

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

# РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы  
контроля качества и диагностики состояния объектов»  
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2019

УДК 621.396.6: 60  
ББК 32.844:30.16  
Р 15

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «07» декабря 2018 г.,  
протокол № 4

Составитель канд. техн. наук, доц. А. А. Афанасьев

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

В методических рекомендациях рассмотрены вопросы проектирования аналоговых и цифровых радиоэлектронных устройств, принципы их работы, приведены примеры решения типовых задач, задачи для самостоятельной работы. Составлены в соответствии с учебной программой по дисциплине «Радиоэлектронные устройства в системах контроля» для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» дневной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

## РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Технический редактор	А. Т. Червинская
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 16 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 7.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2019



## Содержание

1 Датчики аналоговых измерительных сигналов в радиоэлектронной аппаратуре .....	4
2 Датчики дискретных измерительных сигналов в радиоэлектронной аппаратуре .....	7
3 Аналоговые электронные устройства преобразования измерительных сигналов .....	8
4 Цифровые электронные устройства преобразования измерительных сигналов .....	14
5 Схемотехника электронных устройств на микроконтроллерах .....	19
5.1 Схемотехника подключения к микроконтроллерам аналоговых электронных устройств .....	19
5.2 Схемотехника подключения к микроконтроллерам дискретных электронных устройств .....	20
5.3 Схемотехника подключения к микроконтроллерам периферийного оборудования .....	21
6 Схемотехника и проектирование источников вторичного электропитания .....	26
6.1 Автономные источники питания .....	26
6.2 Источники вторичного электропитания .....	29
7 Разработка радиоэлектронных устройств в системах контроля .....	31
Список литературы .....	33



# 1 Датчики аналоговых измерительных сигналов в радиоэлектронной аппаратуре

Датчиками называют устройства, преобразующие входное воздействие любой физической величины (температуры, давления, частоты, силы света, электрического напряжения, тока и т. д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а иногда и для воздействия на управляемые процессы.

В зависимости от вида входной (измеряемой) величины различают датчики механических перемещений (линейных и угловых), скорости, ускорения, усилия, температуры, давления, пневматические, электрические, расходомеры и др.

По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина, различают неэлектрические и электрические датчики: постоянного тока (ЭДС или напряжения), амплитуды переменного тока (ЭДС или напряжения), частоты переменного тока (ЭДС или напряжения), сопротивления (активного, индуктивного или емкостного) и др.

Все датчики делятся на аналоговые и дискретные. К аналоговым относятся датчики, вырабатывающие аналоговые сигналы, пропорциональные изменению входной величины. Аналоговые сигналы теоретически могут иметь бесконечное число значений в пределах некоторого диапазона.

По принципу действия датчики делятся на параметрические и генераторные. Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал. Параметрические датчики входную величину преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра ( $R$ ,  $L$  или  $C$ ). Передать на расстояние изменение перечисленных параметров без энергонесущего сигнала (напряжения или тока) невозможно. Выявить изменение соответствующего параметра можно только по влиянию датчика на ток или напряжение. Поэтому параметрические датчики требуют применения специальных измерительных цепей с питанием постоянным или переменным током.

Примером аналогового параметрического датчика является датчик потенциометрического типа. Если потенциометр подключить к источнику питания (ИП), то он будет выполнять роль делителя напряжения и с его помощью можно изменять напряжение  $U_{\text{вых}}$  от 0 до  $U_{\Pi}$  (рисунок 1.1).

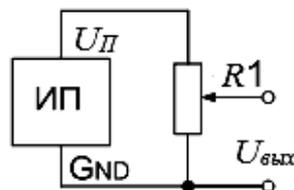


Рисунок 1.1 – Схема подключения потенциометра к источнику питания

**Задача 1.** К источнику питания с постоянной ЭДС  $E = 9$  В подключен потенциометр – резистивный преобразователь (РП) линейного перемещения, сопротивление которого  $R_{\Pi} = 150$  Ом (рисунок 1.2). Сопротивление резистора



$R_1 = 300 \text{ Ом}$ . В каком диапазоне будет изменяться  $U_{\text{вых}}$  при перемещении подвижного элемента РП?

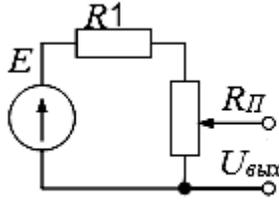


Рисунок 1.2 – Схема подключения резистивного преобразователя линейного перемещения к источнику питания

*Решение*

Определим ток, протекающий через резистор  $R_1$  и потенциометр  $R_{\text{П}}$ :

$$I = \frac{E}{R_1 + R_{\text{П}}} = \frac{9}{450} = 20 \text{ мА}. \quad (1.1)$$

Найдем  $U_{\text{вых}}$  при крайнем верхнем положении подвижного элемента  $R_{\text{П}}$ :

$$U_{\text{вых.max}} = I \cdot R_n = 0,02 \cdot 150 = 3 \text{ В}. \quad (1.2)$$

При крайнем нижнем положении подвижного элемента  $R_{\text{П}}$   $U_{\text{вых}} = 0 \text{ В}$ . Следовательно,  $U_{\text{вых}}$  будет изменяться от 0 до 3 В.

**Задача 2.** К источнику с постоянной ЭДС  $E = 12 \text{ В}$  последовательно подключены постоянный резистор с сопротивлением  $R_1 = 300 \text{ Ом}$  и резистивный преобразователь углового перемещения (потенциометр), сопротивление которого  $R_{\text{П}} = 300 \text{ Ом}$ . В каком диапазоне будет изменяться  $U_{\text{вых}}$  при перемещении подвижного элемента  $R_{\text{П}}$ ? Нарисуйте схему соединений указанных элементов.

**Задача 3.** К источнику с постоянной ЭДС  $E = 6 \text{ В}$  подключен терморезистор  $R_t$ , сопротивление которого под воздействием температуры, повышающейся от минус 50 до плюс 100 °С, изменяется от 2700 до 920 Ом (рисунок 1.3).

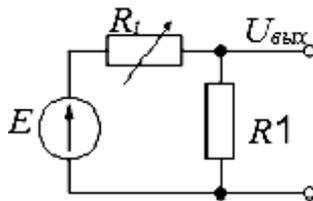


Рисунок 1.3 – Схема к задаче 3

Сопротивление резистора  $R_1 = 300 \text{ Ом}$ . В каком диапазоне будет изменяться  $U_{\text{вых}}$  при изменении температуры в указанном диапазоне?

**Задача 4.** В схеме измерительного моста (рисунок 1.4)  $R_2 = R_3 = R_4 = 300 \text{ Ом}$ . ЭДС источника питания  $E = 6 \text{ В}$ .  $R_t$  – терморезистор, сопротивление

которого при повышении температуры от минус 20 до плюс 80 °С изменяется от 300 до 200 Ом. Найдите диапазон изменения напряжения  $U_{a\bar{b}} = (U_a - U_{\bar{b}})$  при крайних значениях указанного температурного диапазона.

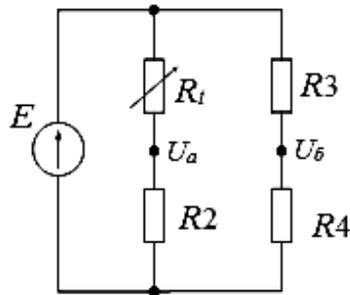


Рисунок 1.4 – Схема к задаче 4

**Задача 5.** Используя исходные данные к задаче 4, разработайте схему измерительного моста, которая позволит устанавливать  $U_{a\bar{b}} = 0$  В при нулевой температуре. Зависимость сопротивления  $R_t$  от температуры считайте линейной.

**Задача 6.** К источнику с постоянной ЭДС  $E = 9$  В подключен фотодиод, работающий в фотодиодном режиме (рисунок 1.5).

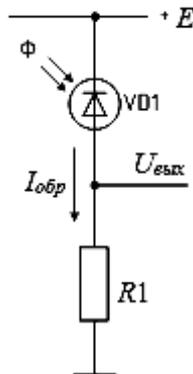


Рисунок 1.5 – Схема подключения фотодиода в качестве аналогового датчика

Последовательно с фотодиодом VD1 включен резистор нагрузки  $R1 = 24$  кОм. Через фотодиод VD1 и резистор R1 протекает обратный ток  $I_{обр}$ , величина которого варьируется при изменении потока излучения  $\Phi$ , падающего на светочувствительный слой фотодиода. Изменение потока излучения  $\Phi$  происходит под воздействием измеряемой величины X. При изменении потока от  $\Phi_{max}$  до  $\Phi_{min}$  обратный ток изменяется от  $I_{обр,max} = 230$  мкА до  $I_{обр,min} = 110$  мкА. Определите, в каком диапазоне будет изменяться  $U_{вых}$ .

## 2 Датчики дискретных измерительных сигналов в радиоэлектронной аппаратуре

К дискретным относятся датчики, вырабатывающие либо сигналы двух уровней – высокого (HIGH) или низкого (LOW) (иначе говоря, 0 или 1), либо генерирующие последовательность импульсов, пачки импульсов или одиночные импульсы.

На рисунке 2.1 приведена схема подключения к источнику питания с ЭДС  $E = +5$  В клавиши SA1, используемой в качестве дискретного датчика.

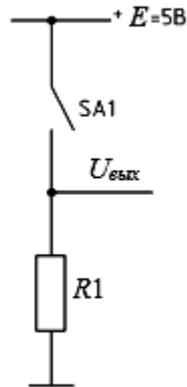


Рисунок 2.1 – Схема подключения дискретного датчика к источнику питания

Когда клавиша не нажата, нет никакой связи между двумя ее выводами, так что нижний вывод подключен к общей шине  $GND$  через резистор  $R1$  и  $U_{вых} = 0$  В. Это сигнал низкого уровня, или логический ноль. При нажатии на клавишу устанавливается соединение между двумя её выводами и  $U_{вых} = +5$  В. Это сигнал высокого уровня, соответствующий логической единице.

На рисунке 2.2 приведена схема дискретного датчика (клавиша SA1), вырабатывающего в цикле нажата/отжата совместно с асинхронным RS-триггером на DD1A и DD1B одиночные импульсы  $U_{вых}$ . С помощью такого датчика можно получать информацию не только о состоянии клавиши, но и о количестве её нажатий.

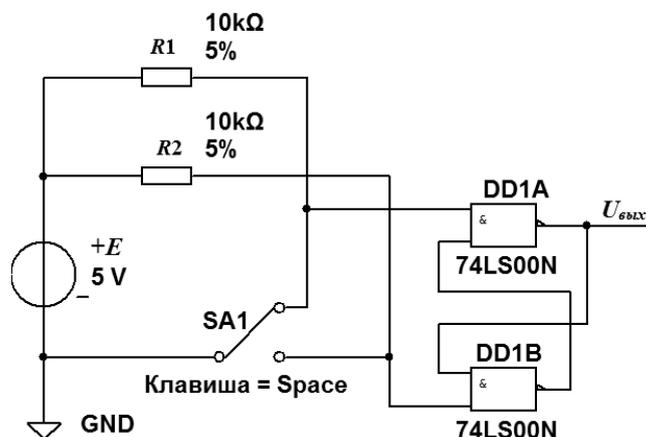


Рисунок 2.2 – Схема дискретного датчика – генератора одиночных импульсов

На рисунке 2.3 приведена схема дискретного датчика (клавиша SA1), при нажатии которой генератором на DD1 вырабатывается последовательность прямоугольных импульсов  $U_{вых}$ . Частота следования импульсов задаётся элементами  $R1$ ,  $R2$ ,  $C1$ . При отжатом состоянии клавиши SA1 импульсы на выходе генератора отсутствуют.

