

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

# ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов направления подготовки  
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»  
дневной формы обучения*

Часть 2



Могилев 2018



УДК 621.3+004.4  
ББК 32.85  
Э 45

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «2» марта 2018 г.,  
протокол № 8

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 электронных устройств на современной элементной базе, принципы их работы, приведены примеры решения типовых задач, задачи для самостоятельной работы. Составлены в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника» для студентов направления подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» дневной формы обучения.

Учебно-методическое издание

## ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

Часть 2

Ответственный за выпуск

С. С. Сергеев

Технический редактор

А. А. Подошевка

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:

Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/156 от 24.01.2014.

Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский  
университет», 2018



## Содержание

1 Расчет схем с резисторами, конденсаторами, катушками индуктивности, трансформаторами .....	4
2 Схемы и их расчет с применением диодов, светодиодов, стабилитронов, стабилитронов.....	8
3 Методика расчета однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе.....	16
4 Методика расчета инвертирующего и неинвертирующего усилителей, инвертора и повторителя напряжения, суммирующего и вычитающего устройств на основе ОУ .....	19
5 Методика расчета нерегулируемых и регулируемых стабилизированных источников питания на основе микросхем стабилизаторов напряжения .....	22
6 Проектирование и моделирование в среде MultyiSim генераторов прямоугольных импульсов .....	25
7 Проектирование и моделирование в среде MultyiSim RS-, D- и JK-триггеров на логических элементах.....	26
8 Проектирование и моделирование в среде MultyiSim двоичных и двоично-десятичных счетчиков импульсов.....	31
9 Проектирование и моделирование в среде MultyiSim регистров и дешифраторов .....	35
10 Проектирование схем ЦПУ на основе МП MCS-51 .....	37
11 Проектирование схем подключения к ЦПУ микросхем АЦП и ЦАП .....	38
12 Проектирование схем подключения к ЦПУ датчиков аналоговых и дискретных сигналов .....	40
13 Проектирование схем подключения к ЦПУ запоминающих устройств .....	42
14 Проектирование схем связи между МПС по шинам RS-232, RS-485, I2C, USB .....	43
15 Проектирование схем подключения к ЦПУ устройств отображения информации.....	44
16 Проектирование схем подключения к ЦПУ клавиатуры, устройств сигнализации .....	45
17 Проектирование схем подключения к ЦПУ исполнительных устройств.....	47
Список литературы .....	48



# 1 Расчет схем с резисторами, конденсаторами, катушками индуктивности, трансформаторами

При последовательном соединении резисторов (рисунок 1.1) их общее сопротивление

$$R = R1 + R2 + R3. \quad (1.1)$$

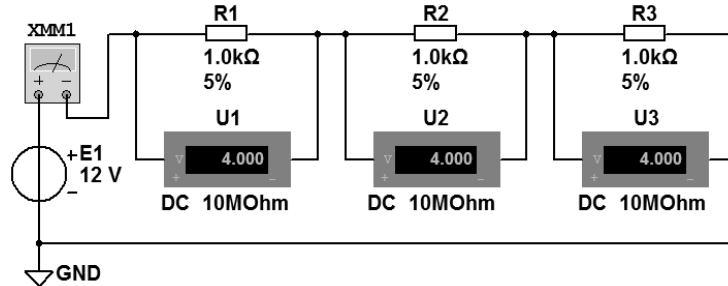


Рисунок 1.1 – Схема последовательного соединения резисторов в Multisim

Падение напряжения на каждом из них

$$U_{R1} = I \cdot R1; U_{R2} = I \cdot R2; U_{R3} = I \cdot R3. \quad (1.2)$$

Ток, протекающий через эти резисторы,

$$I = E1 / R. \quad (1.3)$$

При параллельном соединении резисторов (рисунок 1.2) их общее сопротивление определяется из выражения

$$1 / R = 1 / R1 + 1 / R2 + 1 / R3. \quad (1.4)$$

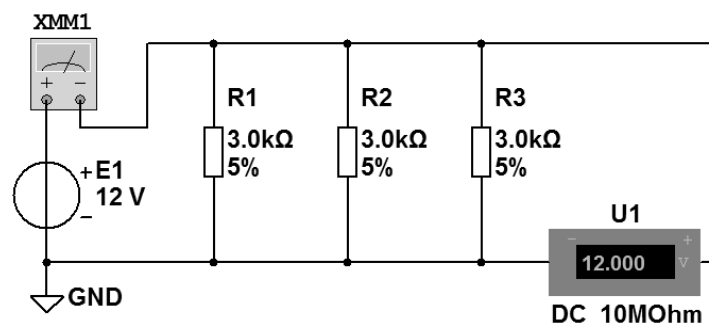


Рисунок 1.2 – Схема параллельного соединения резисторов в Multisim

Токи, протекающие через эти резисторы,

$$I_{R1} = E1 / R1, I_{R2} = E1 / R2, I_{R3} = E1 / R3. \quad (1.5)$$

Общий ток в цепи

$$I = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}. \quad (1.6)$$

Токи в ветвях и падения напряжений на элементах при их смешанном соединении (рисунок 1.3) рассчитываются с использованием формул, аналогичных (1.1)–(1.6).

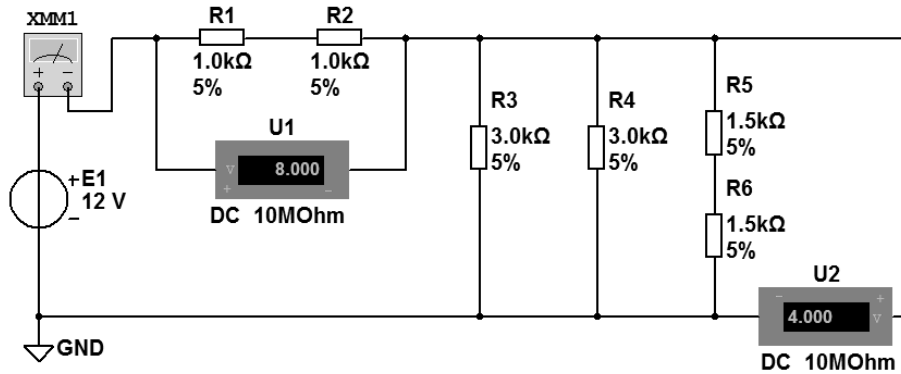


Рисунок 1.3 – Схема смешанного соединения резисторов в Multisim

На рисунке 1.4 показана схема с использованием резистора с регулируемым сопротивлением.

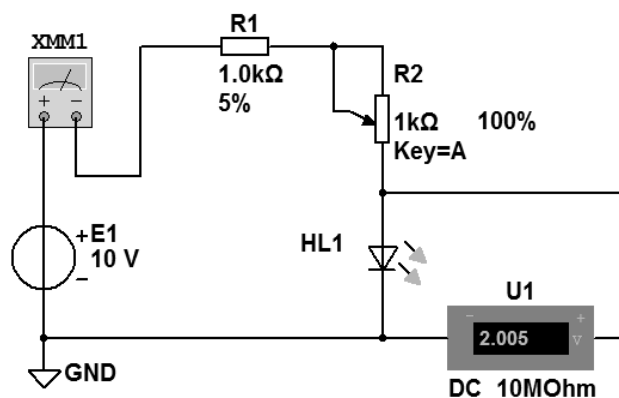


Рисунок 1.4 – Схема в Multisim для исследования электрической цепи с регулируемым сопротивлением

При последовательном соединении конденсаторов их общую емкость можно найти из выражений (рисунок 1.5)

$$1 / C_{12} = 1 / C1 + 1 / C2; \quad (1.7)$$

$$1 / C_{56} = 1 / C5 + 1 / C6. \quad (1.8)$$

При параллельном соединении конденсаторов их общая емкость (см. рисунок 1.5)

$$C_{3456} = C3 + C4 + C_{56}. \quad (1.9)$$

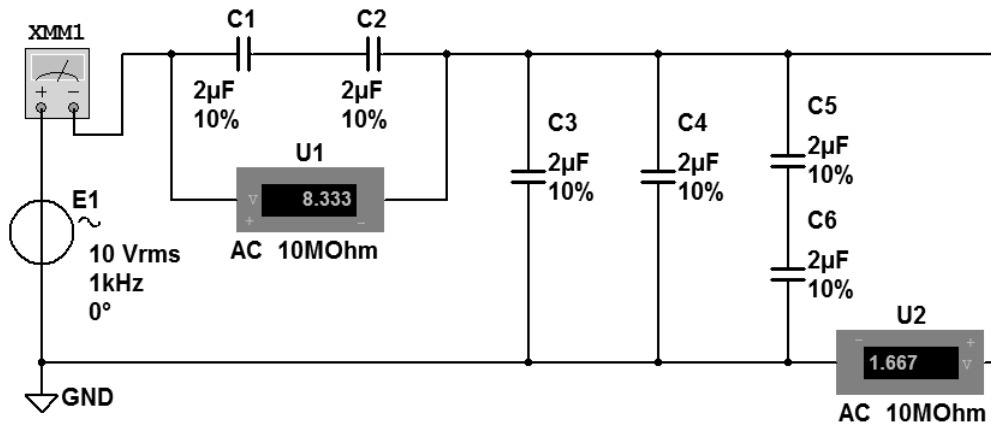


Рисунок 1.5 – Схема смешанного соединения конденсаторов в Multisim

Сопротивление конденсатора переменному току

$$X_C = 1 / 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C, \quad (1.10)$$

где  $f$  – частота переменного тока, Гц.

При последовательном соединении катушек индуктивности их общую индуктивность можно найти из выражений (рисунок 1.6)

$$L_{12} = L1 + L2; \quad (1.11)$$

$$L_{56} = L5 + L6. \quad (1.12)$$

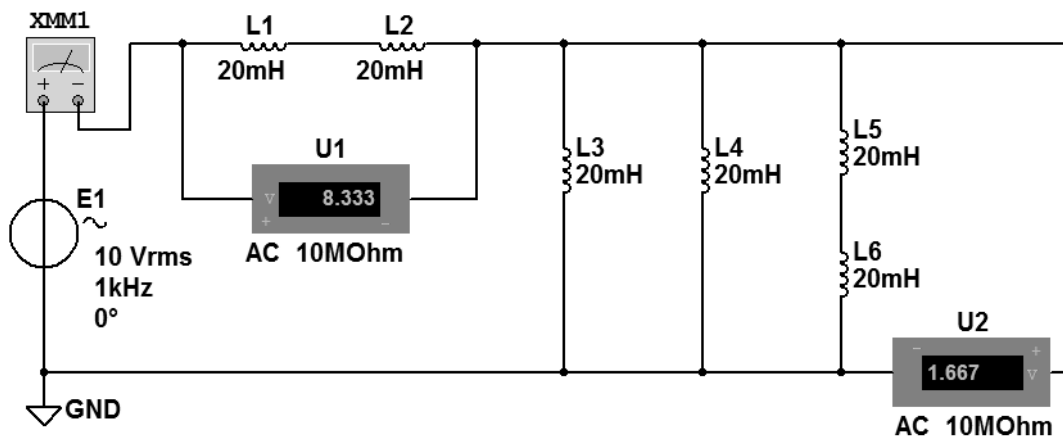


Рисунок 1.6 – Схема смешанного соединения катушек индуктивности в Multisim

При параллельном соединении катушек индуктивности их общую индуктивность можно найти из выражения (см. рисунок 1.6)

$$1 / L_{3456} = 1 / L3 + 1 / L4 + 1 / L_{56} . \quad (1.13)$$

Сопrotивление катушки индуктивности переменному току

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L, \quad (1.14)$$

где  $f$  – частота переменного тока, Гц.

Схемы с трансформаторами будут рассмотрены в разд. 2.

**Задача 1.** В соответствии с параметрами элементов  $E1, R1...R3$ , и показаниями приборов  $U1...U3$  (см. рисунок 1.1) рассчитайте, что покажет прибор ХММ1. Выполните моделирование работы этой схемы в Multisim. Сравните результаты моделирования с расчетными.

**Задача 2.** В соответствии с параметрами элементов  $E1, R1...R3$ , и показаниями прибора  $U1$  (см. рисунок 1.2) рассчитайте, что покажет прибор ХММ1. Выполните моделирование работы этой схемы в Multisim. Сравните результаты моделирования с расчетными.

**Задача 3.** В соответствии с параметрами элементов  $E1, R1...R6$ , и показаниями приборов  $U1$  и  $U2$  (см. рисунок 1.3) рассчитайте, что покажет прибор ХММ1. Выполните моделирование работы этой схемы в Multisim. Сравните результаты моделирования с расчетными.

**Задача 4.** В соответствии с параметрами элементов  $E1, R1$  и  $R2$ , и показаниями прибора  $U1$  (см. рисунок 1.4) рассчитайте, что покажет прибор ХММ1. Рассчитайте, в каком диапазоне будут изменяться показания прибора ХММ1 при изменении сопротивления  $R2$  от 0 до 100 %. Выполните моделирование работы этой схемы в Multisim. Сравните результаты моделирования с расчетными.

**Задача 5.** В соответствии с параметрами элементов  $E1, C1...C6$ , и показаниями приборов  $U1$  и  $U2$  (см. рисунок 1.5) рассчитайте, что покажет прибор ХММ1. Выполните моделирование работы этой схемы в Multisim. Сравните результаты моделирования с расчетными.

**Задача 6.** Что изменится в схеме (см. рисунок 1.5), если частоту  $f$  переменного тока увеличить в 10 раз?

**Задача 7.** В соответствии с параметрами элементов  $E1, L1...L6$ , и показаниями приборов  $U1$  и  $U2$  (см. рисунок 1.6) рассчитайте, что покажет прибор ХММ1. Выполните моделирование работы этой схемы в Multisim. Сравните результаты моделирования с расчетными.

**Задача 8.** Что изменится в схеме (см. рисунок 1.6), если частоту  $f$  переменного тока увеличить в 10 раз?



## 2 Схемы и их расчет с применением диодов, светодиодов, стабилитронов, стабисторов

**Задача 1.** Разработайте схему однополупериодного выпрямителя на полупроводниковом диоде для выделения мощности на активной нагрузке с сопротивлением  $R_H = 10$  Ом,  $P_H = 10$  Вт. Напряжение на первичной обмотке трансформатора  $U_{10} = 220$  В,  $F = 50$  Гц. Определите действующие средние и максимальные токи и напряжения на нагрузке, действующее и максимальное напряжения на вторичной обмотке трансформатора, действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора, коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке. Выберите диод для выпрямителя, обоснуйте выбор. Выполните моделирование работы разработанной схемы в Multisim.

### Решение

Схема однополупериодного выпрямителя на полупроводниковом диоде имеет следующий вид (рисунок 2.1).

