В. Технические измерения и приборы. Ч. 1 Измерение теплоэнергетических параметров: учебное пособие / Н.В. Чистофорова, А.Г. Колмогоров. – Ангарск : АГТА.2008 – 200 с.
22. Amber S.W. The elements of UML style. – Cambridge, UK, 2003 – 146 с.
<https://readli.net/elements-of-uml-tm-style/>
23. Anderson D. Hypertransport system architecture. - Addison Wesley: San Francisco, 2003 – 546с. <https://1lib.education/book>
24. Balch M. Complete Digital Design: A Comprehensive Guide to Digital Electronics and Computer System Architecture. - McGraw-Hill, New York 2003. – 482 p. <https://readli.net>
25. De Witt, Nutter. Theory and Practice of Radiation Thermometry. – New York: John Wiley&Son, 1988 – 460 с. <http://www.bookre.org/reader?file=703444>
26. Karl Hoffmann. An Introduction to Measurements using Strain Gages. – Alsbach, Federal Republic of Germany, 1989 – 273 с. <https://ru.scribd.com>