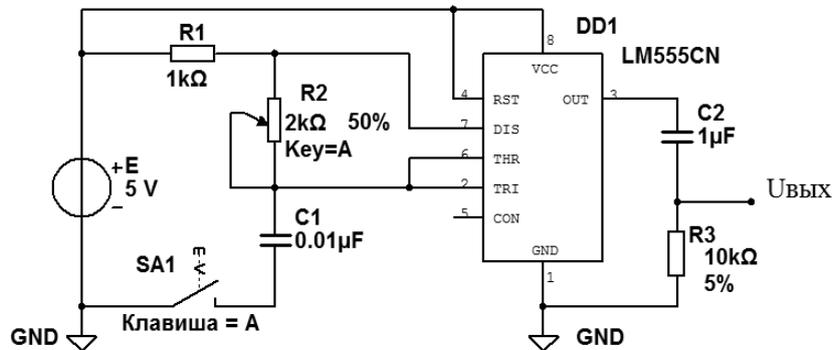


Рисунок 2.3 – Схема дискретного датчика – автогенератора прямоугольных импульсов

**Задача 1.** Разработайте электрическую принципиальную схему двух дискретных датчиков – генераторов одиночных импульсов, подключенных к одному источнику питания  $E$  с использованием одной микросхемы из серии К555, содержащей четыре логических элемента 2И-НЕ.

**Задача 2.** Составьте схему, приведенную на рисунке 2.2, в Multisim и исследуйте её работу, подключив к выходу RS-триггера осциллограф и световой индикатор.

**Задача 3.** Рассчитайте, в каком диапазоне будет изменяться частота генератора (см. рисунок 2.3) при изменении  $R2$  от 0 до 2 кОм, используя выражение

$$F_{\Gamma} = \frac{0,7}{(2 \cdot R1 + R2) \cdot C1} \quad (2.1)$$

**Задача 4.** Составьте схему, приведенную на рисунке 2.3, в Multisim и исследуйте её работу, подключив к выходу генератора осциллограф и частотомер. Сравните результаты моделирования с расчетными, полученными в задаче 3.

### 3 Аналоговые электронные устройства преобразования измерительных сигналов

Для усиления и преобразования выходных сигналов датчиков широко используются устройства на основе операционных усилителей (ОУ).

Схема усилителя с инвертирующим входом изображена на рисунке 3.1.

Коэффициент усиления по напряжению усилителя с инвертирующим входом

$$K_{yH} = -U_{вых}/U_{вх} = -R2/R1. \quad (3.1)$$

Знак «минус» показывает, что знак  $U_{вых}$  по отношению к  $U_{вх}$  меняется на противоположный.

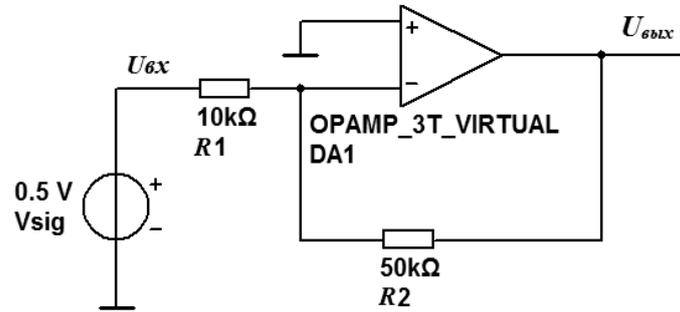


Рисунок 3.1– Усилитель с инвертирующим входом на ОУ

Схема усилителя с неинвертирующим входом изображена на рисунке 3.2.

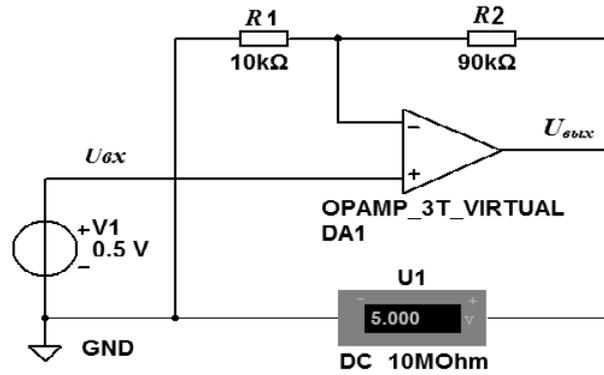


Рисунок 3.2 – Усилитель с неинвертирующим входом на ОУ

Коэффициент усиления по напряжению усилителя с неинвертирующим входом

$$K_{yH} = U_{вых}/U_{вх} = (R1 + R2)/R1. \quad (3.2)$$

Для усиления разностного сигнала используется схема на трёх операционных усилителях (рисунок 3.3).

Выходной сигнал такого усилителя

$$U_{вых} = (U_{вх2} - U_{вх1}) \left( \frac{R2 + R3}{R1} + 1 \right). \quad (3.3)$$

Выражение во второй скобке определяет коэффициент усиления

$$K_y = \frac{R2 + R3}{R1} + 1. \quad (3.4)$$

Усилитель на основе ОУ с дискретным управлением коэффициентом усиления представлен на рисунке 3.4.

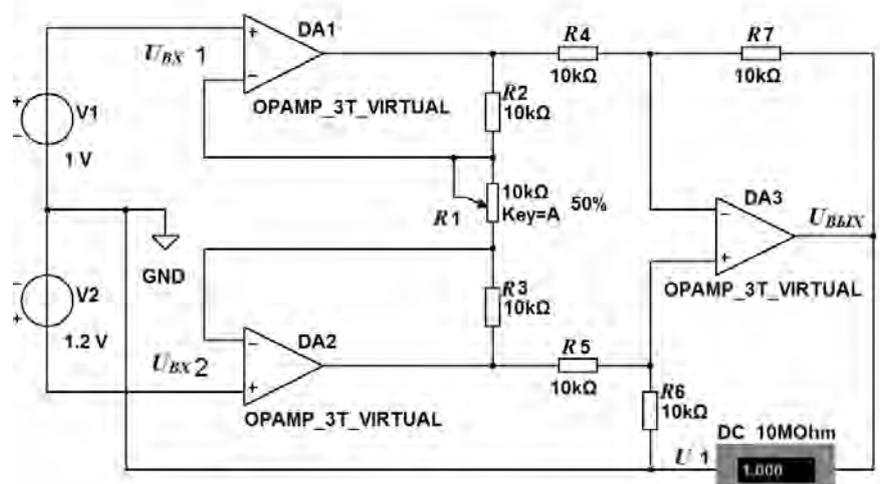


Рисунок 3.3 – Дифференциальный усилитель на трех ОУ

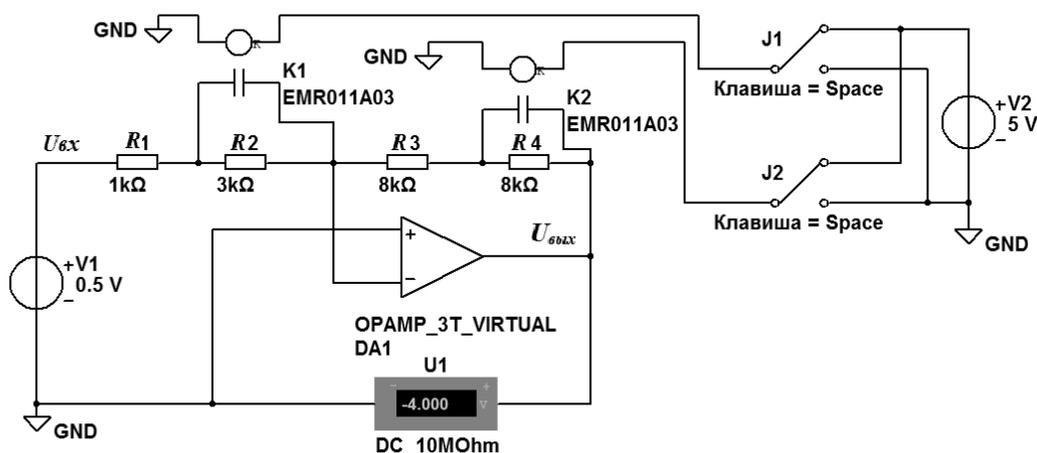


Рисунок 3.4 – Схема усилителя на ОУ с дискретным управлением коэффициентом усиления

Коэффициент усиления

$$K_{y1} = -(R3 + R4)/(R1 + R2). \quad (3.5)$$

Если резисторы  $R2$  и  $R4$  поочередно или одновременно шунтировать, например, с помощью электромагнитных реле  $K1$  и  $K2$ , управляемых клавишами  $J1$  и  $J2$ , то можно получить коэффициенты усиления

$$K_{y2} = -(R3 + R4) / R1; \quad (3.6)$$

$$K_{y3} = -R3 / (R1 + R2); \quad (3.7)$$

$$K_{y4} = -R3 / R1. \quad (3.8)$$

Для выделения полезного измерительного сигнала на фоне помех и ослабления амплитуд неинформативных сигналов применяются электрические фильтры. Для их построения широко используются ОУ. На рисунке 3.5 приведена схема однозвенного полосового фильтра (ПФ). ПФ реализован на четырёх операционных усилителях DA1–DA4.

Расчет и выбор элементов для ПФ осуществляется в соответствии с частотой полезного измерительного сигнала  $f_T$  и заданной полосой пропускания ПФ  $\Delta f_{ПФ} = (f_{C2} - f_{C1})$  (рисунок 3.6).