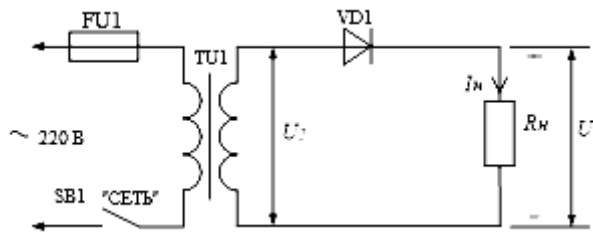


Рисунок 2.1 – Схема однополупериодного выпрямителя

Действующее значение напряжения на нагрузке  $R_H$

$$U_{НД} = \sqrt{P_H \cdot R_H} = \sqrt{10 \cdot 10} = 10 \text{ В.}$$

Действующее значение тока через нагрузку

$$I_{НД} = \frac{P_H}{U_{НД}} = \frac{10}{10} = 1 \text{ А.}$$

Максимальное напряжение на нагрузке

$$U_{НМ} = U_{НД} \cdot \sqrt{2} = 10 \cdot 1,414 = 14,14 \text{ В.}$$

Максимальный ток через нагрузку

$$I_{НМ} = I_{НД} \cdot \sqrt{2} = 1 \cdot 1,414 = 1,414 \text{ А.}$$

Средние значения напряжения и тока



$$U_{HCP} = U_{HM} / \pi = 14,14 / 3,14 = 4,5 \text{ В};$$

$$I_{HCP} = I_{HM} / \pi = 1,414 / 3,14 = 0,45 \text{ А}.$$

Так как токи через выпрямительный диод и нагрузку одинаковые, выбираем диод КД243Б, у которого  $I_{np.cр.} = 1 \text{ А}$ ,  $U_{np.} = 1,1 \text{ В}$  [2].

Действующее напряжение на вторичной обмотке трансформатора

$$U_{2Д} = U_{HD} + U_{np.VD1} = 10 + 1 = 11 \text{ В}.$$

Действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора

$$I_{1Д} = I_{2Д} U_{2Д} / U_{1Д} = 1 \cdot 11 / 220 = 50 \text{ мА}.$$

Коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке

$$K_{П} = U_{HM} / U_{CpH} = 14,14 / 4,5 = 3,14.$$

Обратное напряжение, действующее на выпрямительный диод, равно амплитудному значению напряжения на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_{2M} = U_{HM} + U_{np.VD1} = 14,14 + 1 = 15,14 \text{ В}.$$

Допустимое обратное напряжение у выбранного диода  $U_{обр.max} = 100 \text{ В}$ .

Выбор диода для выпрямителя по прямому току и обратному напряжению сделан правильно.

Схема однополупериодного выпрямителя и результаты моделирования его работы в Multisim представлены на рисунке 2.2.

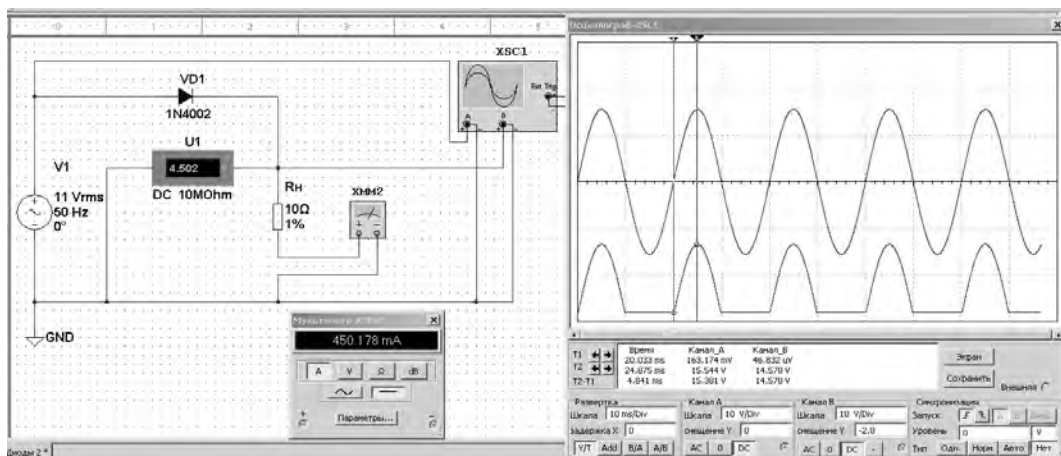


Рисунок 2.2 – Результаты моделирования работы однополупериодного выпрямителя в Multisim

Диод VD1 1N4002 является аналогом КД243Б. Мультиметр ХММ2, работающий в режиме амперметра, и вольтметр U1 показывают средние значения

тока и напряжения нагрузки  $R_H$ , совпадающие с расчетными. На экране двухканального осциллографа XSC1 изображены временные диаграммы выходного напряжения источника V1 (канал А) и напряжения на нагрузке  $R_H$  (канал В). Из временных диаграмм видно, что на нагрузке формируется напряжение только в те полупериоды, когда напряжения источника V1 положительное. В этом случае диод VD1 открыт и через него и нагрузку протекает прямой ток. При отрицательных напряжениях источника диод закрыт (имеет большое внутреннее сопротивление), ток через него и нагрузку близок к нулю.

**Задача 2.** Разработайте схему однополупериодного выпрямителя на полупроводниковом диоде для выделения мощности на активной нагрузке с сопротивлением  $R_H = 12$  Ом,  $P_H = 15$  Вт. Напряжение на первичной обмотке трансформатора  $U_{1\partial} = 220$  В,  $F = 50$  Гц. Определите действующие средние и максимальные токи и напряжения на нагрузке, действующее и максимальное напряжения на вторичной обмотке трансформатора, действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора, коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке. Выберите диод для выпрямителя, обоснуйте выбор.

**Задача 3.** Разработайте схему мостового выпрямителя на полупроводниковых диодах для питания активной нагрузки с сопротивлением  $R_H = 9$  Ом и потребляемой мощностью  $P_H = 16$  Вт. Напряжение на первичной обмотке трансформатора  $U_{1\partial} = 220$  В,  $F = 50$  Гц. Определите действующие, средние и максимальные токи и напряжения на нагрузке, действующее и максимальное напряжения на вторичной обмотке трансформатора, действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора, коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке. Выберите диоды для выпрямителя, обоснуйте выбор.

### Решение

Схема мостового выпрямителя на полупроводниковых диодах приведена на рисунке 2.3. Действующее значение напряжения на нагрузке  $R_H$

$$U_{\text{нД}} = \sqrt{P_H \cdot R_H} = \sqrt{16 \cdot 9} = 12 \text{ В.}$$

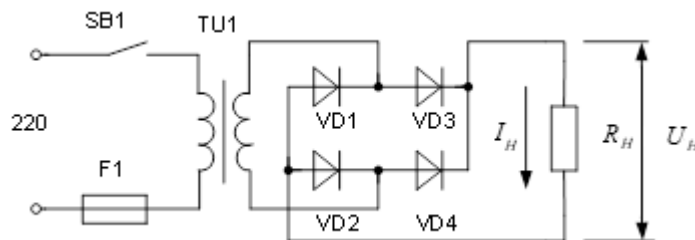


Рисунок 2.3 – Схема мостового выпрямителя

Действующее значение тока через нагрузку

$$I_{HD} = \frac{P_H}{U_{HD}} = \frac{16}{12} = 1,33 \text{ А.}$$

Максимальные значения напряжения и тока нагрузки

$$U_{HM} = U_{HD} \sqrt{2} = 12 \cdot 1,414 = 16,97 \text{ В;}$$

$$I_{HM} = I_{HD} \sqrt{2} = 1,33 \cdot 1,414 = 1,88 \text{ А.}$$

Средние значения напряжения и тока нагрузки

$$U_{HCP} = \frac{2U_{HM}}{\pi} = \frac{2 \cdot 16,97}{3,14} = 10,8 \text{ В;}$$

$$I_{HCP} = \frac{2I_{HM}}{\pi} = \frac{2 \cdot 1,88}{3,14} = 1,2 \text{ А.}$$

Так как токи через выпрямительные диоды и нагрузку одинаковые, выбираем в качестве мостового выпрямителя диодную сборку MDA970a2, у которой  $I_{ПР.М} = 4 \text{ А}$ ,  $U_{ПР} = 1,65 \text{ В}$  при токе  $1,5 \text{ А}$ .

Действующее значение тока на вторичной обмотке трансформатора

$$U_{2Д} = U_{HD} + U_{ПР} = 12 + 1,65 = 13,65 \text{ В.}$$

Действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора

$$I_{1Д} = \frac{I_{2Д} U_{2Д}}{U_{1Д}} = \frac{1,33 \cdot 13,65}{220} = 82,5 \text{ мА.}$$

Коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке

$$K_{П} = \frac{U_{HM}}{U_{HCP}} = \frac{16,97}{10,8} = 1,57.$$

Обратное напряжение, действующее на выпрямитель (два последовательно включенных диода), равно амплитудному значению напряжения на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_{2М} = U_{2Д} \cdot \sqrt{2} = 12 \cdot 1,41 = 16,94 \text{ В.}$$

Допустимое обратное напряжение у выбранного выпрямителя  $U_{обр.макс} = 100 \text{ В}$ .



**Задача 4.** Выполните моделирование работы двухполупериодного мостового выпрямителя с конденсатором  $C1$  для сглаживания пульсаций напряжения на нагрузке в Multisim, схема которого представлена на рисунке 2.4.

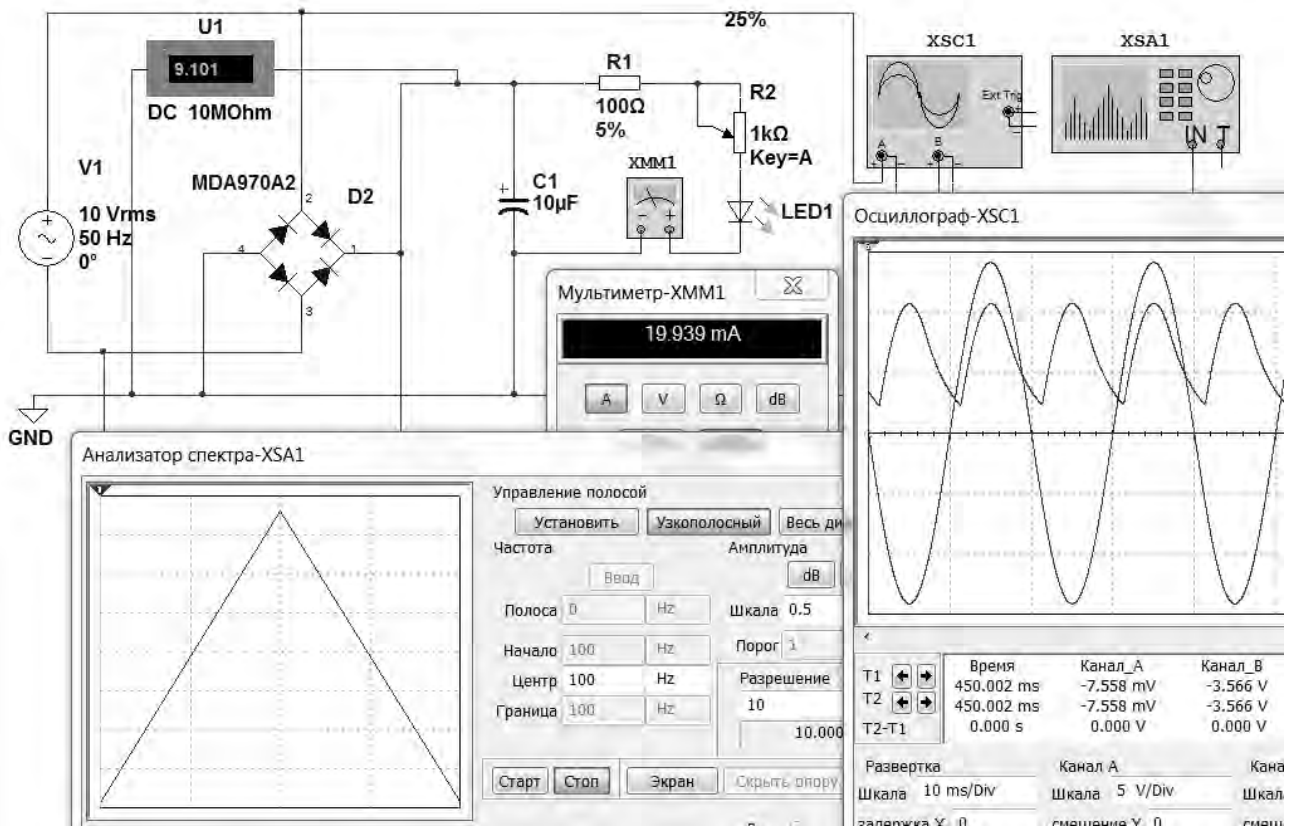


Рисунок 2.4 – Результаты моделирования работы двухполупериодного мостового выпрямителя в Multisim

### Решение

Мультиметр XMM1, работающий в режиме амперметра, и вольтметр U1 показывают средние значения тока и напряжения нагрузки ( $R1 + R2 + LED1$ ). На экране двухканального осциллографа XSC1 изображены временные диаграммы выходного напряжения источника V1 (канал A) и напряжения на нагрузке (канал B). Из временных диаграмм видно, что на нагрузке формируется только положительное напряжение, причем как при отрицательных, так и при положительных напряжениях источника V1. Анализатор спектра XSA1 используется для определения амплитуды первой гармоники.

**Задача 5.** Разработайте схему мостового выпрямителя на полупроводниковых диодах для питания активной нагрузки с потребляемой мощностью  $P_H = 10$  Вт. Напряжение на первичной обмотке трансформатора  $U_{1\partial} = 220$  В,  $F = 50$  Гц, ток через вторичную обмотку трансформатора  $I_{2\partial} = 0,62$  А. Определите действующие, средние и максимальные токи и напряжения на нагрузке, действующее и максимальное напряжения на вторичной обмотке трансформатора, действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора,

коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке. Выполните моделирование работы разработанной схемы в Multisim.

**Задача 6.** Определите действующие, средние и максимальные токи и напряжения на нагрузке, действующее и максимальное напряжения на вторичной обмотке трансформатора, действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора, коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке для двухполупериодного выпрямителя на полупроводниковых диодах со средней точкой трансформатора, схема которого приведена на рисунке 2.5. Выберите диоды для выпрямителя, обоснуйте выбор. Сопротивление нагрузки  $R_H = 14 \text{ Ом}$ . Мощность, потребляемая нагрузкой,  $P_H = 18 \text{ Вт}$ . Напряжение на первичной обмотке трансформатора  $U_{10} = 220 \text{ В}$ ,  $F = 50 \text{ Гц}$ .

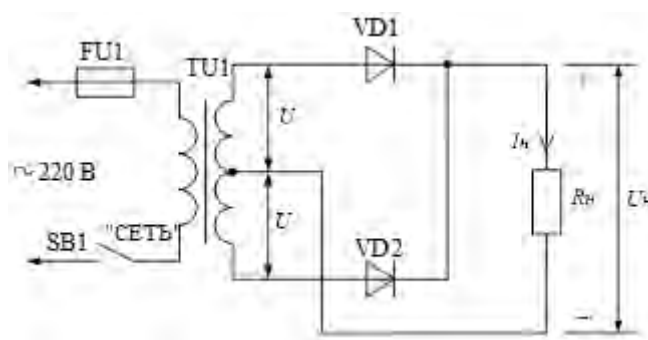


Рисунок 2.5 – Схема двухполупериодного выпрямителя со средней точкой трансформатора

**Задача 7.** На рисунке 2.6 приведена схема параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне КС168А. Его нагрузкой является светодиод HL1 АЛ307Б. ЭДС  $E$  источника питания изменяется от 10 до 14 В. Через светодиод должен протекать ток  $I_H = 10 \text{ мА}$  при изменении ЭДС  $E$  источника питания в заданном диапазоне.

Рассчитайте сопротивление резистора  $R_1$ , обеспечивающего токовый режим работы стабилитрона VD1 и светодиода HL1. Выполните моделирование работы заданной схемы стабилизатора в Multisim и по полученным результатам определите коэффициент стабилизации  $K_U$  выходного напряжения (напряжения на нагрузке) и нестабильность выходного напряжения  $\delta_i$  при изменении тока  $I_H$  от 5 до 15 мА при постоянной ЭДС  $E = 12 \text{ В}$ .

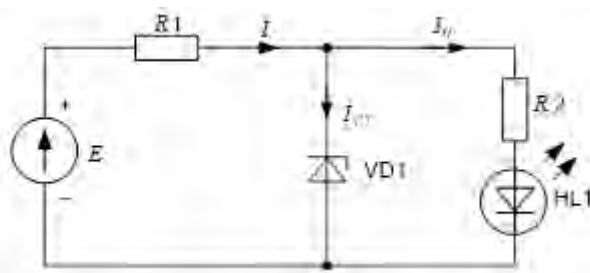


Рисунок 2.6 – Параметрический стабилизатор напряжения

### Решение

Стабилитрон КС168А имеет следующие параметры:

$U_{CT. \text{НОМ}} = 6,8 \text{ В}$ ;  $I_{CT. \text{НОМ}} = 10 \text{ мА}$ ;  $I_{CT. \text{min}} = 3 \text{ мА}$ ;  $I_{CT. \text{max}} = 45 \text{ мА}$ ;  
 $U_{CT. \text{min}} = 6,12 \text{ В}$ ;  $U_{CT. \text{max}} = 7,48 \text{ В}$ .

Параметры светодиода АЛ307Б:

- цвет свечения – красный;
- длина волны – 665 нм;
- постоянный прямой ток  $I_{ПР. \text{HL1}} = 10 \text{ мА}$ ;
- постоянное прямое напряжение  $U_{ПР. \text{HL1}} = 2 \text{ В}$ ;
- постоянный максимальный прямой ток – 22 мА.

Сопротивление резистора  $R1$  рассчитаем по формуле

$$R1 = \frac{E_{\text{min}} - U_{CT. \text{НОМ}}}{I_{CT. \text{НОМ}} + I_H} = \frac{10 - 6,8}{10 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-3}} = 160 \text{ Ом.}$$

Выбираем резистор  $R2 = 160 \text{ Ом}$  из ряда Е24. Мощность, рассеиваемую на резисторе  $R1$ , определим для случая, когда  $E = 14 \text{ В}$ .

$$P_{R1} = (E_{\text{max}} - U_{CT. \text{НОМ}})^2 / R1 = 7,2^2 / 160 = 0,324 \text{ Вт.}$$

Выбираем резистор  $R1$  с рассеиваемой мощностью 0,5 Вт.

Сопротивление резистора  $R2$  рассчитаем по формуле

$$R2 = \frac{U_{CT. \text{НОМ}} - U_{ПР. \text{HL1}}}{I_{ПР. \text{HL1}}} = \frac{6,8 - 2}{10 \cdot 10^{-3}} = 480 \text{ Ом.}$$

Выбираем резистор  $R2 = 470 \text{ Ом}$  из ряда Е24. Мощность, рассеиваемая на резисторе  $R2$ ,

$$P_{R1} = (U_{CT. \text{НОМ}} - U_{ПР. \text{HL1}}) \cdot I_H = 4,8 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,048 \text{ Вт.}$$

Выбираем резистор  $R1$  с рассеиваемой мощностью 0,125 Вт.

Схема параметрического стабилизатора напряжения для моделирования его работы в Multisim представлена на рисунке 2.7.

Определим коэффициент стабилизации выходного напряжения как отношение нестабильности выходного напряжения к нестабильности входного напряжения:

$$K_U = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}} / U_{\text{ВХ}}}{\Delta U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{4 \cdot 6,8}{10 \cdot 0,245} = 11,1,$$

где  $\Delta U_{\text{ВХ}} = E_2 - E_1 = 14 - 10 = 4 \text{ В}$ ;

$U_{\text{ВХ}} = 10 \text{ В}$ ;

$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = U_{CT. \text{НОМ}} = 6,8 \text{ В}$ .





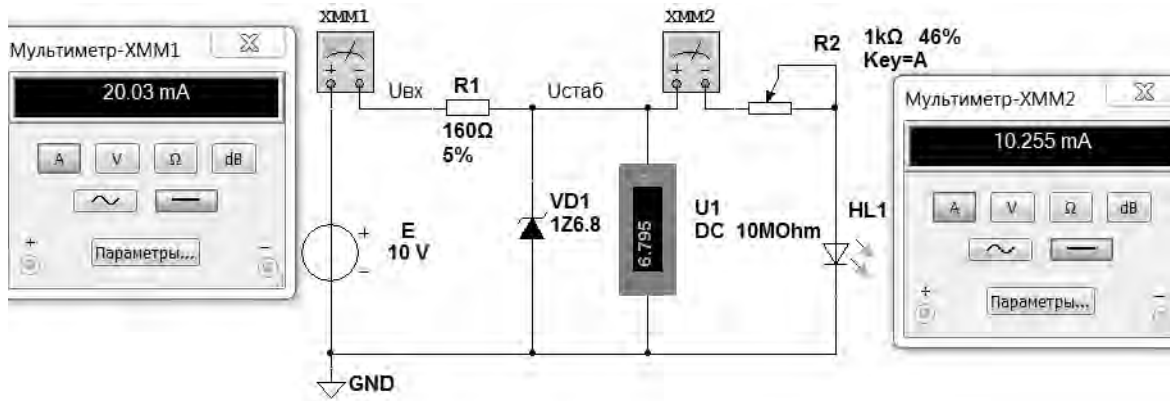


Рисунок 2.7 – Схема параметрического стабилизатора напряжения в Multisim

$\Delta U_{ВЫХ}$  определяем по результатам моделирования, изменяя ЭДС  $E$  и снимая показания мультиметром U1 (см. рисунок 2.7):

$$\Delta U_{ВЫХ} = U_{СТАБ.2} - U_{СТАБ.1} = 0,245 \text{ В},$$

где  $U_{СТАБ.2} = 7,036 \text{ В}$  при  $E_2 = 14 \text{ В}$ ;

$U_{СТАБ.1} = 6,86 \text{ В}$  при  $E_1 = 10 \text{ В}$ .

Определим нестабильность выходного напряжения  $\delta_i$ , изменяя ток нагрузки от 5 до 15 мА с помощью резистора  $R_2$  при неизменной ЭДС  $E = 12 \text{ В}$  и снимая показания с мультиметра U1 (см. рисунок 2.7):

$$\delta_i = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{U_{ВЫХ}} = \frac{U_{СТАБ.1} - U_{СТАБ.2}}{U_{ВЫХ}} = \frac{0,1}{6,85} = 0,015,$$

где  $U_{СТАБ.1} = 6,994 \text{ В}$  при  $I_{ПР.НЛ1} = 5 \text{ мА}$ ;

$U_{СТАБ.2} = 6,894 \text{ В}$  при  $I_{ПР.НЛ2} = 15 \text{ мА}$ .

**Задача 8.** Рассчитайте и выполните моделирование в Multisim работы параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне КС156А, схема которого изображена на рисунке 2.6. Его нагрузкой является светодиод НЛ1 АЛ307В. ЭДС  $E$  источника питания изменяется от 7 до 11 В. Через светодиод должен протекать ток  $I_H = 10 \text{ мА}$  при изменении ЭДС  $E$  источника питания в заданном диапазоне. Рассчитайте сопротивление резистора  $R_1$ , обеспечивающего токовый режим работы стабилитрона VD1 и светодиода НЛ1. По полученным результатам моделирования определите коэффициент стабилизации  $K_U$  выходного напряжения (напряжения на нагрузке) и нестабильность выходного напряжения  $\delta_i$  при изменении тока  $I_H$  от 5 до 15 мА при постоянной ЭДС  $E = 9 \text{ В}$ .

### 3 Методика расчета однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе

**Задача 1.** Разработайте схему, выполните расчет и выбор элементов однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе КТ315Г с коэффициентом усиления  $K_U = 15$ , если ЭДС источника питания  $E = 12$  В, максимальный коллекторный ток  $I_{K \max} = 1,6$  мА, частота среза  $f_c = 100$  Гц на уровне  $-3$  дБ, коэффициент передачи тока базы  $\beta$  ( $h_{21Э}$ ) взят равным 50. Выполните моделирование его работы в Multisim.

*Решение*

Схема усилителя имеет следующий вид (рисунок 3.1).

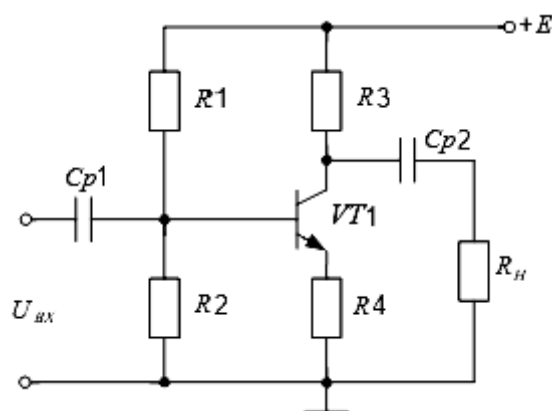


Рисунок 3.1 – Схема однокаскадного усилителя на транзисторе  $n-p-n$ -типа

В режиме покоя (при  $U_{BX} = 0$ ) напряжение на коллекторе должно быть равно половине ЭДС источника питания:

$$U_{KO} = \frac{E}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ В.}$$

Ток, протекающий через коллектор транзистора в режиме покоя, должен быть в 2 раза меньше заданного максимального:

$$I_{KO} = \frac{I_{K.\max}}{2} = \frac{1,6}{2} = 0,8 \text{ мА.}$$

Тогда

$$R3 = \frac{E - U_{KO}}{I_{KO}} = \frac{12 - 6}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 7500 \text{ Ом.}$$

Выбираем стандартное значение  $R3 = 7,5$  кОм.

Так как коэффициент усиления



$$K_v = \frac{R3}{R4},$$

определим

$$R4 = \frac{R3}{K_v} = \frac{7500}{15} = 500 \text{ Ом.}$$

Выбираем стандартное значение  $R4 = 510 \text{ Ом}$ .

Так как коллекторный и эмиттерный токи практически равны,

$$I_{Э0} \cong I_{К0} = 0,8 \text{ мА.}$$

Тогда напряжение на эмиттере в режиме покоя

$$U_{Э0} = I_{К0} \cdot R4 = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 510 = 4,1 \text{ В.}$$

Определим потенциал базы в режиме покоя:

$$U_{Б0} = U_{Э0} + U_{БЭ} = 4,1 + 0,6 = 4,7 \text{ В.}$$

Для нахождения сопротивлений резисторов  $R1$  и  $R2$  решим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{R1}{R2} = \frac{E - U_{Б0}}{U_{Б0}}; \\ \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} = 0,1\beta \cdot R4. \end{cases}$$

Тогда

$$\frac{R1}{R2} = \frac{12 - 4,7}{4,7} = 1,55;$$

$$R1 = 1,55 \cdot R2;$$

$$\frac{1,55 \cdot R2}{2,55} = 0,1 \cdot 50 \cdot 510;$$

$$R2 = \frac{0,1 \cdot 50 \cdot 510 \cdot 2,55}{1,55} = 4195 \text{ Ом.}$$

Выбираем  $R2 = 4,3 \text{ кОм}$ ,  $R1 = 1,55 \cdot 4,3 = 6,7 \text{ кОм}$ . Выбираем  $R1 = 6,8 \text{ кОм}$ .

Расчет емкости разделительного конденсатора  $C_{P1}$  выполним исходя из того, что для входного сигнала усилитель представляет собой фильтр высоких частот (ФВЧ), эквивалентная схема которого имеет следующий вид (рисунок 3.2).

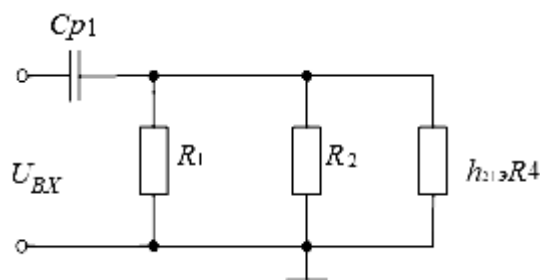


Рисунок 3.2 – Усилитель как ФВЧ для входного сигнала

На частоте среза для ФВЧ выполняется условие

$$2\pi \cdot f_c = \frac{1}{R \cdot C_{P1}},$$

где  $R = R1 \parallel R2 \parallel h_{21э} \cdot R4$ .

Подставив в это выражение  $f_c = 100$  Гц, определим  $C_{P1}$ :

$$\begin{aligned} C_{P1} &= \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot R} = \frac{h_{21э} \cdot R4 \cdot R2 + h_{21э} \cdot R4 \cdot R1 + R1 \cdot R2}{2\pi \cdot f_c \cdot R1 \cdot R2 \cdot h_{21э} \cdot R4} = \\ &= \frac{50 \cdot 4300 \cdot 510 + 50 \cdot 6800 \cdot 510 + 6800 \cdot 4300}{2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 6800 \cdot 4300 \cdot 510 \cdot 50} = 0,66 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.} \end{aligned}$$

Выбираем  $C_{P1} = 0,68$  мкФ.

Элементы  $C_{P2}$  и  $R_H$  для выходного сигнала также представляют собой ФВЧ, для которого справедливо выражение

$$2\pi \cdot f_c = \frac{1}{R_H \cdot C_{P2}}.$$

Приняв  $R_H = R3 = 7,5$  кОм, найдем  $C_{P2}$ :

$$C_{P2} = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot R_H} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 7500} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Выбираем  $C_{P2} = 0,2$  мкФ.