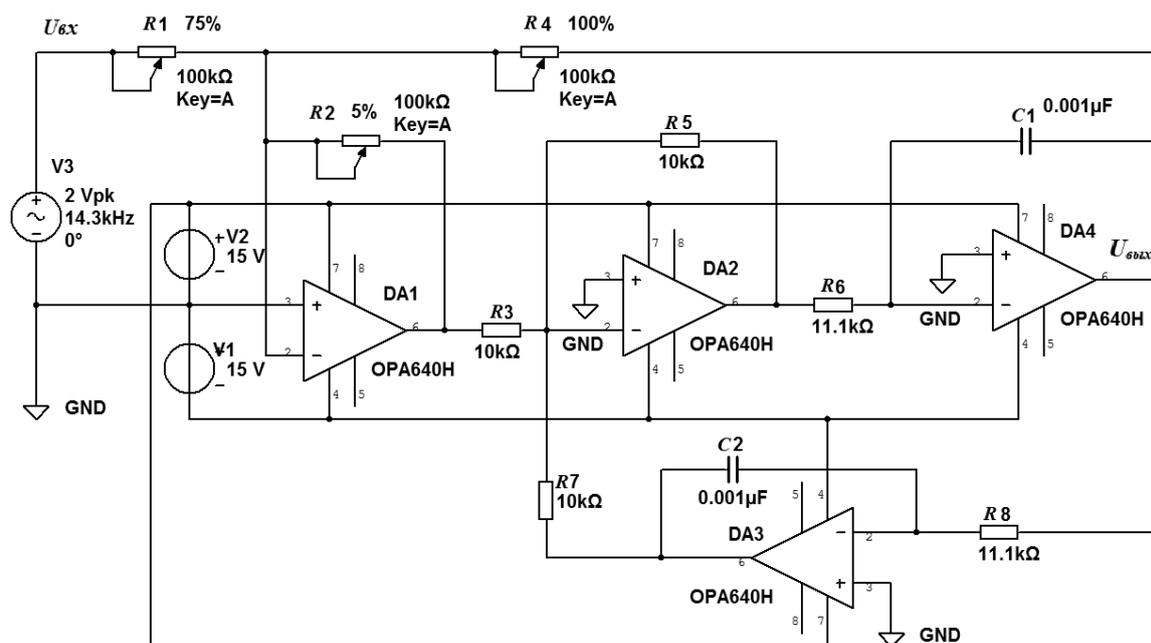


Рисунок 3.5 – Схема полосового фильтра на ОУ

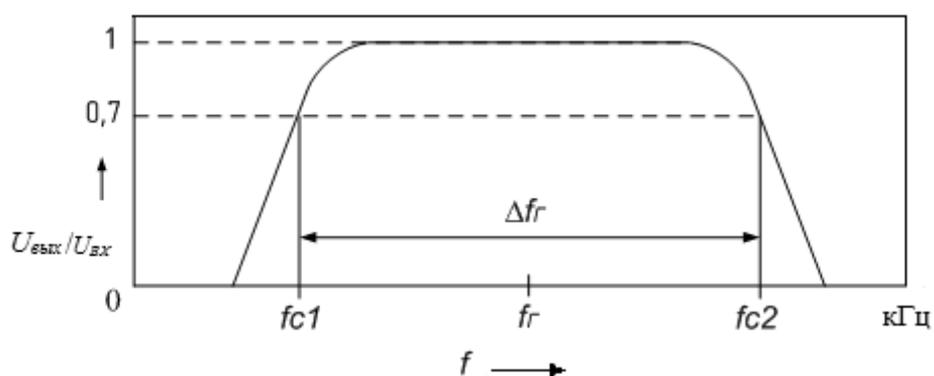


Рисунок 3.6 – Амплитудно-частотная характеристика ПФ

На частоте  $f_T$  работа ПФ описывается следующим выражением:

$$R_{\phi} \cdot C = \frac{1}{2\pi \cdot f_T}, \quad (3.9)$$

где  $R_\phi = R6 = R8$ .

Емкости конденсаторов обычно берут равными:

$$C2 = C3 = C. \quad (3.10)$$

Тогда

$$R_\phi = \frac{1}{2\pi \cdot f_\Gamma \cdot C}. \quad (3.11)$$

Значения сопротивлений резисторов  $R3 = R5 = R7 = R$  не критичны.

Добротность рассматриваемого полосового фильтра  $Q$  (определяется как отношение частоты  $f_\Gamma$  к полосе пропускания  $\Delta f_{ПФ}$ ) описывается выражением

$$Q = \frac{f_\Gamma}{\Delta f_{ПФ}}. \quad (3.12)$$

Добротность задаётся резисторами  $R4$  и  $R2$ :

$$Q = \frac{R4}{R2}. \quad (3.13)$$

Коэффициент усиления рассматриваемого полосового фильтра  $K_V$  описывается выражением

$$K_V = \frac{R4}{R1}. \quad (3.14)$$

$R1 = R4$  при  $K_V = 1$ .

Для преобразования переменных измерительных сигналов в постоянные применяются амплитудные детекторы. На рисунке 3.7 показан амплитудный детектор на операционном усилителе DA1.

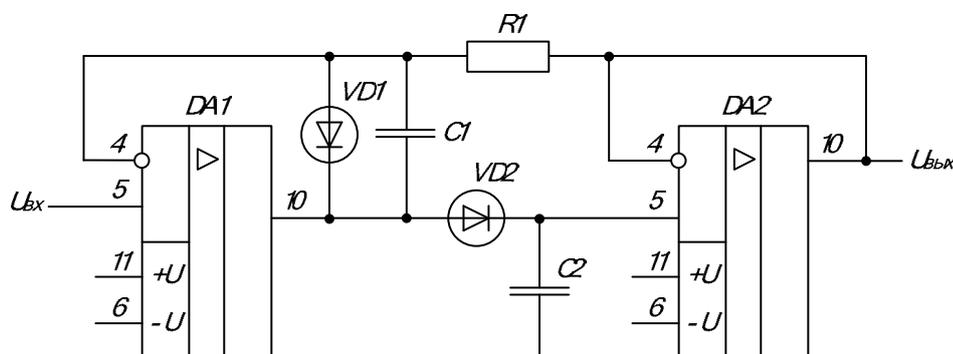


Рисунок 3.7 – Схема амплитудного детектора и повторителя напряжения

Конденсатор  $C2$  заряжается до амплитудного значения выходным напряжением операционного усилителя DA1. Для сглаживания пульсаций напряжения, формируемого на конденсаторе  $C2$ , используется конденсатор  $C1$ . На

операционном усилителе DA2 реализован повторитель напряжения. Он выполняет функцию согласования амплитудного детектора и нагрузки, т. к. обладает высоким входным сопротивлением.

**Задача 1.** Выполните расчет коэффициента усиления  $K_{УИ}$  инвертирующего усилителя по указанным на рисунке 3.1 параметрам элементов. Каким будет выходной сигнал, если на вход усилителя подать сигнал  $U_{вх} = 300$  мВ?

**Задача 2.** Составьте схему, приведенную на рисунке 3.1, в Multisim и исследуйте её работу, подключив к выходу усилителя мультиметр.

**Задача 3.** В составленной по рисунку 3.1 в Multisim схеме замените источник Vsig с постоянной ЭДС на источник с переменной ЭДС. Подключите к выходу усилителя осциллограф и получите на его экране изображение  $U_{вх}$  и  $U_{вых}$ . Определите их амплитуды и рассчитайте коэффициент усиления  $K_{УИ}$ .

**Задача 4.** Выполните расчет коэффициента усиления  $K_{УН}$  неинвертирующего усилителя по указанным на рисунке 3.2 параметрам элементов. Каким будет выходной сигнал, если на вход усилителя подать сигнал  $U_{вх} = 600$  мВ?

**Задача 5.** Составьте схему, приведенную на рисунке 3.2, в Multisim и исследуйте её работу по показаниям мультиметра U1.

**Задача 6.** В составленной по рисунку 3.2 в Multisim схеме замените источник V1 с постоянной ЭДС на источник с переменной ЭДС. Подключите к выходу усилителя осциллограф и получите на его экране изображение  $U_{вх}$  и  $U_{вых}$ . Определите их амплитуды и рассчитайте коэффициент усиления  $K_{УН}$ .

**Задача 7.** По формуле (3.4) выполните расчет коэффициента усиления  $K_{У}$  дифференциального усилителя по указанным на рисунке 3.3 параметрам элементов. Какими будут показания мультиметра U1, если сопротивление резистора R1 выставить равным 10, 5 и 2 кОм?

**Задача 8.** Составьте схему, приведенную на рисунке 3.3, в Multisim и исследуйте её работу по показаниям мультиметра U1, регулируя сопротивление резистора R1. Сравните результаты моделирования с расчетными, полученными при решении задачи 7.

**Задача 9.** В составленной по рисунку 3.3 в Multisim схеме замените источники V1 и V2 с постоянной ЭДС на источники с переменной ЭДС. Подключите к выходу усилителя осциллограф и получите на его экране изображение  $U_{вых}$ . По осциллограмме определите его амплитуду при  $R1 = 10, 5$  и  $2$  кОм. Рассчитайте коэффициенты усиления  $K_{У}$  при этих значениях R1 по полученным значениям  $U_{вых}$  и  $\Delta U_{вх} = U_{вх2} - U_{вх1}$ .

**Задача 10.** Выполните расчет коэффициентов усиления  $K_{У1}, K_{У2}, K_{У3}, K_{У4}$  инвертирующего усилителя по указанным на рисунке 3.4 параметрам элементов, используя формулы (3.5)–(3.8). Какими будут выходные сигналы, если на вход усилителя подать сигнал  $U_{вх} = 500$  мВ?



**Задача 11.** Составьте схему, приведенную на рисунке 3.4, в Multisim и исследуйте её работу, используя показания мультиметра. Изменения в схеме делайте с помощью реле К1 и К2 и клавиш J1 и J2. Сравните результаты моделирования с расчетными, полученными при решении задачи 10.

## 4 Цифровые электронные устройства преобразования измерительных сигналов

Большинство датчиков, от которых получают измерительную информацию о физических величинах, имеют аналоговые выходные сигналы. Для их ввода в цифровой прибор требуется предварительное преобразование в цифровой формат. Это делается с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП), которые преобразуют аналоговые значения в цифровые с заданной точностью.

При таком преобразовании осуществляется квантование аналогового сигнала, т. е. мгновенные значения аналогового сигнала ограничиваются определенными уровнями, называемыми уровнями квантования.

Характеристика идеального квантования имеет вид, приведенный на рисунке 4.1.

Квантование представляет собой округление аналоговой величины до ближайшего уровня квантования, т. е. максимальная погрешность квантования равна  $\pm 0,5h$  ( $h$  – шаг квантования).

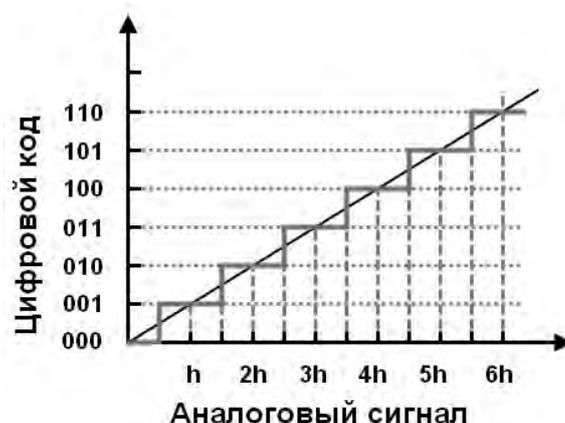


Рисунок 4.1 – Идеальное квантование аналогового сигнала

К основным характеристикам АЦП относят число разрядов, время преобразования  $t_{np}$ , величину опорного напряжения  $U_{on}$ , величину напряжения питания  $U_n$ , нелинейность и др. Число разрядов – количество разрядов кода, связанного с аналоговой величиной, которое может вырабатывать АЦП. Часто говорят о разрешающей способности АЦП, которую определяют величиной, обратной максимальному числу кодовых комбинаций на выходе АЦП. Так, 10-разрядный АЦП имеет разрешающую способность  $(2^{10} = 1024)^{-1}$ , т. е. при шкале АЦП, соответствующей 5 В, абсолютное значение шага квантования не

превышает 5 мВ. Время преобразования  $t_{np}$  – интервал времени от момента заданного изменения сигнала на входе АЦП до появления на его выходе соответствующего устойчивого кода.

Опорное напряжение определяет максимальное напряжение на входе АЦП, его значение соответствует коду 1023 для 10-разрядного АЦП. Например, при  $U_{on} = 5$  В и нулевом входном напряжении 10-разрядное АЦП выдаст на выходе 0, при входном напряжении 2,5 В на выходе будет значение 512 (половина от 1023), при входном напряжении 5 В выходной код будет равен 1023.