Схема для моделирования работы усилителя в Multisim представлена на рисунке 3.3.

**Задача 2.** Разработайте схему, выполните расчет и выбор элементов однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе КТ302А с коэффициентом усиления  $K_v = 12$ , если ЭДС источника питания  $E = 6$  В, максимальный



коллекторный ток  $I_{k \max} = 3 \text{ мА}$ , частота среза на уровне  $-3 \text{ дБ}$   $f_c = 200 \text{ Гц}$ ,  $\beta = 100$ . Выполните моделирование работы усилителя в Multisim.

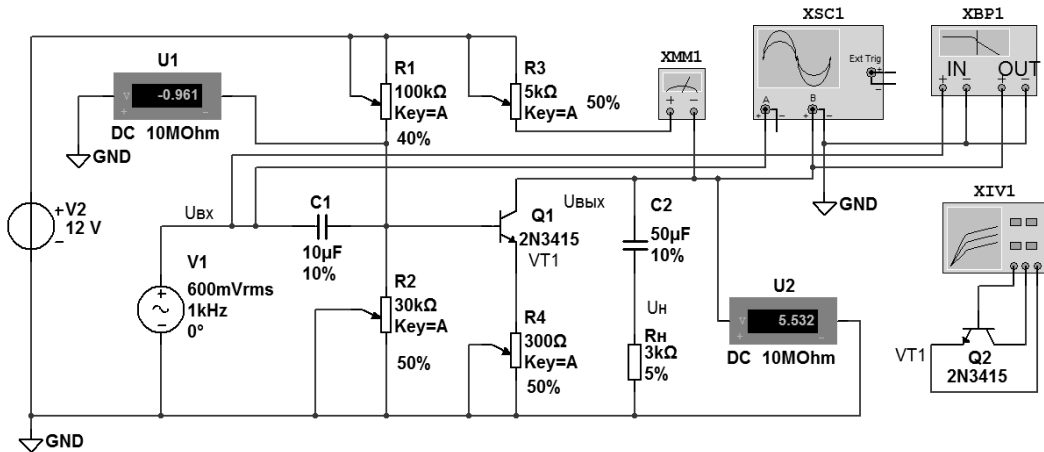


Рисунок 3.3 – Схема однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе  $n-p-n$ -типа в Multisim

#### 4 Методика расчета инвертирующего и неинвертирующего усилителя, инвертора и повторителя напряжения, суммирующего и вычитающего устройства на основе ОУ

**Задача 1.** Разработайте электрическую схему в Multisim инвертирующего усилителя на ОУ с коэффициентом усиления  $K_V = 7$ . Выполните моделирование работы усилителя.

*Решение*

Схема усилителя имеет следующий вид (рисунок 4.1).

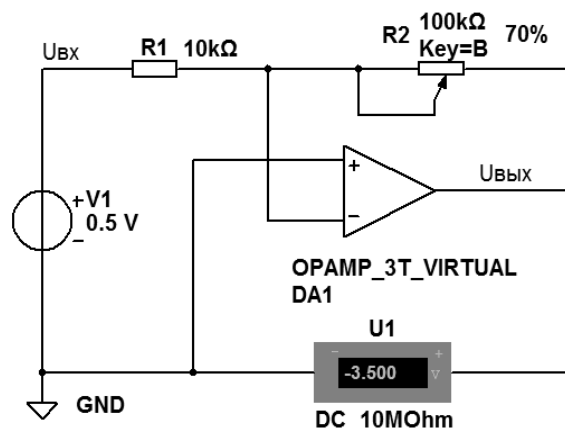


Рисунок 4.1 – Схема инвертирующего усилителя на ОУ в Multisim

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя

$$K_v = \frac{R3}{R1} = 7.$$

Выбираем  $R1 = 10 \text{ кОм}$ . Тогда  $R2 = R1 \cdot K_v = 10 \cdot 7 = 70 \text{ кОм}$ .

**Задача 2.** Разработайте электрическую принципиальную схему инвертирующего усилителя на микросхеме К140УД8 с коэффициентом усиления  $K_v = 10$ . Выполните моделирование работы усилителя в Multisim.

**Задача 3.** Разработайте электрическую принципиальную схему инвертирующего усилителя на микросхеме К544УД2 с коэффициентом усиления  $K_v = 16$ . Выполните моделирование работы усилителя в Multisim.

**Задача 4.** Разработайте электрическую схему в Multisim неинвертирующего усилителя на ОУ с коэффициентом усиления  $K_v = 5$ . Выполните моделирование работы усилителя.

### Решение

Схема усилителя имеет следующий вид (рисунок 4.2). Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя

$$K_v = \frac{R2}{R1} + 1 = 5.$$

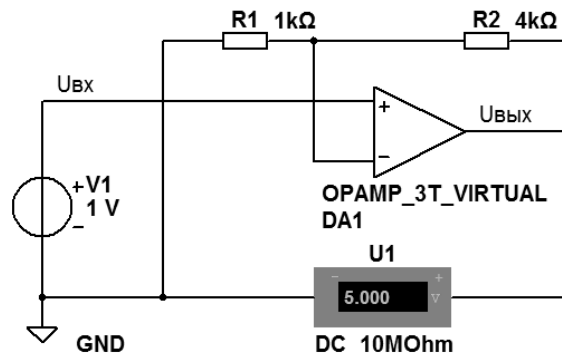


Рисунок 4.2 – Схема неинвертирующего усилителя на ОУ в Multisim

Выбираем  $R1 = 1 \text{ кОм}$ . Тогда  $R2 = R1 \cdot (K_v - 1) = 1 \cdot 4 = 4 \text{ кОм}$ .

**Задача 5.** Разработайте электрическую принципиальную схему неинвертирующего усилителя на микросхеме операционного усилителя К140УД17 с коэффициентом усиления  $K_v = 18$ . Выполните моделирование работы усилителя в Multisim.

**Задача 6.** На основе инвертирующего усилителя на ОУ разработайте электрическую схему в Multisim инвертора. Выполните моделирование его работы.

**Задача 7.** На основе неинвертирующего усилителя на ОУ разработайте электрическую схему в Multisim повторителя напряжения. Выполните моделирование его работы.

**Задача 8.** Разработайте электрическую схему в Multisim двухвходового сумматора на ОУ с коэффициентом усиления: по первому входу  $K_{V1} = 3$ , по второму –  $K_{V2} = 5$ . Выполните моделирование его работы.

*Решение*

Схема сумматора приведена на рисунке 4.3.

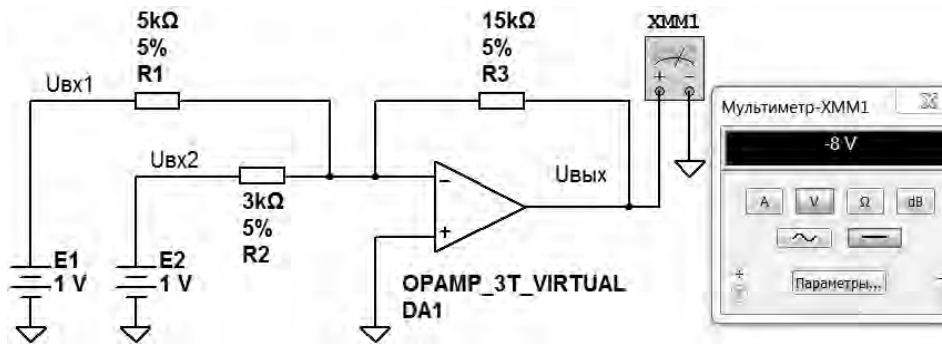


Рисунок 4.3 – Схема двухвходового сумматора на ОУ в Multisim

Работа двухвходового сумматора описывается следующим выражением:

$$U_{\text{ВЫХ}} = - \left( U_{\text{ВХ1}} \cdot \frac{R3}{R1} + U_{\text{ВХ2}} \cdot \frac{R3}{R2} \right),$$

где  $R3 / R1 = K_{V1}$ ;  $R3 / R2 = K_{V2}$ .

Выбираем  $R3 = 15$  кОм. Тогда

$$R1 = \frac{R3}{K_{V1}} = \frac{15}{3} = 5 \text{ кОм}; \quad R2 = \frac{R3}{K_{V2}} = \frac{15}{5} = 3 \text{ кОм}.$$

**Задача 9.** Разработайте электрическую принципиальную схему трехвходового сумматора на микросхеме операционного усилителя К140УД8 с коэффициентами усиления: по первому входу  $K_{V1} = 4$ , по второму –  $K_{V2} = 2$ , по третьему –  $K_{V3} = 3$ . Выполните моделирование работы сумматора в Multisim.

**Задача 10.** Разработайте электрическую схему в Multisim вычитающего устройства (дифференциального усилителя) на трех ОУ с регулируемым коэффициентом усиления. Выполните моделирование его работы.

*Решение*

Схема дифференциального усилителя на трех ОУ приведена на рисунке 4.4. Выбираем резисторы  $R2 = R3 = R4 = R5 = R6 = R7 = 10$  кОм.

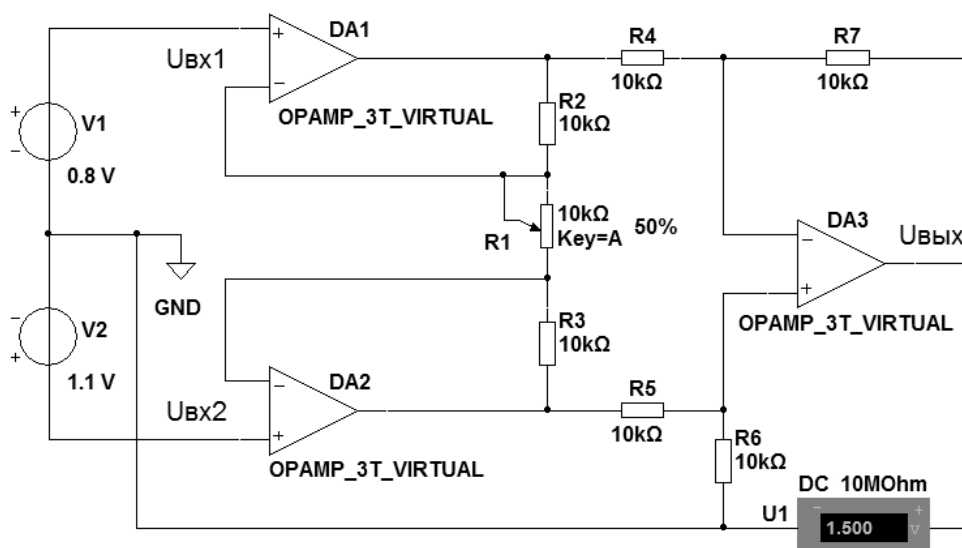


Рисунок 4.4 – Схема дифференциального усилителя на трех ОУ в Multisim

Тогда

$$U_{ВЫХ} = (U_{ВХ2} - U_{ВХ1}) \left( \frac{R2 + R3}{R1} + 1 \right).$$

Выражение во второй скобке определяет коэффициент усиления

$$K_{\gamma} = \frac{R2 + R3}{R1} + 1.$$

Выберем переменный резистор  $R1 = 10$  кОм. С его помощью осуществляется регулировка коэффициента усиления.

**Задача 11.** Разработайте электрическую принципиальную схему дифференциального усилителя на трех ОУ на микросхеме К140УД8 с регулируемым коэффициентом усиления в диапазоне от 3 до 12. Выполните моделирование работы разработанного усилителя в Multisim.

## 5 Методика расчета нерегулируемых и регулируемых стабилизированных источников питания на основе микросхем стабилизаторов напряжения

Для формирования однополярного стабилизированного напряжения может быть использована одна из многочисленных микросхем стабилизаторов напряжения с типовой схемой включения. На рисунке 5.1 это микросхема DA1 (например, К142ЕН5А, максимальный ток нагрузки которой равен 3 А, а выходное стабилизированное напряжение  $U_{вых.стаб} = (5 \pm 0,1)$  В).



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

$$C1 = \frac{I_H + I_{ПР.НЛ1} + I_{ПОТР.ДА1}}{2f \cdot U_{П}}, \quad (5.3)$$

где  $I_H$  – ток нагрузки, А;

$I_{ПОТР.ДА1}$  – ток, потребляемый DA1, А;

$U_{П}$  – напряжение пульсаций выпрямленного напряжения, В;

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

На рисунке 5.2 приведена схема стабилизатора напряжения на основе микросхемы LM338K.

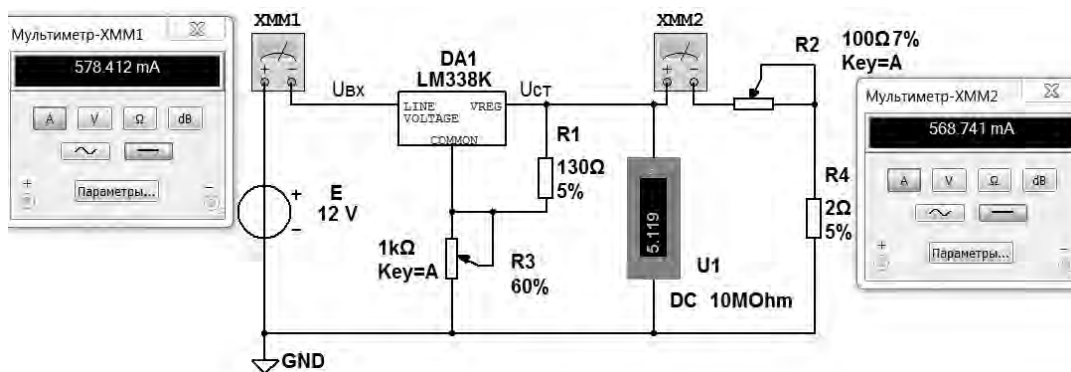


Рисунок 5.2 – Схема регулируемого стабилизатора напряжения на основе микросхемы LM338K

Необходимое значение выходного напряжения устанавливается с помощью регулируемых делителей  $R1$ ,  $R3$ . Резистором  $R2$  регулируется ток нагрузки, измеряемый мультиметром XMM2. Напряжение  $U_{cm}$  на выходе стабилизатора измеряется вольтметром U1. Ток, потребляемый от источника E, измеряется мультиметром XMM1.

Основным параметром стабилизаторов напряжения является коэффициент стабилизации

$$K_{ст} = \frac{U_{вх\max} - U_{вх\min}}{U_{выхст1} - U_{выхст2}}. \quad (5.4)$$

**Задача 1.** К схеме, приведенной на рисунке 5.1, подберите из справочных источников микросхему DA1 с  $U_{вых.стаб} = +15$  В и  $I_H = 0,25$  А. Составьте схему, представленную на рисунке 5.1, в Multisim и исследуйте её работу, подключив к ней показанные на схеме приборы. Рассчитайте  $K_{ст}$ .

**Задача 2.** К схеме, приведенной на рисунке 5.1, подберите из справочных источников светодиод HL1 с красным цветом свечения. Задавшись величиной прямого тока через него  $I_{пр.НЛ1} = 10$  мА, рассчитайте сопротивление резистора  $R1$  и рассеиваемую на нем мощность.



**Задача 3.** Для схемы, приведенной на рисунке 5.1, рассчитайте емкость конденсатора  $C1$ , если  $I_n = 1,7$  А,  $I_{np.HL1} = 10$  мА,  $U_n = 0,5$  В,  $f = 50$  Гц.

**Задача 4.** Исследуйте работу схемы, приведенной на рисунке 5.2, в Multisim. По результатам исследований рассчитайте  $K_{cm}$ .

**Задача 5.** Составьте схему, приведенную на рисунке 5.1, в Multisim и исследуйте её работу, подключив к ней приборы, показанные на рисунке 5.2. Рассчитайте  $K_{cm}$ .

## 6 Проектирование и моделирование в среде MultyiSim генераторов прямоугольных импульсов

Генераторы сигналов прямоугольной формы могут быть созданы на основе логических элементов или с использованием специальных микросхем, например, микросхемы LMS555CH (К1006ВИ1) (рисунок 6.1).

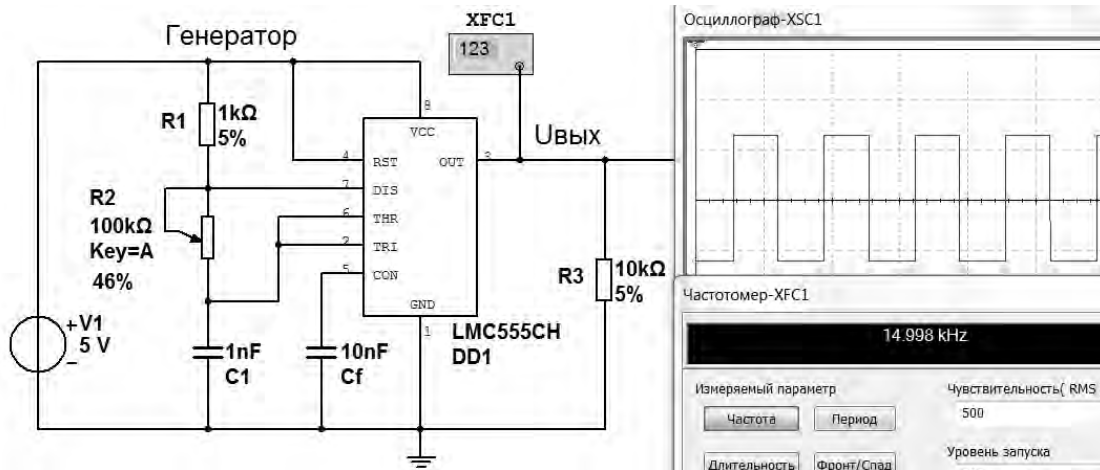


Рисунок 6.1 – Схема в Multisim генератора прямоугольных импульсов на микросхеме LMS555CH (К1006ВИ1)

Резисторы  $R1$ ,  $R2$  и конденсатор  $C1$  задают период следования импульсов. Изменяя параметр одного из этих элементов, можно плавно или дискретно изменять частоту следования импульсов.

Работа генератора описывается выражением

$$F_{\Gamma} = \frac{0,7}{(2 \cdot R1 + R2) \cdot C1} \quad (6.1)$$

**Задача 1.** Составьте схему, приведенную на рисунок 6.1, в Multisim и исследуйте её работу, подключив к ней показанные на схеме приборы. Изменяя сопротивление резистора  $R2$ , определите диапазон изменения частоты выходного сигнала.

**Задача 2.** По параметрам элементов  $R1$ ,  $R2$  и  $C1$ , указанных на рисунке 6.1, рассчитайте по формуле (6.1) частоту выходного сигнала. Сравните полученный результат с показаниями частотомера XFC1.

**Задача 3.** Выполните расчет и выбор параметров элементов  $R1$ ,  $R2$  и  $C1$  генератора, приведенного на рисунке 6.1, чтобы частота генерируемого им сигнала была равна 80 кГц. Исследуйте работу генератора с такими параметрами в Multisim.

## 7 Проектирование и моделирование в среде MultyiSim RS-, D- и JK-триггеров на логических элементах

Триггером называется устройство, обладающее двумя состояниями устойчивого равновесия и способное под воздействием внешнего управляющего сигнала переходить скачком из одного состояния в другое.

В цифровых устройствах триггеры используются в качестве:

- запоминающей ячейки в устройствах электронной памяти для хранения 1 бита информации;
- элемента деления на два в импульсных счетчиках и делителях частоты;
- устройства для расширения (увеличения длительности) импульсов;
- устройства, восстанавливающего форму прямоугольного импульса.

Как правило, триггер имеет два выхода: прямой  $Q$  и инверсный  $\bar{Q}$ . Состояние триггера определяется по прямому выходу  $Q$ . Если  $Q = 1$ , то триггер находится в единичном состоянии, или говорят, что триггер установлен. Если  $Q = 0$ , то триггер находится в нулевом состоянии, или говорят, что триггер сброшен. Сигналы на выходах триггера всегда должны быть противоположными. При совпадении выходных сигналов устройство перестает работать в качестве триггера.

Число входов и их обозначение зависят от типа триггера и выполняемой функции:

- $S$ ,  $J$  – входы установки триггера в единичное состояние;
- $R$ ,  $K$  – входы установки триггера в нулевое состояние;
- $T$  – счетный вход;
- $D$  – вход приема одного бита информации;
- $C$  – вход синхронизации;
- $V$  – вход разрешения/запрета работы триггера.

По способу записи информации триггеры делятся на асинхронные и синхронные. В асинхронных триггерах информация, записанная в триггер, может изменяться в любой момент времени при изменении входных сигналов. В синхронных триггерах информация на выходе может изменяться только в определенные моменты времени, задаваемые дополнительным синхронизирующим сигналом, поступающим на вход синхронизации  $C$ . Синхронные триггеры делятся на одноступенчатые и двухступенчатые. В одноступенчатых триггерах запись информации происходит по фронту синхроимпульса,



в двухступенчатых – по срезу.

Различают следующие типы триггеров:

- асинхронные RS-триггеры;
- синхронные RS-триггеры;
- D-триггеры;
- JK-триггеры;
- T-триггеры.

В основе всех типов триггеров лежит основной (базовый) асинхронный RS-триггер. Он может быть построен на двух логических элементах 2И-НЕ (рисунок 7.1) или 2ИЛИ-НЕ (рисунок 7.2).

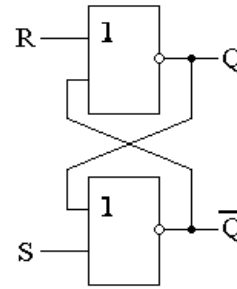
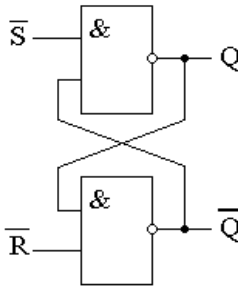


Рисунок 7.1 – Асинхронный RS-триггер на логических элементах 2И-НЕ

Рисунок 7.2 – Асинхронный RS-триггер на логических элементах 2ИЛИ-НЕ

**Задача 1.** Составьте схему в Multisim асинхронного RS-триггера на логических элементах 2И-НЕ в соответствии с рисунком 7.3.

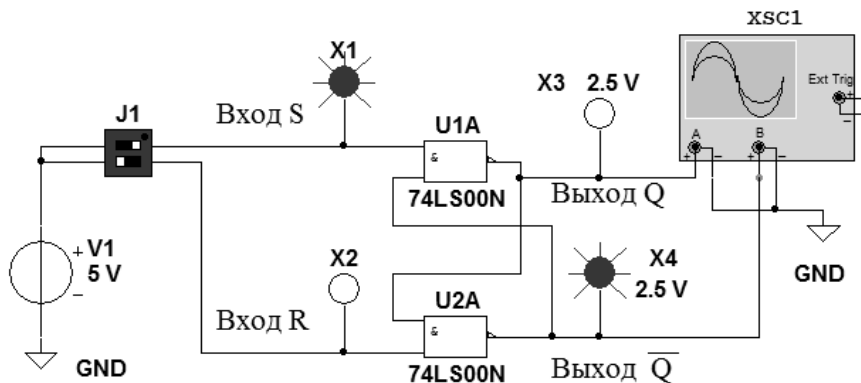


Рисунок 7.3 – Схема в Multisim для исследования асинхронного RS-триггера на логических элементах 2И-НЕ

Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1, поочередно подавайте на входы исследуемого асинхронного RS-триггера комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 7.1, и наблюдайте за сигналами на его входах с помощью индикаторов X1 и X2 и на его выходах с помощью индикаторов X3 и X4 и осциллографа XSC1.

В ячейках таблицы  $Q_t$  означает состояние триггера до подачи управляющих сигналов,  $Q_{t+1}$  – после подачи.



Таблица 7.1 – Таблица истинности асинхронного RS-триггера на логических элементах 2И-НЕ

Вход		Выход		Выполняемая функция
S	R	$Q_{t+1}$	$\bar{Q}_{t+1}$	
1	1	$Q_t$	$\bar{Q}_t$	Хранение
0	1			Запись «1»
1	0			Запись «0»
0	0			Триггер не работает

**Задача 2.** Составьте схему в Multisim синхронного RS-триггера на логических элементах 2И-НЕ в соответствии с рисунком 7.4.

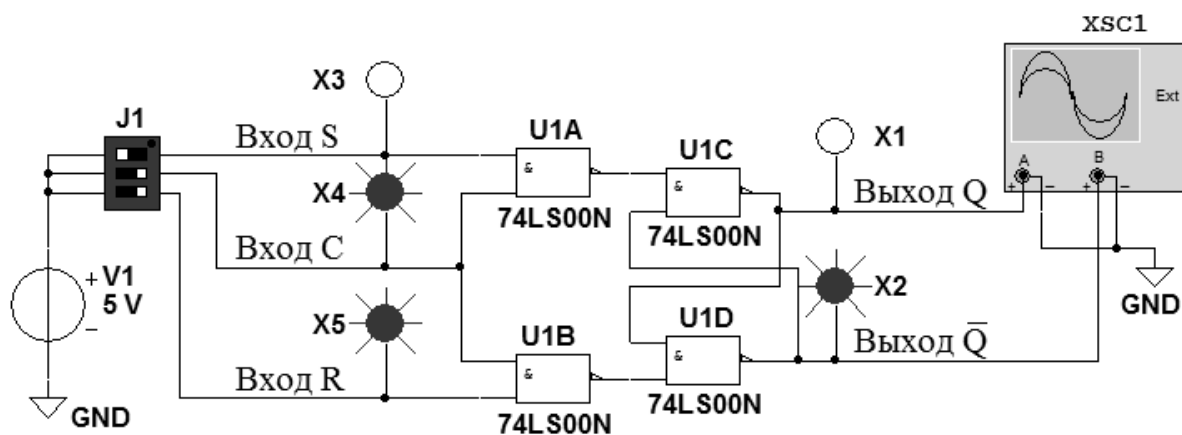


Рисунок 7.4 – Схема в Multisim для исследования синхронного RS-триггера на логических элементах 2И-НЕ

Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1, поочередно подавайте на входы исследуемого синхронного RS-триггера комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 7.2, и наблюдайте за сигналами на его входах с помощью индикаторов X3...X5 и на его выходах с помощью индикаторов X1 и X2 и осциллографа XCS1

Таблица 7.2 – Таблица истинности синхронного RS-триггера на логических элементах 2И-НЕ

Вход			Выход		Выполняемая функция
C	S	R	$Q_{t+1}$	$\bar{Q}_{t+1}$	
0	X	X	$Q_t$	$\bar{Q}_t$	Хранение
1	0	0	$Q_t$	$\bar{Q}_t$	Хранение
1	1	0			Запись «1»
1	0	1			Запись «0»
1	1	1			Триггер не работает

**Задача 3.** Составьте схему в Multisim D-триггера на логических элементах 2И-НЕ в соответствии с рисунком 7.5.

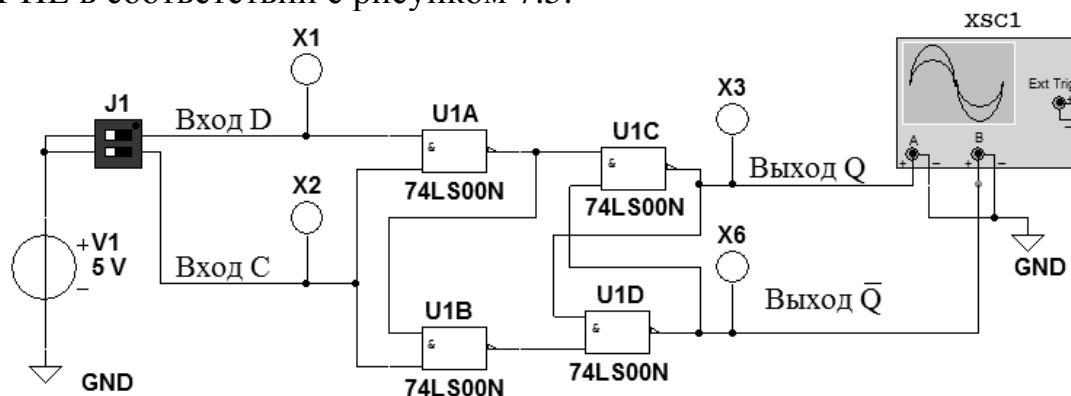


Рисунок 7.5 – Схема в Multisim для исследования D-триггера на логических элементах 2И-НЕ

Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1, поочередно подавайте на входы исследуемого D-триггера комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 7.3, и наблюдайте за сигналами на его входах с помощью индикаторов X1 и X2 и на его выходах с помощью индикаторов X3 и X4 и осциллографа XCS1.

Таблица 7.3 – Таблица истинности D-триггера на логических элементах 2И-НЕ

Вход		Выход		Выполняемая функция
C	D	$Q_{t+1}$	$\bar{Q}_{t+1}$	
0	X	$Q_t$	$\bar{Q}_t$	Хранение
1	1			Запись «1»
1	0			Запись «0»

**Задача 4.** Составьте схему в Multisim двухступенчатого D-триггера на логических элементах И-НЕ в соответствии с рисунком 7.6.