При  $U_{on} = 2,5$  В и нулевом входном напряжении 12-разрядное АЦП выдаст при нулевом входном напряжении на выходе 0, при входном напряжении 1,25 В на выходе будет значение 2048 (половина от 4095), при входном напряжении 2,5 В выходной код будет равен 4095. Очевидно, что чем выше разрядность АЦП и меньше  $U_{on}$ , тем меньше шаг квантования.

Широкое распространение получили АЦП в интегральном исполнении с последовательным считыванием данных. Они используются в составе микропроцессорных устройств.

Например, микросхема AD7417 фирмы Analog Device представляет собой 10-разрядный АЦП.

Основные параметры 10-разрядного АЦП AD7417:

- время преобразования – 15 мкс;
- количество аналоговых входов – 4;
- встроенный температурный датчик (от минус 55 до плюс 125 °С);
- встроенный индикатор превышения температурного порога;
- широкий диапазон напряжений питания (от плюс 2,7 до плюс 5,5 В);
- I<sup>2</sup>C-совместимый интерфейс.

Условное обозначение микросхемы приведено на рисунке 4.2.

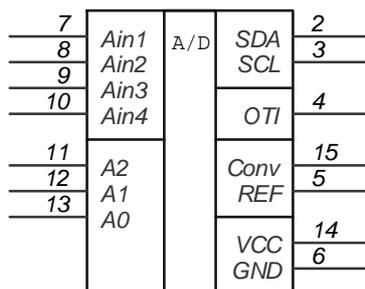


Рисунок 4.2 – Условное обозначение микросхемы АЦП AD7417

Назначение выводов:

- VCC – питание +5 В;
- GND – общий вывод;
- SDA – последовательная двунаправленная шина данных I<sup>2</sup>C;
- SCL – цифровой вход тактовых импульсов интерфейса I<sup>2</sup>C;
- OTI – выход цифрового сигнала индикатора превышения температурного порога. Выход устанавливается, если результат преобразования по каналу 0 больше, чем 8-битовое число, хранящееся в регистре OTR;



– REF – вход внешнего опорного напряжения +2,5 В. Чтобы использовать внутренний источник опорного напряжения, необходимо соединить этот вывод с выводом GND;

– Conv – вход цифрового сигнала начала аналого-цифрового преобразования. Если импульс больше 4 мкс, то его отрицательный фронт запускает цикл преобразования;

–  $A_{IN1} \dots A_{IN4}$  – аналоговые входные каналы;

– A0...A2 – три программируемых бита адреса микросхемы для последовательного интерфейса I<sup>2</sup>C.

Микросхема AD7994 фирмы AnalogDevice представляет собой 12-разрядный АЦП. Условное обозначение микросхемы приведено на рисунке 4.3.

1	AGND	A/D	AGND	16
2	AGND		SCL	15
3	AGND		SDA	14
4	AGND		ALERT	13
5	Vdd	ConvST	12	
6	REFin	AS	11	
7	Ain1	Ain2	10	
8	Ain3	Ain4	9	

Рисунок 4.3 – Условное обозначение микросхемы АЦП AD7994

Основные параметры 12-разрядного АЦП:

- количество аналоговых входов – 4;
- встроенный температурный датчик (от минус 55 до плюс 125 °С);
- встроенный индикатор превышения температурного порога;
- широкий диапазон напряжений питания (от плюс 2,7 до плюс 5,5 В);
- I<sup>2</sup>C –совместимый интерфейс.

Назначение выводов:

- Vdd – питание +5 В;
- AGND – общий вывод;
- SDA – последовательная двунаправленная шина данных I<sup>2</sup>C;
- SCL – цифровой вход тактовых импульсов интерфейса I<sup>2</sup>C;
- REFin – вход внешнего опорного напряжения. Чтобы использовать внутренний источник опорного напряжения, необходимо соединить этот вывод с выводом GND;

– ConvST – вход цифрового сигнала начала аналого-цифрового преобразования. Если импульс больше 4 мкс, то его отрицательный фронт запускает цикл преобразования;

– Vin1...Vin4 – аналоговые входные каналы.

Пример подключения АЦП AD7994 к микропроцессору серии MCS-51 с одним аналоговым датчиком приведен на рисунке 4.4. Аналоговый сигнал от датчика через разъём XS1 поступает на аналоговый вход Ain1 АЦП DA1. После преобразования данные считываются микропроцессором DD1 по шине SDA.

Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) предназначены для преобразования цифровых сигналов в аналоговые. Такое преобразование необходимо, например, при восстановлении аналогового сигнала, предварительно преобразованного в цифровой для передачи на большое расстояние или хранения (таким сигналом, в частности, может быть звук).

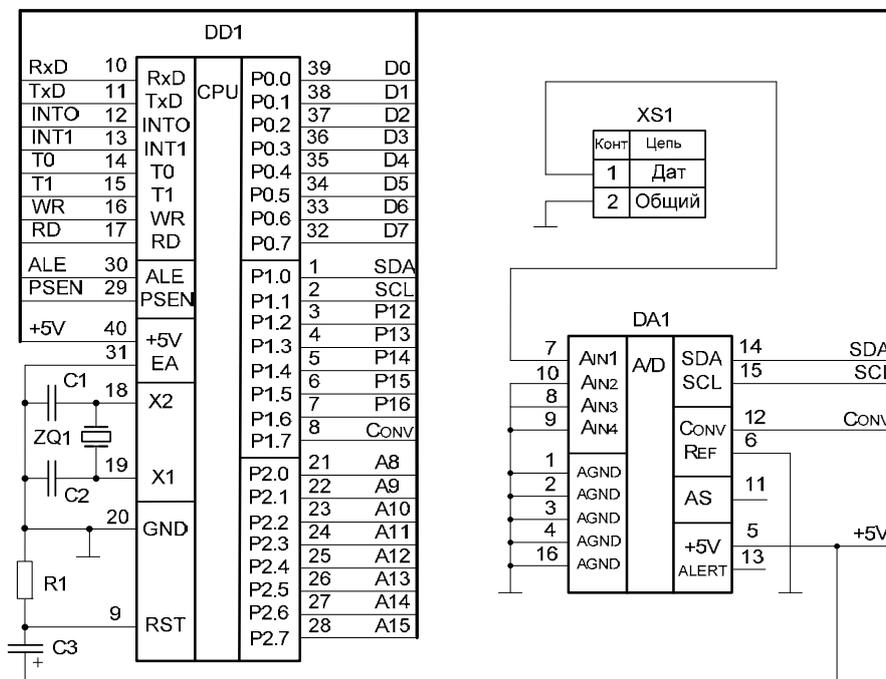


Рисунок 4.4 – Пример подключения АЦП AD7994 к микропроцессору серии MCS-51

Другой пример использования такого преобразования – получение управляющего сигнала при цифровом управлении устройствами, режим работы которых определяется непосредственно аналоговым сигналом (что, в частности, имеет место при управлении электродвигателями).

Основными параметрами ЦАП являются:

- шаг квантования (разрешающая способность) – приращение выходного сигнала при изменении входного кода на единицу младшего разряда. Определяется числом разрядов: чем больше число разрядов, тем меньше шаг квантования;
- диапазон изменения выходного сигнала или максимальное выходное напряжение  $U_{\max}$ ;
- максимальная частота преобразования  $f_{\max}$ , при которой параметры преобразователя соответствуют заданным значениям.

Данная характеристика определяет быстродействие преобразователя. Оно оценивается по времени изменения сигнала на выходе при изменении старшего разряда входного кода.

Не менее важными параметрами ЦАП являются метрологические характеристики. Их получают, сравнивая идеальную характеристику преобразования с реальной. Характеристика преобразования – это ступенчатая кривая, получаемая на выходе ЦАП при последовательном изменении входного кода от минимального до максимального. Если аппаратных погрешностей нет, то средние точки

ступенек характеристики располагаются на прямой линии. В реальных преобразователях размеры и форма ступенек могут отличаться от идеальных.

Максимальное отклонение значения выходного сигнала от идеального во всем диапазоне преобразования – это нелинейность преобразователя. Измеряется в долях кванта или по отношению к диапазону изменения выходного сигнала. Оценивают также разность между максимальными расчетными и фактическими значениями выходного сигнала (погрешность шкалы), смещение характеристики преобразования, значение шумов, чувствительность к изменению напряжения питания, температурную стабильность и др.

Микросхемы ЦАП, выпускаемые промышленностью, различаются количеством разрядов (от 8 до 24), быстродействием (время преобразования от наносекунд до микросекунд), величиной опорного напряжения, погрешностью преобразования и другими параметрами. На рисунке 4.5 приведена схема для моделирования работы 8-разрядного ЦАП IDAC8 в Multisim.

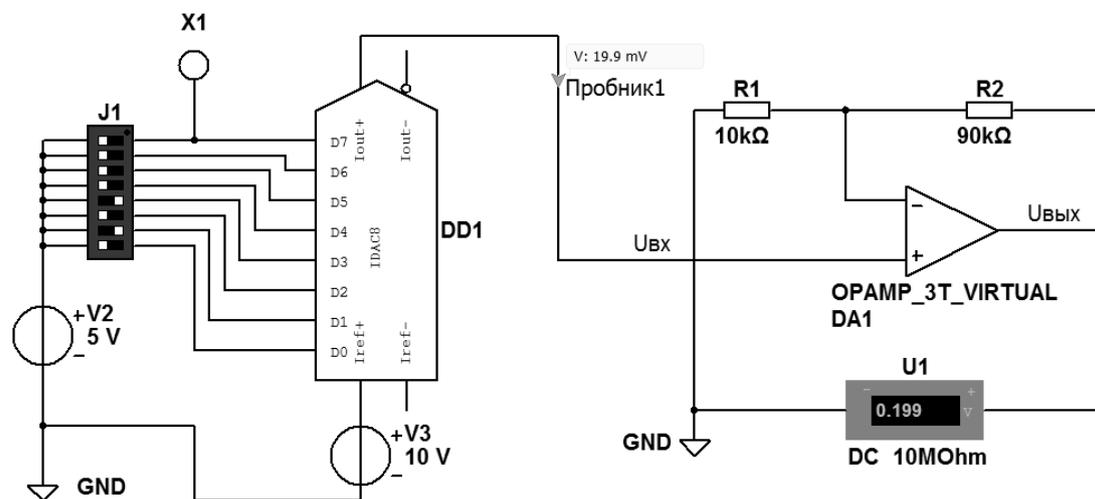


Рисунок 4.5 – Схема для моделирования работы ЦАП IDAC8 в Multisim

На входы D7–D0 ЦАП DD1 подается 8-разрядное двоичное число с помощью переключателей J1. Опорное напряжение на ЦАП поступает от источника V3. Выходной сигнал ЦАП усиливается усилителем на DA1.

**Задача 1.** Разработайте схему подключения трех аналоговых датчиков к АЦП AD7994, работающему совместно с микропроцессором серии MCS-51.

**Задача 2.** Разработайте схему подключения АЦП AD7417 к микропроцессору серии MCS-51.

**Задача 3.** По величине двоичного кода, выставленного на входах D7–D0 DD1, и показаниям пробника 1 определите шаг квантования ЦАП.