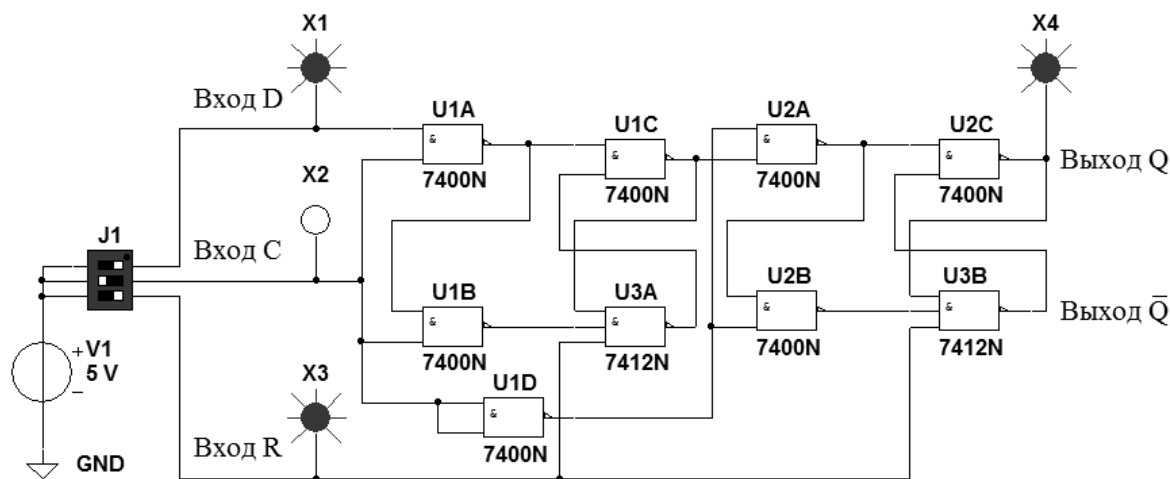


Рисунок 7.6 – Схема в Multisim для исследования двухступенчатого D-триггера с дополнительным входом R для асинхронного сброса триггера

Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1, поочередно подавайте на входы исследуемого двухступенчатого D-триггера комбинации сигналов на входы R, C, R в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 7.4, и наблюдайте за сигналом на его прямом выходе. Уровни сигналов наблюдайте с помощью индикаторов X1...X5.

Запись в ячейках таблицы 1/0 означает, что триггер срабатывает при переходе сигнала на входе C из единицы в нуль (по срезу импульса).

Таблица 7.4 – Таблица истинности двухступенчатого D-триггера с дополнительным входом R для асинхронного сброса триггера

Вход			Выход	Выполняемая функция
C	D	R	$Q_{t+1}$	
0	X	1	$Q_t$	Хранение
1/0	1	1		Запись «1»
1/0	0	1		Запись «0»
X	X	0		Запись «0»

**Задача 5.** Составьте схему в Multisim двухступенчатого JK-триггера на логических элементах И-НЕ в соответствии с рисунком 7.7.

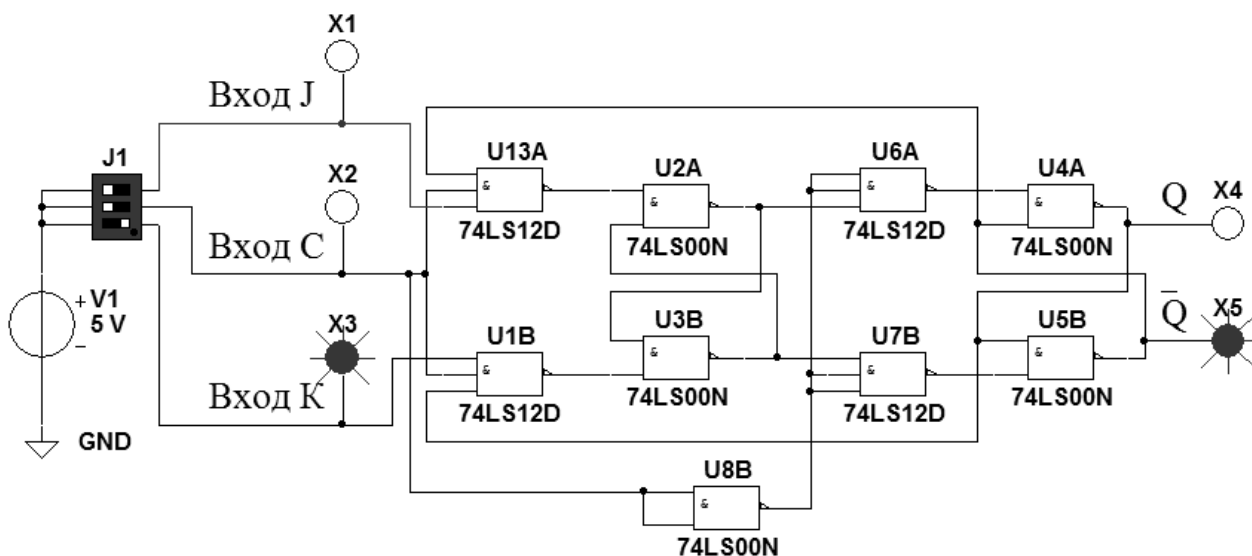


Рисунок 7.7 – Схема в Multisim двухступенчатого JK-триггера на логических элементах И-НЕ

Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1, поочередно подавайте на входы исследуемого триггера комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 7.5, и наблюдайте за сигналами на его входах и выходах с помощью индикаторов X1... X5.

Таблица 7.5 – Таблица истинности двухступенчатого JK-триггера

Вход			Выход		Выполняемая функция
C	J	K	$Q_{t+1}$	$\bar{Q}_{t+1}$	
0	X	X	$Q_t$	$\bar{Q}_t$	Хранение
1/0	1	0			Запись «1»
1/0	0	1			Запись «0»
1/0	1	1			Переключение

## 8 Проектирование и моделирование в среде MultyiSim двоичных и двоично-десятичных счетчиков импульсов

Счетчиком называют цифровое устройство, обеспечивающее подсчет числа электрических импульсов. Коэффициент пересчета счетчика  $K_{сч}$  равен минимальному числу импульсов, поступивших на вход счетчика, после которых состояния на выходе счетчика начинают повторяться. Счетчик называют суммирующим, если после каждого очередного импульса цифровой код на выходе счетчика увеличивается на единицу. В вычитающем счетчике после каждого импульса на входе счетчика цифровой код на выходе уменьшается на единицу. Счетчики, в которых возможно переключение с режима суммирования на режим вычитания, называют реверсивными.

Любой счетчик с модулем  $K_{сч}$  может быть использован как делитель частоты входных сигналов с коэффициентом деления  $K_{сч}$ .

Счетчики могут быть с предварительной установкой. В таких счетчиках информация с входов предварительной установки передается на выходы счетчика по сигналу на специальном входе предварительной установки.

По способу переключения триггеров во время счета счетчики делятся на асинхронные и синхронные. Первые называются еще счетчиками с последовательным переносом, т. к. переход каждого триггера из одного состояния в противоположное происходит последовательно во времени. Входной переключающий сигнал непосредственно воздействует лишь на первый триггер, и каждый триггер вырабатывает переключающий сигнал для следующего соседнего триггера.

Синхронные счетчики называются еще счетчиками с параллельным переносом, т. к. в них входной переключающий сигнал непосредственно воздействует на все триггеры счетчика, что обеспечивает одновременность переходов триггеров.

Счетчик называется двоичным, если  $K_{сч} = 2^m$ , где  $m$  – целое число,  $m > 0$ , и десятичным, если  $K_{сч} = 10^p$ , где  $p$  – целое число,  $p > 0$ .

Счетчики с коэффициентами пересчета, отличающимися от двоичных и десятичных, могут быть построены путем введения дополнительных связей в двоичные счетчики.

Существуют общие методы построения счетчиков с любым заданным  $K_{сч}$ .



Один из этих методов заключается в немедленном сбросе в 0 счетчика, установившегося в комбинацию, соответствующую числу  $K_{сч}$ . Другой метод построения счетчика с заданным  $K_{сч}$  основан на использовании начальной установки. Этот метод заключается в том, что счет каждый раз начинается не с нуля, как обычно, а с некоторого числа. Оно и определяет  $K_{сч}$ .

**Задача 1.** Преобразуйте в среде Multisim двухступенчатый D-триггер, показанный на рисунке 7.6, в T-триггер, соединив его инверсный выход с входом D. Вход C автоматически становится счетным входом T (рисунок 8.1).

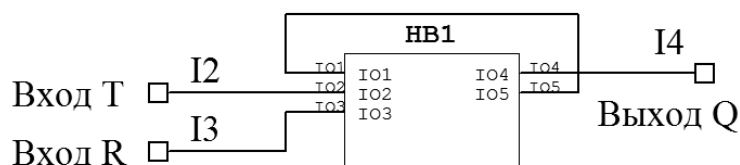


Рисунок 8.1 – Модуль в Multisim T-триггера на основе двухступенчатого D-триггера

Создайте четыре таких модуля, соедините их последовательно, подключив к получившейся цепочке T-триггеров клавиши J1 и индикаторы, переименовав их так, как показано на рисунке 8.2.

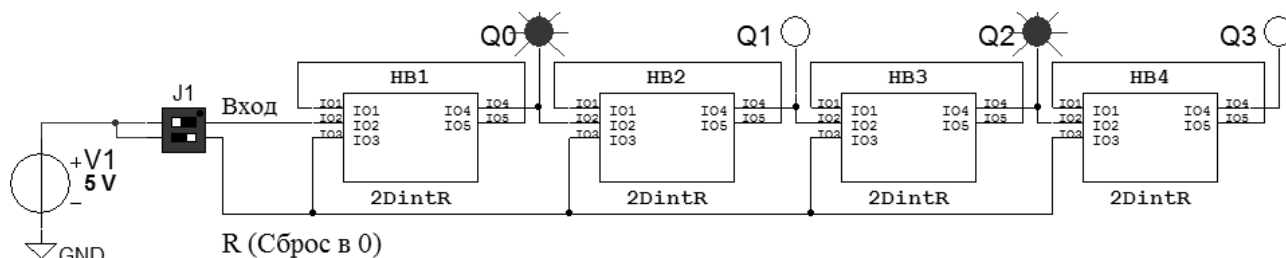


Рисунок 8.2 – Схема в Multisim четырехразрядного двоичного счетчика на основе T-триггеров

Включите моделирование. Выполните сброс в 0 всех триггеров нижней клавишей J1. С помощью верхней клавиши J1 подавайте на вход исследуемого счетчика одиночные импульсы и наблюдайте с помощью индикаторов за сигналами на прямых выходах Q0, Q1, Q2 и Q3 триггеров. Получившиеся на выходах сигналы (нули и единицы) впишите в таблицу 8.1.

Сделайте перевод полученных двоичных чисел в десятичные и впишите в таблицу.

**Задача 2.** Из электронного справочника выпишите паспортные данные микросхемы 7490N (K155ИЕ2), изучите назначение выводов этой микросхемы и режимы работы.

Составьте схему в Multisim (рисунок 8.3). Включите моделирование. Обнулите счетчик клавишей J2.



Таблица 8.1 – Таблица соответствия сигналов на выходах  $Q_i$  четырехразрядного двоичного счетчика с номером поступившего на его вход импульса

Номер импульса на входе	Прямой выход триггеров				Десятичное число
	Q3	Q2	Q1	Q0	
0	0	0	0	0	0
1					
2					
...	...	...	...	...	...
17					
18					

Генератор одиночного импульса

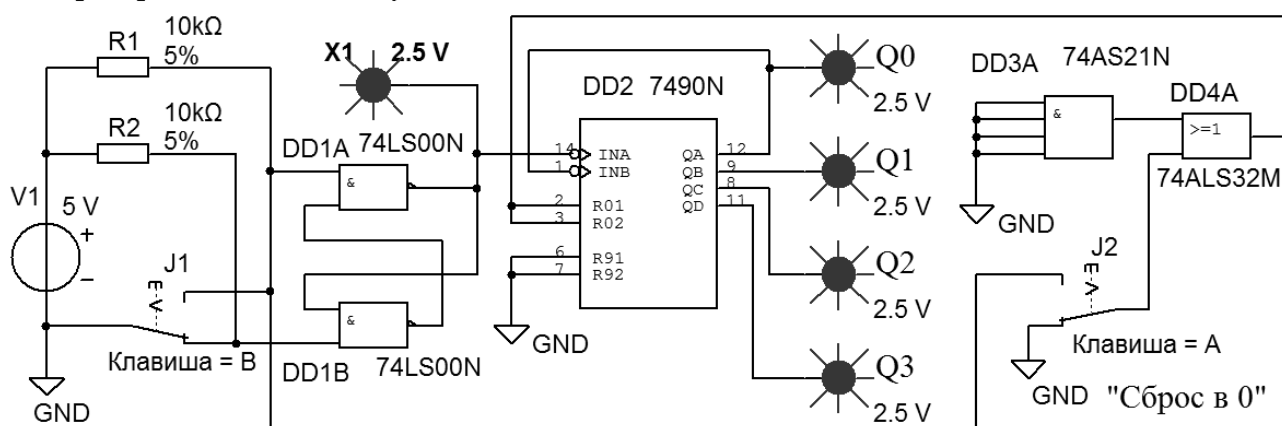


Рисунок 8.3 – Схема для исследования в Multisim работы четырехразрядного двоично-десятичного счетчика на основе микросхемы 7490N (K155ИЕ2)

С помощью генератора одиночных импульсов (ГОИ) (используя клавишу J1) подайте на вход исследуемого счетчика двенадцать импульсов. После каждого поданного импульса наблюдайте с помощью индикаторов Q0, Q1, Q2, Q3 за сигналами на выходах счетчика. Получившиеся на выходах сигналы (нули и единицы) впишите в таблицу 8.2. Сделайте перевод полученных двоичных чисел в десятичные и впишите в таблицу.

Таблица 8.2 – Таблица соответствия сигналов на выходах микросхемы 7490N (K155ИЕ2) с номером поступившего на её вход импульса

Номер импульса на входе	Выход счетчика				Десятичное число
	Q3	Q2	Q1	Q0	
0	0	0	0	0	0
1					
2					
...	...	...	...	...	...
11					
12					

**Задача 3.** Составьте схему в Multisim (рисунок 8.4), подключив выходы микросхемы DD2 к входам микросхемы DD3A. Включите моделирование. Обнулите счетчик клавишей J2. С помощью ГОИ подайте на вход исследуемого счетчика двенадцать импульсов. После каждого поданного импульса наблюдайте с помощью индикаторов Q0, Q1, Q2, Q3 за сигналами на выходах счетчика. Получившиеся на выходах сигналы (нули и единицы) впишите в таблицу, аналогичную таблице 8.2. Сделайте перевод полученных двоичных чисел в десятичные и впишите в эту таблицу.

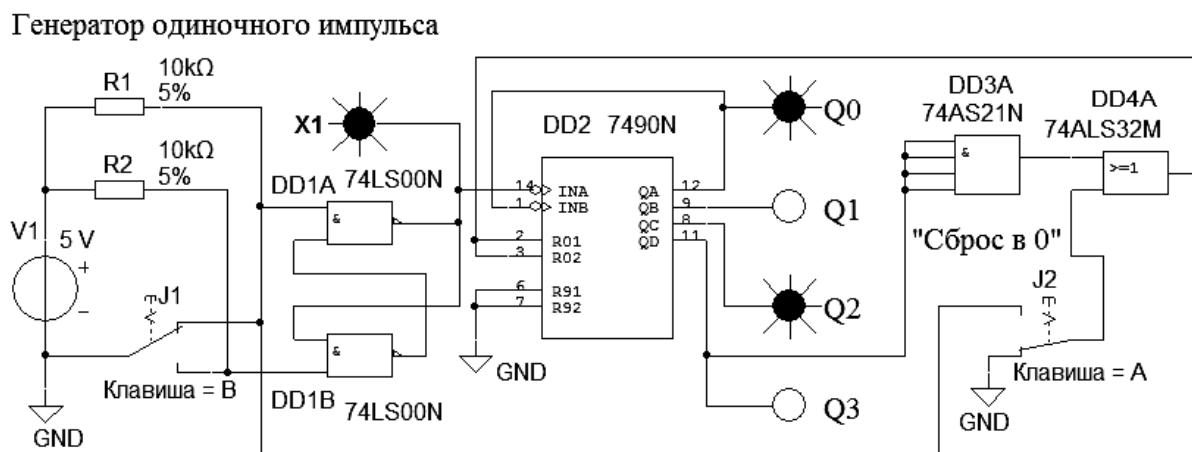


Рисунок 8.4 – Схема для исследования в Multisim работы четырехразрядного двоично-десятичного счетчика на основе микросхемы 7490N (K155ИЕ2) с ограничением  $K_{сч}$

**Задача 4.** Из электронного справочника выпишите паспортные данные микросхемы 74LS193D (K155ИЕ7), изучите назначение выводов этой микросхемы и режимы работы.

Составьте схему в Multisim (рисунок 8.5). Включите моделирование. Выполните сброс в 0 счетчика клавишей J1.

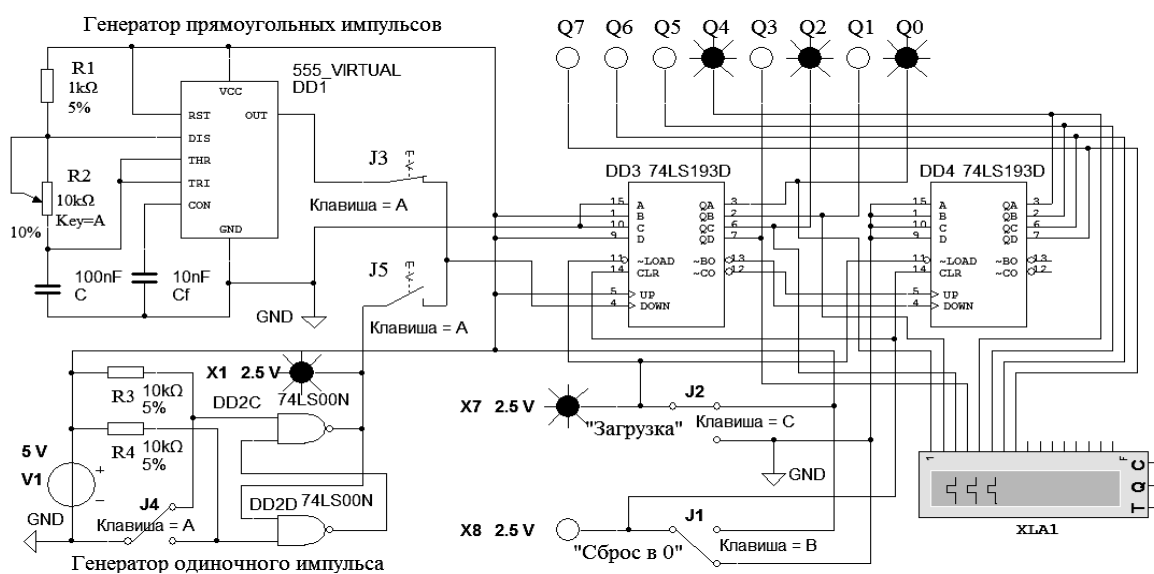


Рисунок 8.5 – Схема для исследования работы в Multisim восьмиразрядного реверсивного двоичного счетчика с предварительной загрузкой на основе двух микросхем 74LS193D (K155ИЕ7), работающих в режиме суммирования



С помощью клавиши J5 подключите выход ГОИ к входу счетчика и подайте на вход исследуемого счетчика восемнадцать импульсов с помощью клавиши J4. После каждого поданного импульса наблюдайте с помощью индикаторов Q0...Q4 за сигналами на выходах счетчика и сопоставьте полученные данные с записанными ранее в таблицу 8.1.

Выполните сброс в 0 счетчика, нажав клавишу J1. С помощью клавиши J2 загрузите в счетчик число, выставленное на входах А, В, С, D микросхем DD3 и DD4. Определите, какое это число, используя составленную таблицу. Как его можно изменить схемотехнически? Подайте на вход исследуемого счетчика восемь импульсов с помощью клавиши J4.

После каждого поданного импульса наблюдайте с помощью индикаторов Q0...Q4 за сигналами на выходах счетчика и сопоставьте полученные данные с результатами предыдущего эксперимента.

Выполните сброс в 0 счетчика, нажав клавишу J1. С помощью клавиши J5 отключите выход ГОИ к входу счетчика. С помощью клавиши J5 подключите выход генератора прямоугольных импульсов (ГПИ) к входу счетчика. Частоту поступающих на счетчик импульсов можно регулировать с помощью потенциометра R2. Наблюдайте с помощью индикаторов Q0...Q7 и с помощью логического анализатора XLA1 за сигналами на выходах счетчика и сопоставьте полученные данные с записанными ранее в таблицу 8.1.

**Задача 5.** Переведите счетчик (см. рисунок 8.5) в режим вычитания, поменяв подключение входов UP и DOWN микросхемы DD3. Выполните исследование работы такого счетчика в последовательности, изложенной в задаче 8.4.

## 9 Проектирование и моделирование в среде MultyiSim регистров и дешифраторов

*Регистр* – устройство для записи, хранения и считывания n-разрядных двоичных данных и выполнения других операций над ними. Он представляет собой упорядоченный набор триггеров, обычно D-триггеров, число которых соответствует числу разрядов в двоичном числе (слове). Основой построения регистров также являются RS-триггеры и JK-триггеры.

Типичными являются следующие операции с регистрами:

- приём слова в регистр (установка);
- передача слова из регистра;
- сдвиг слова влево или вправо на заданное число разрядов в сдвиговых регистрах;
- преобразование последовательного кода слова в параллельный и обратно;
- установка регистра в начальное состояние (сброс).

Регистры различают по типу ввода (загрузки, приёма) и вывода (выгрузки, выдачи) информации:

- с последовательным вводом и выводом информации;
- с параллельным вводом и выводом информации;



- с параллельным вводом и последовательным выводом;
- с последовательным вводом и параллельным выводом.

На рисунке 9.1 приведена схема для исследования работы 4-разрядного регистра на двухступенчатых D-триггерах (см. рисунок 8.1).

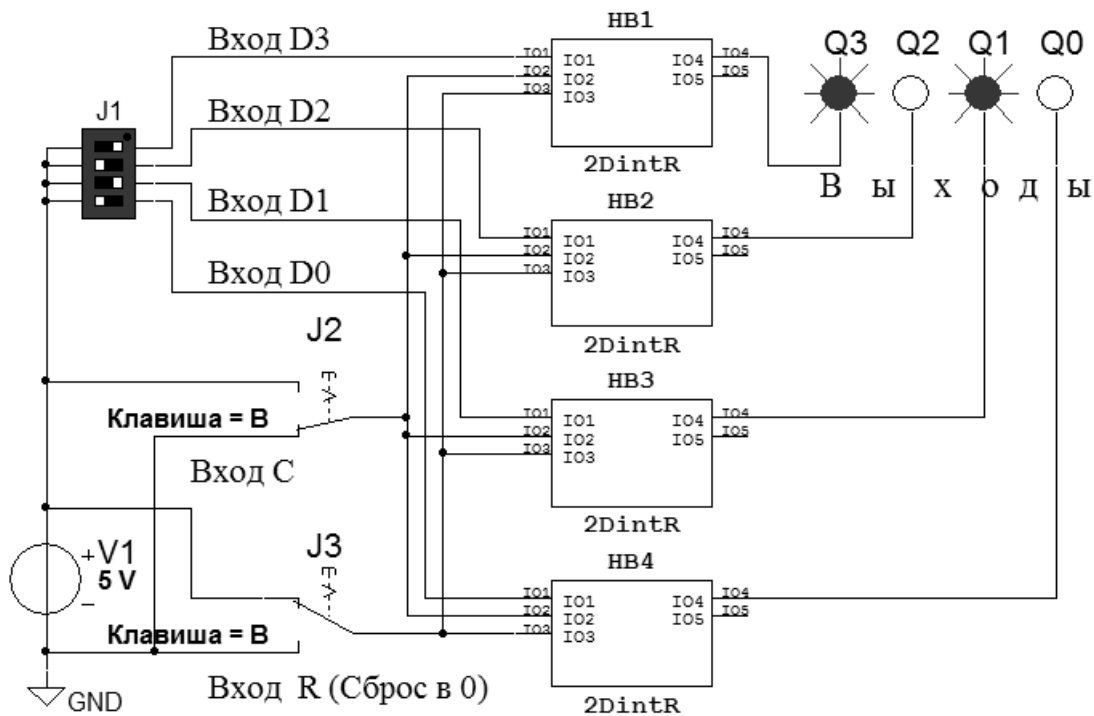


Рисунок 9.1 – Схема в Multisim для исследования работы 4-разрядного регистра на двухступенчатых D-триггерах

*Дешифратором* или декодером (*Decoder*) называется цифровое устройство на логических элементах, имеющее при  $n$  информационных входах до  $2^n$  выходов и осуществляющее преобразование параллельного двоичного числа в унитарный код. Унитарный означает такой способ представления числа, при котором величина числа определяется положением активного сигнала на множестве выходов. Выходы обычно пронумерованы десятичными числами. Для определения номера выхода необходимо осуществить преобразование двоичного числа, подаваемого на информационные входы дешифратора, в десятичное. Полученное десятичное число и определяет номер выхода, на котором формируется активный сигнал. На остальных его выходах сигналы будут пассивными. В большинстве современных дешифраторов активным является сигнал низкого уровня.

Дешифраторы относятся к устройствам комбинационного типа. Сигналы на выходах таких устройств зависят от сигналов на их входах. Данные устройства не сохраняют предыдущее состояние после смены сигналов на входах, т. е. они не обладают памятью (не содержат триггеров).

На рисунке 9.2 приведена схема для исследования работы дешифратора в интегральном исполнении 74ALS138M (К555ИД7).

С помощью клавиш J2 подаются сигналы низкого уровня на входы G2A, G2B и сигнал высокого уровня на вход G1. Уровни подаваемых сигналов

контролируются с помощью индикаторов G1, G2A, G2B.

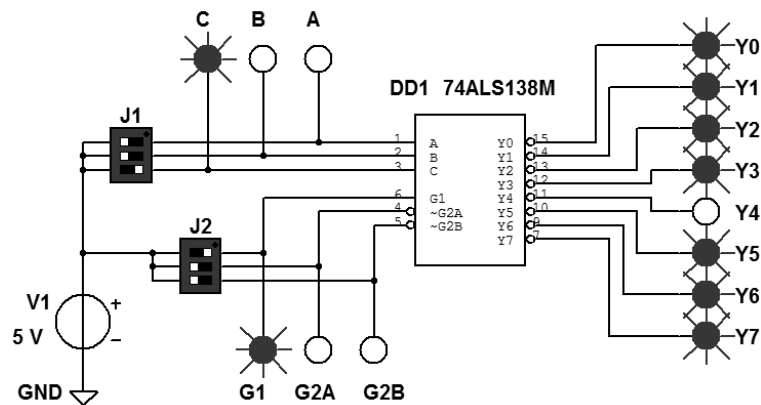


Рисунок 9.2 – Схема в Multisim для исследования работы дешифратора в интегральном исполнении 74ALS138M (K555ИД7)

С помощью клавиш J1 формируются трёхразрядные двоичные номера выходов Y0...Y7 дешифратора DD1. На выбранном выходе (на рисунке 9.2 выход Y4) появится сигнал низкого уровня, на остальных выходах будут присутствовать сигналы высокого уровня, что подтверждается состоянием индикаторов Y0...Y7.

**Задача 1.** К какому типу относится регистр на рисунке 9.1?

**Задача 2.** Составьте схему в Multisim 8-разрядного регистра на двухступенчатых D-триггерах.

**Задача 3.** Составьте схему в Multisim с использованием электронного счётчика импульсов K155ИЕ2 для автоматического управления сигналами на выходах дешифратора K555ИД7. Исследуйте её работу.

## 10 Проектирование схем ЦПУ на основе МП MCS-51

Центральным процессорным устройством (ЦПУ) называют минимальный набор элементов, обеспечивающих построение на его основе микропроцессорных систем различного функционального назначения.

**Задача 1.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к микропроцессору (МП) КР1816ВЕ51 из серии MCS-51 вспомогательных элементов, обеспечивающих его работу, и восьмиразрядного регистра К555ИР22 для хранения младшего байта адреса.

*Решение*

Руководствуясь справочными данными МП КР1816ВЕ51 и регистра К555ИР22, схему подключения выполним, как показано на рисунке 10.1. Через входы регистра D0...D7 из порта P0 МП в каждом машинном цикле

записывается младший байт адреса. Его выдача из МП сопровождается формированием синхросигнала высокого уровня ALE на 30 выводе МП. Этот сигнал поступает на вход LD регистра. При появлении сигнала высокого уровня на данном регистре будет разрешена операция записи в него числа. Записанное в регистр число (младший байт адреса) появляется на его выходах 0...7 при низком уровне сигнала на входе E0.

Конденсаторы C1, C2 и кварцевый резонатор ZQ1 являются внешними элементами встроенного в МП генератора тактовых импульсов и подключаются к выводам X1, X2. Конденсатор C3 и резистор R1 после включения питания формируют кратковременный сигнал высокого уровня, поступающий на вход RST МП для подготовки его к работе.