**Задача 4.** По величине параметров R1 и R2 усилителя на ОУ DA1 определите его коэффициент усиления.

**Задача 5.** Разработайте схему в Multisim для моделирования работы 16-разрядного ЦАП IDAC16.

## 5 Схемотехника электронных устройств на микроконтроллерах

### 5.1 Схемотехника подключения к микроконтроллерам аналоговых электронных устройств

Совместимость микроконтроллеров и аналоговых электронных устройств обеспечивают АЦП и ЦАП. Диапазоны входных и выходных сигналов АЦП и ЦАП не всегда совпадают с диапазонами сигналов, генерируемых аналоговыми источниками, и с диапазонами сигналов, обеспечивающими работу аналоговых исполнительных элементов. В этом случае возникает необходимость в использовании между ними дополнительных буферных устройств – усилителей напряжения или мощности. На рисунке 5.1 приведена схема, обеспечивающая согласование выходного сигнала аналогового датчика с входом АЦП.

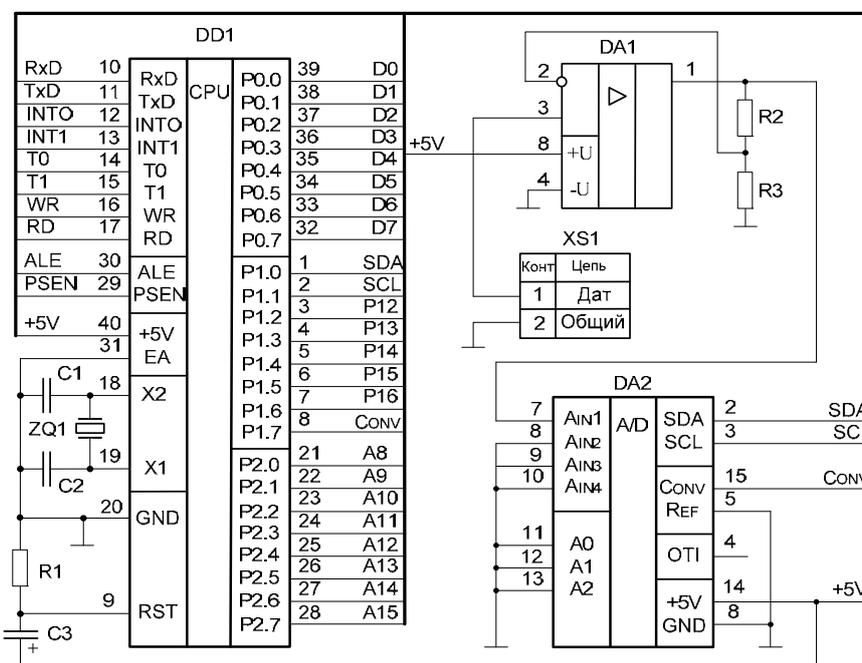


Рисунок 5.1 – Пример согласования выхода датчика с входом АЦП в микропроцессорном устройстве

Аналоговый сигнал от датчика через разъем XS1 поступает на вход усилителя на DA1 и далее – на АЦП DA2, после преобразования в цифровой код считывается микроконтроллером DD1.

**Задача 1.** Разработайте схему согласования двух аналоговых датчиков с максимальными выходными сигналами  $U_{\text{вых.дат.1}} = 126$  мВ и  $U_{\text{вых.дат.2}} = 153$  мВ с АЦП AD7417.

**Задача 2.** Разработайте схему согласования трех аналоговых датчиков с максимальными выходными сигналами  $U_{\text{вых.дат.1}} = 112$  мВ,  $U_{\text{вых.дат.2}} = 145$  мВ и  $U_{\text{вых.дат.3}} = 128$  мВ с АЦП, встроенным в микроконтроллер ATmega328.

## 5.2 Схемотехника подключения к микроконтроллерам дискретных электронных устройств

На рисунке 5.2 приведена схема подключения дискретного датчика к контроллеру Arduino.

При нажатии клавиши соединяются две точки цепи. Когда клавиша не нажата, нет никакой связи между двумя ее выводами, так что нижний вывод подключен к общей шине GND через резистор  $R1$  и на вход D2 контроллера подается сигнал низкого уровня, или логический нуль. При нажатии на клавишу устанавливается соединение между двумя её выводами и на вход D2 подается +5 В или сигнал высокого уровня, соответствующий логической единице.

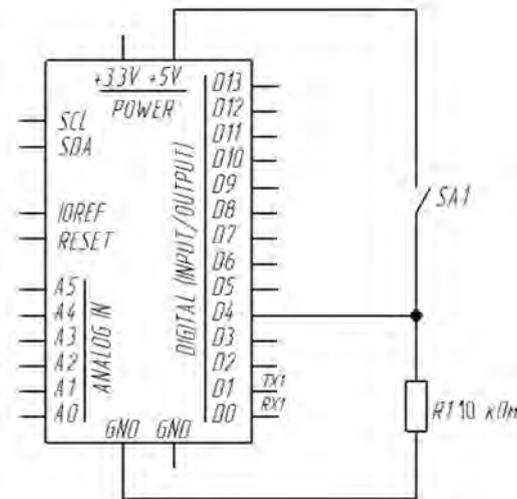


Рисунок 5.2 – Схема подключения дискретного датчика к контроллеру Arduino

Если не использовать резистор  $R1$  и оставить нижний вывод клавиши SA1 неподключенным к общей шине GND, то напряжение на входе D2 будет изменяться хаотично. Это приведет к случайному формированию на нём сигнала высокого или низкого уровня.

На рисунке 5.3 приведена схема подключения клавиатуры к контроллеру MCS-51.

Сканирование клавиш осуществляется программно последовательной передачей сигналов от DD1 по проводникам INT0–INT1 и их приемом и анализом по проводникам P10–P16.

**Задача 1.** Разработайте схему подключения четырех дискретных датчиков к входам D1, D3, D6, D7 контроллера, изображенного на рисунке 5.2.

**Задача 2.** Разработайте схему подключения трех дискретных датчиков к входам D5, D6, D8 контроллера, изображенного на рисунке 5.2.

**Задача 3.** Разработайте схему подключения двенадцати клавиш к контроллеру, изображенному на рисунке 5.3.

**Задача 4.** Разработайте схему подключения шестнадцати клавиш к контроллеру, изображенному на рисунке 5.3.

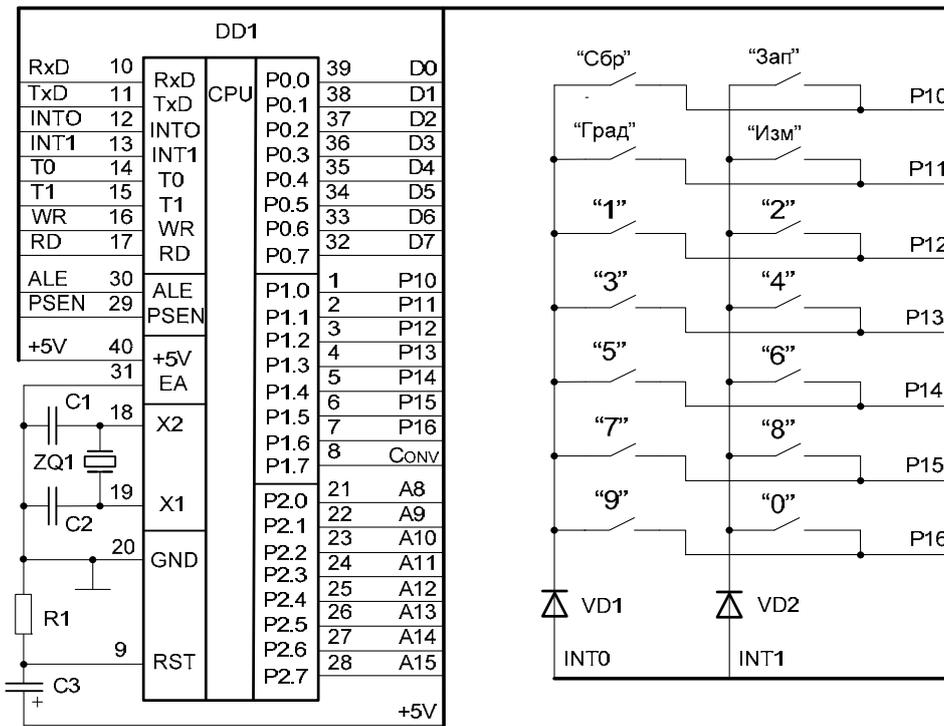


Рисунок 5.3 – Схема подключения клавиатуры к контроллеру MCS-51

### 5.3 Схемотехника подключения к микроконтроллерам периферийного оборудования

К периферийному оборудованию приборов на основе контроллеров, кроме рассмотренных ранее датчиков, относятся дисплеи, устройства сигнализации, исполнительные устройства и др.

На рисунке 5.4 показан 4-разрядный семисегментный LED-индикатор с I2C драйвером TM1637. Он имеет следующие характеристики:

- четыре семисегментные цифры и разделительные точки с общим анодом;
- четыре контакта подключения;
- регулируемая яркость – до восьми уровней яркости;
- логические уровни – 5 или 3,3 В;
- ток потребления – до 80 мА.

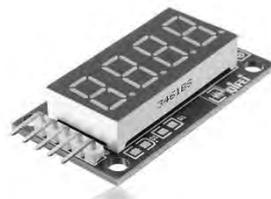


Рисунок 5.4 – Внешний вид 4-разрядного LED-дисплея с I2C драйвером TM1637

Интерфейс управления:

- GND – общий;
- VCC – питание;

- DIO – вход данных;
- CLK – вход стробирования данных.

Схема подключения к контроллеру ArduinoNano 4-разрядного LED-дисплея с I2C драйвером TM1637 показана на рисунке 5.5.

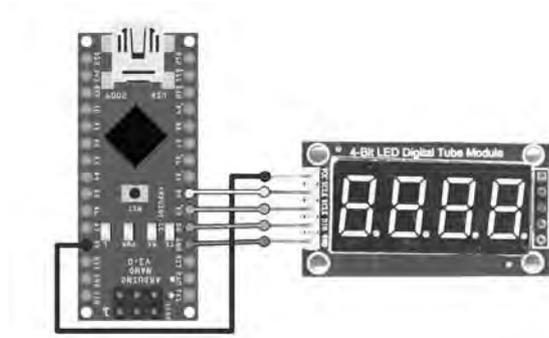


Рисунок 5.5 – Схема подключения к контроллеру ArduinoNano 4-разрядного LED-дисплея с I2C драйвером TM1637

На рисунке 5.6 изображена микросхема жидкокристаллического индикатора (ЖКИ) WM-C1602N.

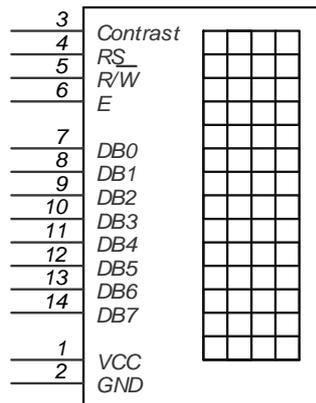


Рисунок 5.6 – Условное обозначение на схемах микросхемы ЖКИ WM-C1602N

Она имеет две строки по 16 символов. Индикатор работает под управлением встроенного контроллера. Назначение выводов у этой микросхемы следующее:

- VCC – питание +5 В;
- GND – общий вывод;
- Contrast – вход для регулировки контрастности изображения символов на индикаторе;
- RS – вход выбора регистра: 0 – регистр команд; 1 – регистр данных;
- RW – выбор режима записи или чтения;
- E – вход разрешения чтения/записи;
- DB0–DB7 – выводы для передачи данных.

Схема подключения к контроллеру Arduino LCD-дисплея 1602 показана на рисунке 5.7.

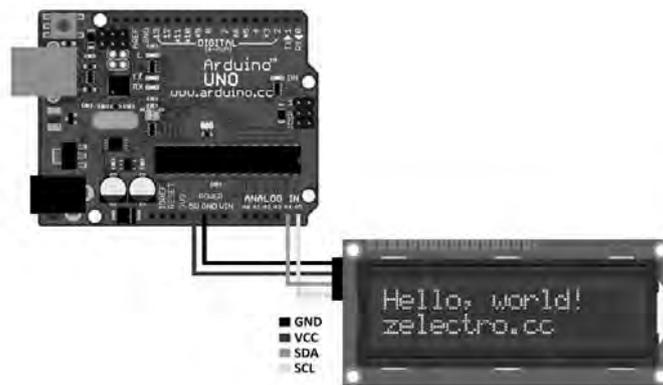


Рисунок 5.7 – Схема подключения к контроллеру Arduino LCD-дисплея 1602

Модуль оборудован четырехпиновым разъемом, в котором:

- SCL – последовательная линия тактирования (SerialClock);
- SDA – последовательная линия данных (SerialData);
- VCC – «+» питания;
- GND – «-» питания.

Для работы с данным модулем используется библиотека LiquidCrystal\_I2C1602V1.

На рисунке 5.8 показана микросхема жидкокристаллического индикатора WM-C1602N совместно с клавиатурой.

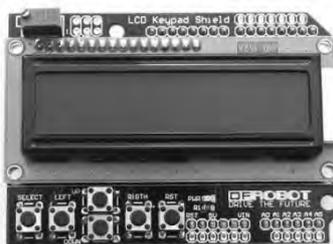


Рисунок 5.8 – Жидкокристаллический индикатор WM-C1602N с клавиатурой

В состав платы входят LCD-дисплей и шесть кнопок. Пины 4–10 задействованы для управления LCD. На аналоговый пин 0 считываются сигналы с кнопок. Дисплей в данной сборке работает в четырехбитном режиме.

Подключение производится путем стыковки дисплея с платой из семейства Arduino (Diecimila, Duemilanove, UNO, Mega, Mega2560, Mega ADK).

Управление мощными исполнительными устройствами, подключаемыми к цифровым приборам, может быть реализовано с помощью электромагнитного реле. На рисунке 5.9 показан внешний вид реле SRD-05VDC.

Данное реле управляется напряжением 5 В и способно коммутировать до 10А 30В DC и 10А 250 В AC.

Реле имеет две отдельные цепи: цепь управления, представленную контактами A1, A2, и управляемую цепь, представленную контактами 1, 2, 3. Цепи никак не связаны между собой (рисунок 5.10).



Рисунок 5.9 – Внешний вид реле SRD-05VDC

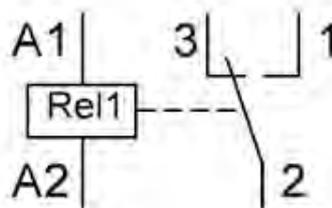


Рисунок 5.10 – Коммутационная схема реле SRD-05VDC

Релейный модуль имеет три вывода:

- 1) VCC: «+» питания;
- 2) GND: «-» питания;
- 3) IN: вывод входного сигнала.

Электрическая функциональная схема реле SRD-05VDC приведена на рисунке 5.11. В управлении реле используются следующие детали: резистор  $R1$ ,  $p-n-p$ -транзистор  $VT1$ , диод  $VD1$  и реле  $Rel1$ . Два светодиода установлены для индикации:  $LED1$  (красный) предназначен для индикации подачи питания на модуль реле;  $LED2$  (зеленый) свидетельствует о замыкании контактов реле. Так как транзистор  $p-n-p$ -типа, то для его открытия нужно подать на базу 0 В, через него потечет ток и реле сработает. Для отключения реле следует закрыть транзистор  $VT1$ , подав на его базу +5 В.

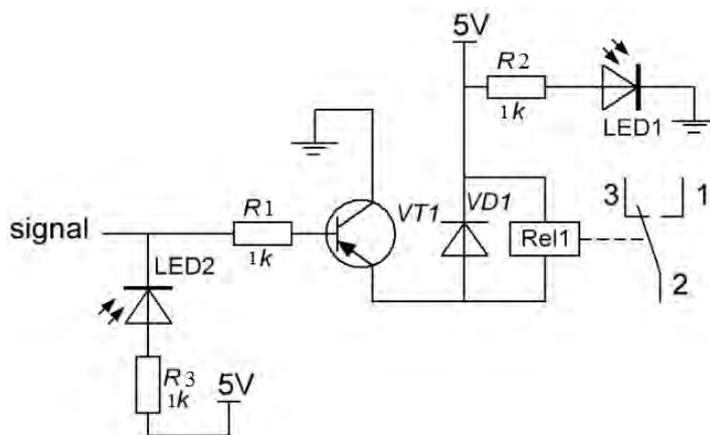


Рисунок 5.11 – Электрическая схема реле SRD-05VDC

Схема подключения реле к контроллеру Arduino представлена на рисунке 5.12.

Управление электродвигателем. Напрямую к цифровым контактам Arduino можно подключать только устройства, потребляющие небольшую мощность, например, светодиод или спикер. Для доказательства следует рассмотреть возможность подключения электродвигателя с сопротивлением 10 Ом. При напряжении +5 В (выдаваемом пином Arduino) в соответствии с законом Ома  $U = IR$  через мотор потечет ток  $I = U/R = 5/10 = 0,5 \text{ A} = 500 \text{ mA}$ , что намного больше, чем допустимый ток через цифровой контакт Arduino, равный 40 мА. Поэтому при подключении электродвигателя непосредственно к контакту Arduino контроллер может выйти из строя.

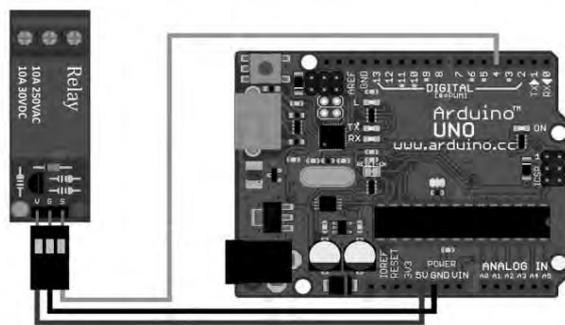


Рисунок 5.12 – Схема подключения реле к контроллеру ArduinoUNO

Для управления электродвигателем можно использовать реле. Схема подключения электродвигателя к контроллеру через реле приведена на рисунке 5.13.

Работу электродвигателя также можно реализовать в реверсивном режиме (обеспечить вращение в обе стороны). Для этого нужно использовать два реле (рисунок 5.14).

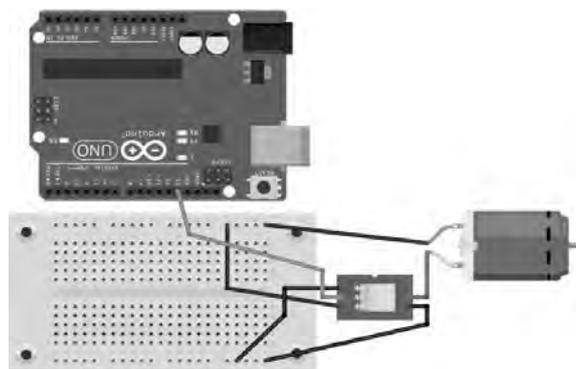


Рисунок 5.13 – Схема подключения электродвигателя к контроллеру через реле

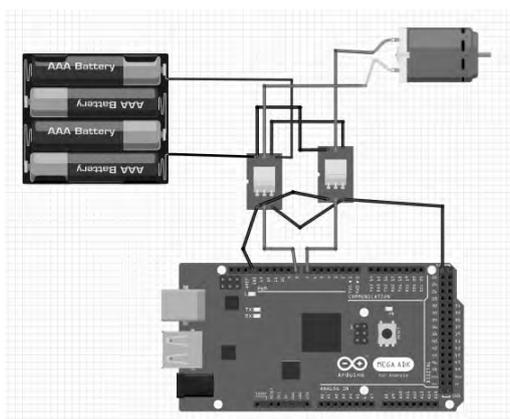


Рисунок 5.14 – Схема подключения электродвигателя к контроллеру, обеспечивающая реверс вращения

**Задача 1.** Разработайте принципиальную схему подключения к контроллеру ArduinoNano 4-рядного LED-дисплея с I2C драйвером TM1637.

**Задача 2.** Разработайте принципиальную схему подключения к контроллеру ArduinoUNO LCD-дисплея 1602.

**Задача 3.** Разработайте принципиальную схему подключения к контроллеру ArduinoUNO реле SRD-05VDC.

**Задача 4.** Разработайте принципиальную схему подключения к контроллеру ArduinoUNO электродвигателя через реле SRD-05VDC.

**Задача 5.** Разработайте принципиальную схему, обеспечивающую реверс вращения электродвигателя, на контроллере ArduinoUNO с использованием двух реле SRD-05VDC.

## 6 Схемотехника и проектирование источников вторичного электропитания

### 6.1 Автономные источники питания

В связи с быстрым развитием портативных цифровых приборов для питания их электрической энергией применяются автономные источники: одноразовые гальванические элементы и элементы многоразового использования – аккумуляторы.

В гальванических элементах используются реактивы для одноразового получения электрической энергии. Как только взаимодействие реактивов прекращается, выработка элементом электрической энергии завершается. Производство такой электроэнергии чрезвычайно дорого, а использованные элементы без правильной утилизации сильно загрязняют окружающую среду. В них содержится не прореагировавшая щелочь – хлорид аммония. Практический опыт показал, что в природе такие остатки щелочи постепенно убивают вокруг все живые организмы, растения, разъедают кожу. Поэтому оборот данных элементов стараются ограничивать, а их стоимость с каждым годом повышается.

Для исправления данной проблемы были изобретены аккумуляторы. При обратном протекании тока в них реактивы восстанавливаются до первоначального состояния. Однако в обращении с аккумуляторами есть ряд нюансов – они требуют особого контроля за зарядом и разрядом, и его нарушение приводит к повреждению аккумулятора, а иногда – к пожару и взрыву.

Производимые в настоящее время аккумуляторы отличаются технологией изготовления и химическим составом.

*Никель-металлгидридные* (NiMH) аккумуляторы имеют высокую электрическую емкость, способны быстро заряжаться, а также отличаются высочайшей надежностью. Они идеально подходят для питания устройств с высоким энергопотреблением, обеспечивают более чем в 3 раза большую продолжительность их работы по сравнению с щелочными батарейками, могут быть перезаряжены до 1000 раз, экологически безопасны, поскольку не содержат опасных веществ, таких как кадмий или ртуть.

*Никель-кадмиевые* (NiCd) аккумуляторы обладают увеличенным сроком

службы, однако продолжительность разряда у них меньше, чем у NiMH-аккумуляторов. Они являются наиболее дешевыми и могут обеспечить до 1000 циклов заряда-разряда. Эти аккумуляторы хорошо зарекомендовали себя при низких температурах и в жестких условиях эксплуатации.

*Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы* очень легкие и имеют увеличенную электрическую емкость.

*Свинцово-кислотные аккумуляторы* используются для питания устройств с высоким энергопотреблением, не имеют эффекта памяти, не поддаются быстрой зарядке. Среди современных аккумуляторных батарей семейство свинцово-кислотных аккумуляторов имеет самую низкую плотность энергии, которая измеряется в ваттах на килограмм, что делает их непригодными для портативных устройств, которым требуется компактный источник питания.

Номинальное напряжение NiMH- и NiCd-аккумуляторов – 1,2 В, Li-ion-аккумуляторов – 3,6...3,7 В, а свинцово-кислотных – 2, 6, 12 В и т. д.

Не существует универсального способа зарядки, который подходил бы для всех аккумуляторов. Разные типы аккумуляторов используют разные химические процессы, обеспечивающие их работу. В результате разные типы аккумуляторов необходимо заряжать по-разному. Неправильная зарядка аккумулятора может существенно сократить срок его службы или вывести его из строя без возможности восстановления.

Зарядные устройства должны обеспечивать выполнение следующих функций: защиту от перегрева аккумулятора при зарядке (перегрев может вызвать дальнейшее возгорание), автоматическое выключение подачи тока при полной зарядке аккумулятора, что значительно увеличивает срок его службы, полную разрядку аккумулятора перед процессом зарядки, что очень важно, особенно для никель-кадмиевых батарей. В этом случае не образуется так называемый эффект памяти, когда аккумуляторы постепенно теряют емкость, если начинать зарядку не с нуля и заканчивать не на 100 %.

Рассмотрим пример зарядного устройства для никель-кадмиевых аккумуляторов. Традиционная зарядка никель-кадмиевых аккумуляторов током, значение которого в 10 раз меньше емкости аккумулятора, требует значительного времени, поскольку в этом случае для гарантированной полной зарядки необходимо затратить более десяти часов.

Между тем аккумуляторы можно безопасно заряжать и большими токами, соответственно, сокращая время зарядки. При этом, однако, необходим постоянный контроль за состоянием заряжаемого аккумулятора, чтобы избежать его выхода из строя.

Момент, когда никель-кадмиевый аккумулятор полностью заряжен, можно надежно установить, измеряя зависимость его напряжения от времени зарядки. Периодически измеряя напряжение на заряжаемом аккумуляторе, определяют момент, когда напряжение начнет уменьшаться, и прекращают зарядку или переводят зарядное устройство в безопасный режим зарядки малым током.

Второй параметр, который принято контролировать при быстрой зарядке, – время. Его рассчитывают исходя из тока быстрой зарядки, и даже если за это время напряжение на аккумуляторе не достигло максимума, зарядку прекращают.

Для создания зарядных устройств выпускаются специализированные микросхемы, которые выполняют вышеперечисленные функции контроля и управления. К их числу относится, например, микросхема МАХ713. Она позволяет заряжать как единичный элемент, так и батарею, состоящую из нескольких аккумуляторов.

Контрольное время для быстрой зарядки может быть установлено в пределах от 22 до 264 мин (восемь дискретных значений), а ток – в пределах от  $4C$  до  $0,33C$  ( $C$  – емкость аккумулятора в миллиамперах в час). Все эти параметры устанавливаются программно. Предусмотрена в микросхеме МАХ713 и функция контроля температуры заряжаемого аккумулятора.

По окончании режима быстрой зарядки ток снижают до значений, безопасных в течение длительного периода. В микросхеме МАХ713 это значение выбрано около 30 мА и не зависит от тока быстрой зарядки.

Принципиальная схема зарядного устройства на микросхеме МАХ713 приведена на рисунке 6.1.

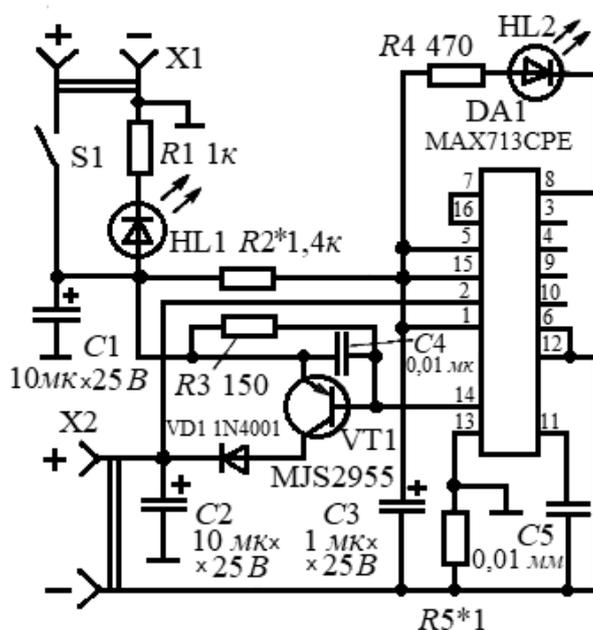


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема зарядного устройства на микросхеме МАХ713

Источник питания напряжением 12 В подключают к разъему Х1. Он должен обеспечивать ток нагрузки, по крайней мере, на 50 мА больше максимального зарядного тока. Светодиод HL1 индицирует работу устройства в целом, а светодиод HL2 – режим быстрой зарядки. Если он не светится, то это означает, что зарядка закончена. Аккумулятор (батарею) подключают к разъему Х2. Зарядный ток регулирует транзистор VT1. Если после включения устройства с подключенным аккумулятором светодиод HL2 не светится, значит, аккумулятор заряжен.

Приведенные на схеме номиналы элементов соответствуют минимальному напряжению источника питания 12 В и току зарядки 0,25 А. При напряжении питания 12 В можно заряжать батареи не более чем из семи аккумуляторов.

**Задача 1.** Определите из справочных источников основные параметры микросхемы MAX713.

**Задача 2.** Разработайте принципиальную схему зарядного устройства на контроллере ArduinoUNO для зарядки батареи из трех NiMH-аккумуляторов.

## 6.2 Источники вторичного электропитания

При использовании для питания приборов сетевого переменного напряжения 220 В требуются специальные устройства, понижающие его амплитуду, обеспечивающие его выпрямление и стабилизацию. Для повышения метрологических характеристик приборов, питающихся от автономных источников, их выходные напряжения также стабилизируют в силу изменения ЭДС с течением времени.

Для формирования однополярного стабилизированного напряжения может быть использована одна из многочисленных микросхем стабилизаторов напряжения с типовой схемой включения. На рисунке 6.2 это микросхема DA1 (например, КР1157ЕН15В, максимальный ток нагрузки которой равен 0,25 А, а выходное стабилизированное напряжение  $U_{\text{вых.стаб}} = (15 \pm 0,3) \text{ В}$ ).

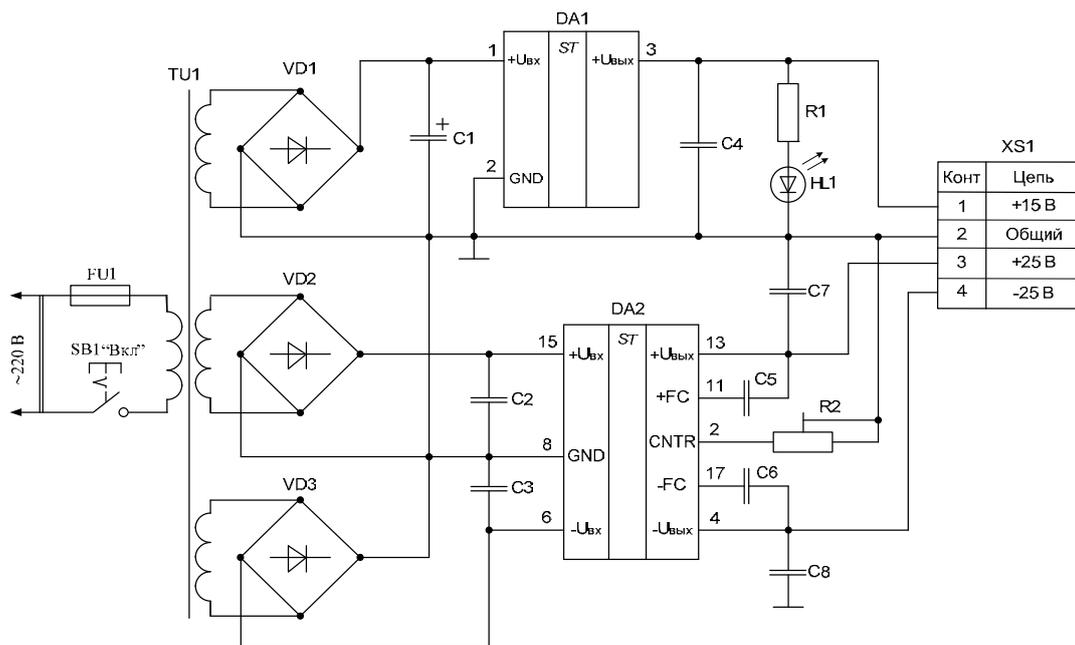


Рисунок 6.2 – Схема стабилизированного источника питания с однополярным и двухполярным выходным напряжением

На этом же рисунке микросхема DA2 выдаёт в нагрузку двухполярное стабилизированное напряжение. Если взять DA2 КР142ЕН6 с регулируемым выходным напряжением, максимальный ток нагрузки которой равен 0,2 А, выходное стабилизированное напряжение  $U_{\text{вых.стаб}}$  может быть установлено с помощью подстроечного резистора R2 в диапазоне от  $\pm 15$  до  $\pm 25$  В.

Понижение амплитуды сетевого напряжения до требуемых значений осуществляется с помощью трансформатора TU1.

Для выпрямления переменного напряжения используются мостовые диодные выпрямители VD1–VD3.

Светодиод HL1 выполняет функцию индикатора включенного состояния источника питания.

Сопrotивление резистора  $R1$ , обеспечивающее токовый режим работы светодиода HL1,

$$R1 = \frac{U_n - U_{np}}{I_{np.HL1}}, \quad (6.1)$$

где  $I_{np.HL1}$  – прямой ток светодиода, А;

$U_n$  – напряжение питания, В;

$U_{np}$  – падение напряжения на светодиоде в рабочем режиме, В.

Мощность, рассеиваемая на светодиоде при протекании через него прямого тока,

$$P_{R1} = (I_{np.HL1})^2 \cdot R1. \quad (6.2)$$

Ёмкость конденсатора  $C1$ , используемого для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения, подаваемого на микросхему DA1,

$$C1 = \frac{I_n + I_{np.HL1} + I_{номрTP.DA1}}{2f \cdot U_n}, \quad (6.3)$$

где  $I_n$  – ток нагрузки, А;

$I_{номр.DA1}$  – ток, потребляемый DA1, А;

$U_n$  – напряжение пульсаций выпрямленного напряжения, В;

$f$  – частота переменного напряжения в сети, Гц.

На рисунке 6.3 приведена схема стабилизатора напряжения на основе микросхемы LM338K.

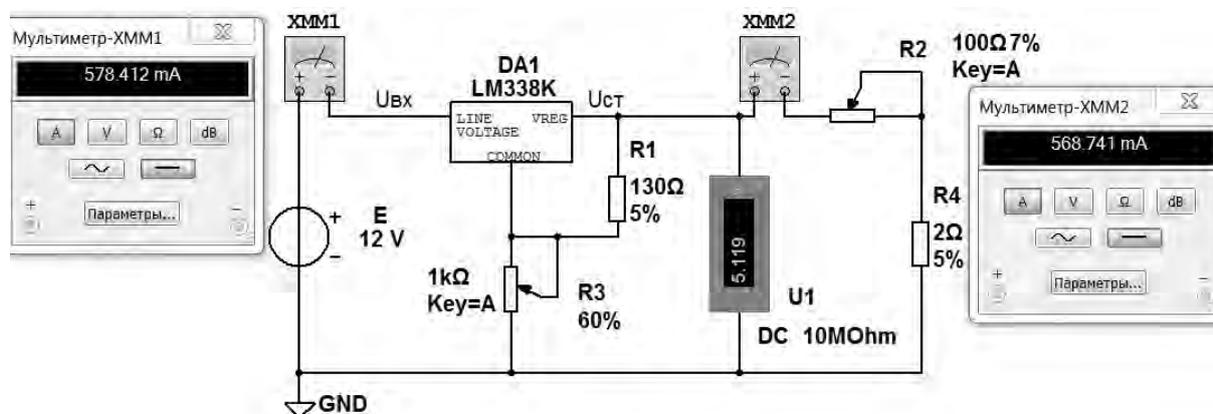


Рисунок 6.3 – Схема стабилизатора напряжения на основе микросхемы LM338K

Необходимое значение выходного напряжения устанавливается с помощью регулируемых делителей  $R1$ ,  $R3$ . Резистором  $R2$  регулируется ток

нагрузки, измеряемый мультиметром ХММ2. Напряжение  $U_{ст}$  на выходе стабилизатора измеряется вольтметром U1. Ток, потребляемый от источника  $E$ , измеряется мультиметром ХММ1.

Основным параметром стабилизаторов напряжения является коэффициент стабилизации

$$K_{ст} = \frac{U_{вых\max} - U_{вых\min}}{U_{вых\ст1} - U_{вых\ст2}}. \quad (6.4)$$

**Задача 1.** К схеме, приведенной на рисунке 6.2, подберите из справочных источников микросхему DA1 с  $U_{вых.стаб} = +5$  В и  $I_n = 3$  А. Составьте схему, представленную на рисунке 6.2, в Multisim и исследуйте её работу. Рассчитайте  $K_{ст}$ .

**Задача 2.** К схеме, приведенной на рисунке 6.2, подберите из справочных источников светодиод HL1 с зеленым цветом свечения. Задавшись величиной прямого тока через него  $I_{np.HL1} = 20$  мА, рассчитайте сопротивление резистора  $R1$  и рассеиваемую на нем мощность.

**Задача 3.** Для схемы, приведенной на рисунке 6.2, рассчитайте емкость конденсатора  $C1$ , если  $I_n = 1,2$  А,  $I_{np.HL1} = 20$  мА,  $U_n = 0,8$  В,  $f = 50$  Гц.

**Задача 4.** Составьте схему, приведенную на рисунке 6.3, в Multisim и исследуйте её работу, подключив к ней показанные на схеме приборы. Рассчитайте  $K_{ст}$ .

## 7 Разработка радиоэлектронных устройств в системах контроля

Современные цифровые измерительные приборы создаются на основе контроллеров, многие из которых имеют встроенные аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, флеш-память программ, оперативную память, электрически перепрограммируемую память для хранения результатов, средства связи с ЭВМ через USB-порт и другие блоки. Это позволяет создавать компактные высокопроизводительные и многофункциональные приборы для измерений, контроля и диагностики.

Рассмотрим пример разработки акселерометра. Для количественной оценки измеряемого параметра необходимо в процессе измерений выполнять вычислительные операции с использованием исходных данных, ранее полученных при калибровке прибора и сохраняемых в его постоянной памяти, и текущих результатов контроля. Для этого в приборе должны быть предусмотрены такие режимы работы, как градуировка, измерение, хранение результатов, вывод их на дисплей и передача на другие устройства.

Для практической реализации этих операций в одном приборе разработаем электронный цифровой блок на основе 8-битного AVR – контроллера ATmega32U4 с тактовой частотой 16 МГц. Он имеет встроенные флеш-



память программ объемом 32 Кбайта, оперативную память объемом 2 Кбайта, память EEPROM объемом 1 Кбайт для хранения данных, обеспечивающую до 100000 циклов перезаписи, 10-разрядный АЦП. Диапазон питающих напряжений контроллера может изменяться от 2,7 до 5,5 В. Структурная схема такого прибора представлена на рисунке 7.1.

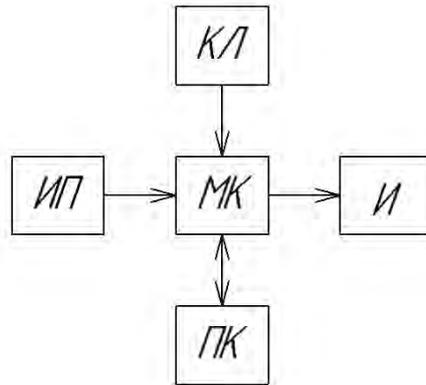


Рисунок 7.1 – Структурная схема цифрового измерительного прибора

Измерительный преобразователь (ИП) подключается к одному из аналоговых входов контроллера МК. С помощью клавиатуры (КЛ) осуществляется управление работой прибора в различных режимах. В проектируемом приборе предусмотрен обмен данными с ЭВМ (ПК) и вывод результатов измерений на устройство индикации (И).

Электрическая принципиальная схема прибора приведена на рисунке 7.2.

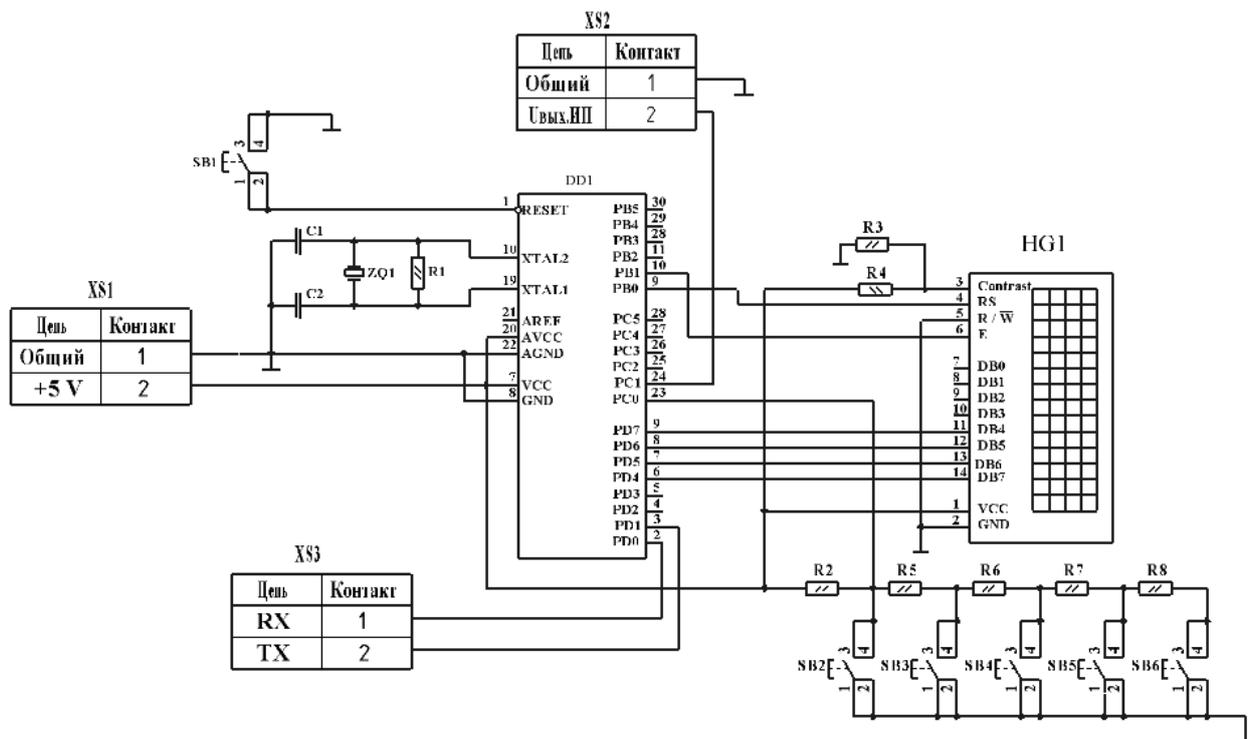


Рисунок 7.2 – Электрическая принципиальная схема цифрового прибора

В качестве устройства обработки данных использован микроконтроллер ATmega32U4 (DD1). Его работа обеспечивается вспомогательными элементами: кварцевым резонатором ZQ1, резистором R1, конденсаторами C1 и C2. Через разъём XS1 контроллер подключен к источнику питания. SB1 – кнопка сброса микроконтроллера. Через разъём XS3 осуществляется обмен данными с ЭВМ.

Измерительный преобразователь подключен к аналоговому входу DD1 через разъём XS2.

Клавиатура подключена к одному из аналоговых входов контроллера и реализована на переключателях SB2–SB6 и резисторах R2, R5–R8.

Индикация результатов измерений осуществляется с помощью LCD-дисплея HG1 TC1602 размерностью две строки по 16 символов. Обмен данными с дисплеем осуществляется по шести цифровым портам МК DD1.

**Задача 1.** Разработайте структурную и электрическую принципиальную схемы толщиномера на контроллере ATmega328.

**Задача 2.** Разработайте структурную и электрическую принципиальную схемы уровнемера на контроллере ATmega32U4.

**Задача 3.** Разработайте структурную и электрическую принципиальную схемы прибора для измерения линейного размера дефекта на контроллере ATmega2650.

**Задача 4.** Разработайте структурную и электрическую принципиальную схемы прибора для измерения глубины залегания дефекта на контроллере T91SAM3X8E.

## Список литературы

1 **Иванов, В. Н.** Электроника и микропроцессорная техника : учебник / В. Н. Иванов, И. О. Мартынова. – Москва : Академия, 2016. – 288 с.

2 **Титов, В. С.** Проектирование аналоговых и цифровых устройств : учебное пособие / В. С. Титов, В. И. Иванов, М. В. Бобырь. – Москва : ИНФРА-М, 2016. – 143 с.

3 **Horowitz, P.** The art of electronics. Third Edition / P. Horowitz, W. Hill. – New York : Cambridge University Press, 2015. – 1192 с.

4 Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги. Справочник. Т. 1–12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [ga4a.ru/load/spravochnojaja/1/21-1](http://ga4a.ru/load/spravochnojaja/1/21-1). – Дата доступа: 04.01.2019.

5 **Нефедов А. В.** Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [perviydoc.ru/v9931/](http://perviydoc.ru/v9931/). – Дата доступа: 04.01.2019.