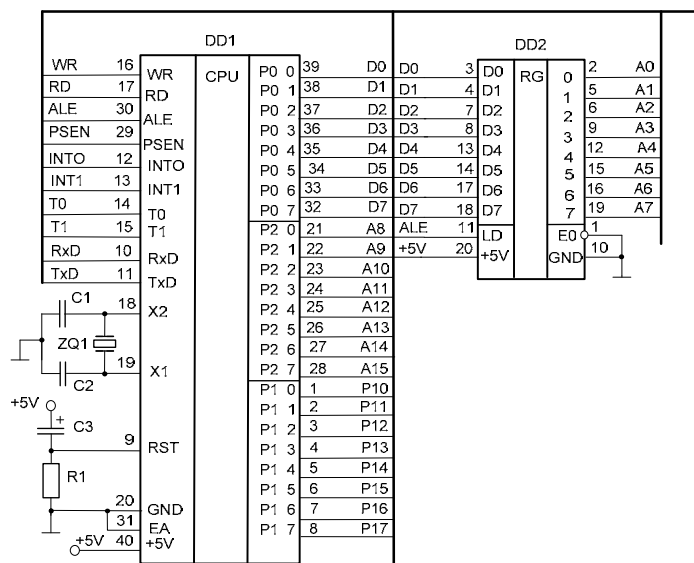


Рисунок 10.1 – Схема подключения регистра К555ИР22 к МП КР1816ВЕ51

**Задача 2.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к микропроцессору (МП) КР1816ВЕ31 из серии MCS-51 вспомогательных элементов, обеспечивающих его работу, и восьмиразрядного регистра К555ИР23 для хранения младшего байта адреса.

**Задача 3.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к микропроцессору (МП) КР1830ВЕ31 из серии MCS-51 вспомогательных элементов, обеспечивающих его работу, и восьмиразрядного регистра К1533ИР33 для хранения младшего байта адреса.

## 11 Проектирование схем подключения к ЦПУ микросхем АЦП и ЦАП

В цифровых приборах на основе микропроцессоров аналоговые сигналы преобразуются в цифровые с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Широкое распространение получили АЦП в интегральном исполнении



с последовательным считыванием данных, например, микросхема AD7994 фирмы AnalogDevice. Она представляет собой двенадцатиразрядный АЦП. Условное обозначение микросхемы приведено на рисунке 11.1.

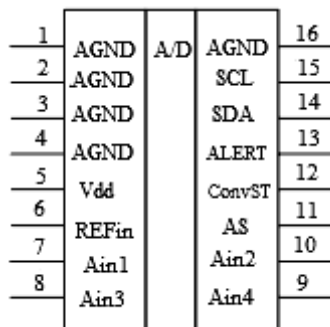


Рисунок 11.1 – Условное обозначение микросхемы АЦП AD7994

Основные параметры микросхемы следующие:

- количество аналоговых входов – 4;
- встроенный температурный датчик (от минус 55 до плюс 125 °С);
- встроенный индикатор превышения температурного порога;
- широкий диапазон напряжений питания (+2,7...+5,5 В);
- I2C совместимый интерфейс.

Назначение выводов:

- Vdd – питание +5 В;
- AGND – общий вывод;
- SDA – последовательная двунаправленная шина данных I2C;
- SCL – цифровой вход тактовых импульсов интерфейса I2C;
- 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 11.2. Аналоговый сигнал от датчика через разъём XS1 поступает на аналоговый вход Ain1 АЦП DD2. После преобразования данные считываются микропроцессором DD1 по шине SDA.

Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) предназначены для преобразования цифровых сигналов в аналоговые. 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.

Эта 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.

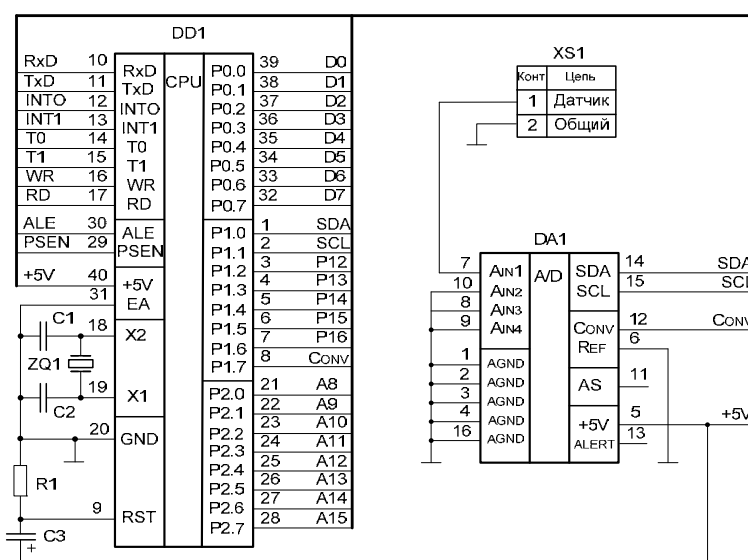


Рисунок 11.2 – Пример подключения АЦП AD7994 к микропроцессору серии MCS-51

**Задача 1.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к микропроцессору (МП) КР1830ВЕ31 из серии MCS-51 десятиразрядного АЦП AD7417.

**Задача 2.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к АЦП DD2 (см. рисунок 11.2) трех аналоговых датчиков.

## 12 Проектирование схем подключения к ЦПУ датчиков аналоговых и дискретных сигналов

Совместимость цифровых и аналоговых электронных устройств обеспечивают АЦП. Диапазоны входных сигналов АЦП не всегда совпадают с диапазонами сигналов, генерируемых аналоговыми источниками. В этом случае возникает необходимость в использовании между ними дополнительных буферных устройств – усилителей напряжения или мощности. На рисунке 12.1 приведена схема, обеспечивающая согласование выходного сигнала





## 13 Проектирование схем подключения к ЦПУ запоминающих устройств

**Задача 1.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к МП КР1816ВЕ51 микросхемы оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) НМ62256 с информационной емкостью 32 Кбайта.

*Решение*

Руководствуясь справочными данными МП КР1816ВЕ51 и ОЗУ НМ62256, схему подключения выполним, как показано на рисунке 13.1.

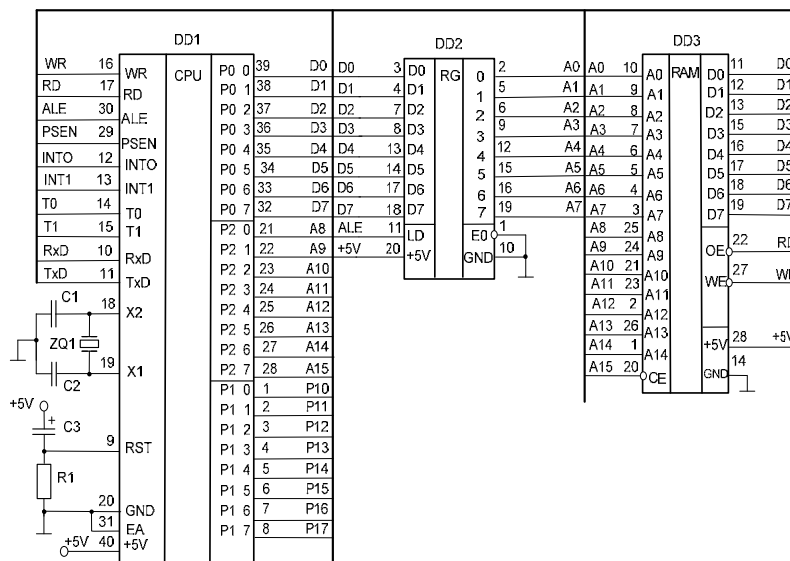


Рисунок 13.1 – Схема подключения к МП КР1816ВЕ51 микросхемы ОЗУ НМ62256

Номер ячейки ОЗУ выбирается сигналами, поступающими на её адресные входы A0...A14 с системной шины адреса (ША). Чтение и запись данных, передаваемых по проводникам D0...D7, разрешается подачей сигнала низкого уровня на вход CE ОЗУ DD3 и сопровождается синхросигналами, поступающими от МП DD1 по проводникам RD и WR.

**Задача 2.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к МП КР1830ВЕ31 микросхемы постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) К573РФ4 с информационной емкостью 8 Кбайт.

*Решение*

Руководствуясь справочными данными МП КР1830ВЕ31 и ПЗУ К573РФ4, схему подключения выполним, как показано на рисунке 13.2.

Номер ячейки ПЗУ выбирается сигналами, поступающими на её адресные входы A0...A12 с системной шины адреса (ША). Чтение данных, передаваемых по проводникам D0... D7, разрешается подачей сигнала низкого уровня на вход CS ПЗУ DD3 и сопровождается синхросигналом PSEN, поступающим от МП DD1.

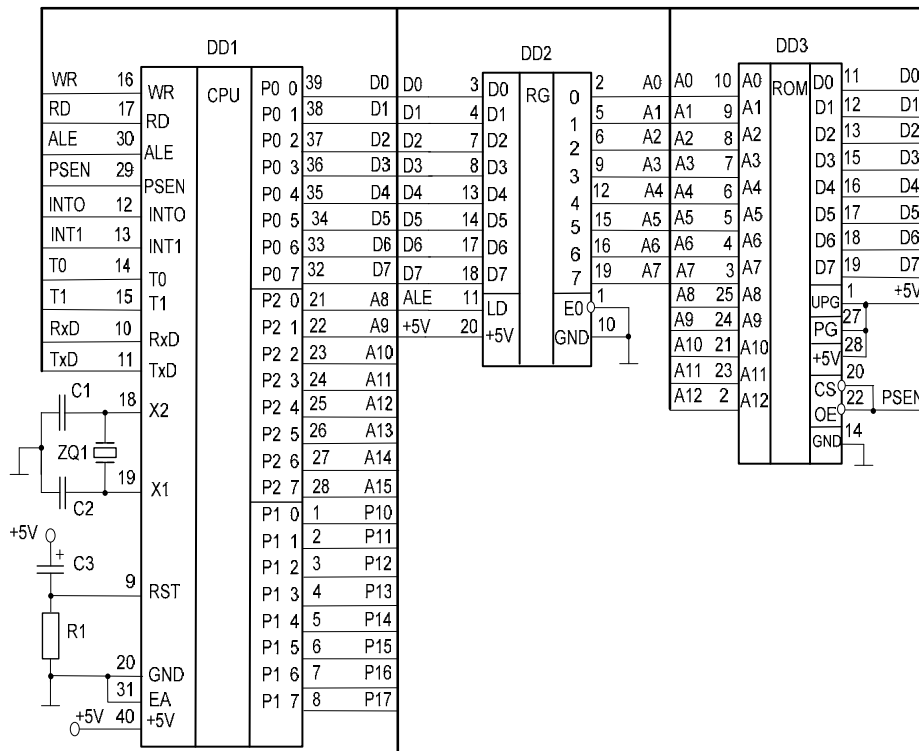


Рисунок 13.2 – Схема подключения к МП КР1830ВЕ31 микросхемы ПЗУ К573РФ4

**Задача 3.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к МП КР1816ВЕ51 микросхемы оперативного запоминающего устройства НМ64128 с информационной емкостью 16 Кбайт.

**Задача 4.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к МП КР1830ВЕ31 микросхемы постоянного запоминающего устройства К573РФ7 с информационной емкостью 32 Кбайта.

## 14 Проектирование схем связи между МПС по шинам RS-232, RS-485, I2C, USB

Обмен данными между микропроцессорными системами (МПС) и периферийным оборудованием обычно осуществляется по последовательному каналу связи с использованием стандартных интерфейсов: RS-232, RS-485, I2C и USB. Использование шины I2C было рассмотрено в задаче 1.

**Задача 1.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к МП серии MCS-51 AT89C51 микросхем FT232RL и MAX232 для обмена данными по каналам RS-232 и USB.

*Решение*

Руководствуясь справочными данными МП AT89C51 и микросхемами FT232RL, MAX232, схему подключения выполним, как показано на рисунке 14.1.

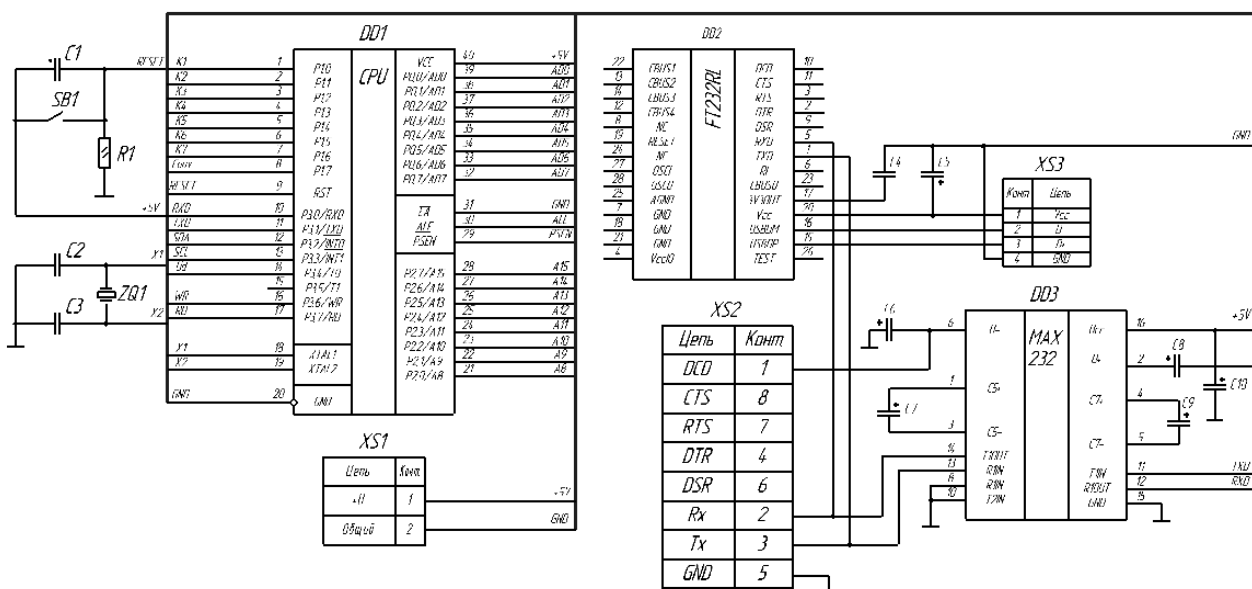


Рисунок 14.1 – Схема подключения к МП AT89C51 микросхем FT232RL и MAX232

## 15 Проектирование схем подключения к ЦПУ устройств отображения информации

**Задача 1.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к МП КР1830ВЕ51 ЖК-дисплея WM-C1602N.

*Решение*

Руководствуясь справочными данными МП КР1830ВЕ51 и ЖК-дисплея WM-C1602N, схему подключения выполним, как показано на рисунке 15.1. Дисплей WM-C1602N имеет две строки по 16 символов и работает под управлением встроенного контроллера. Выводимые на дисплей HG1 данные и режим его работы поступают от МП DD1 через регистр DD2. Резисторами R1 и R2 задается контрастность отображения выводимых символов.

**Задача 2.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к МП AT89C51 ЖК-дисплея WM-C1602N.

**Задача 3.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к МП КМ1816ВЕ751 ЖК-дисплея WM-C1602N.

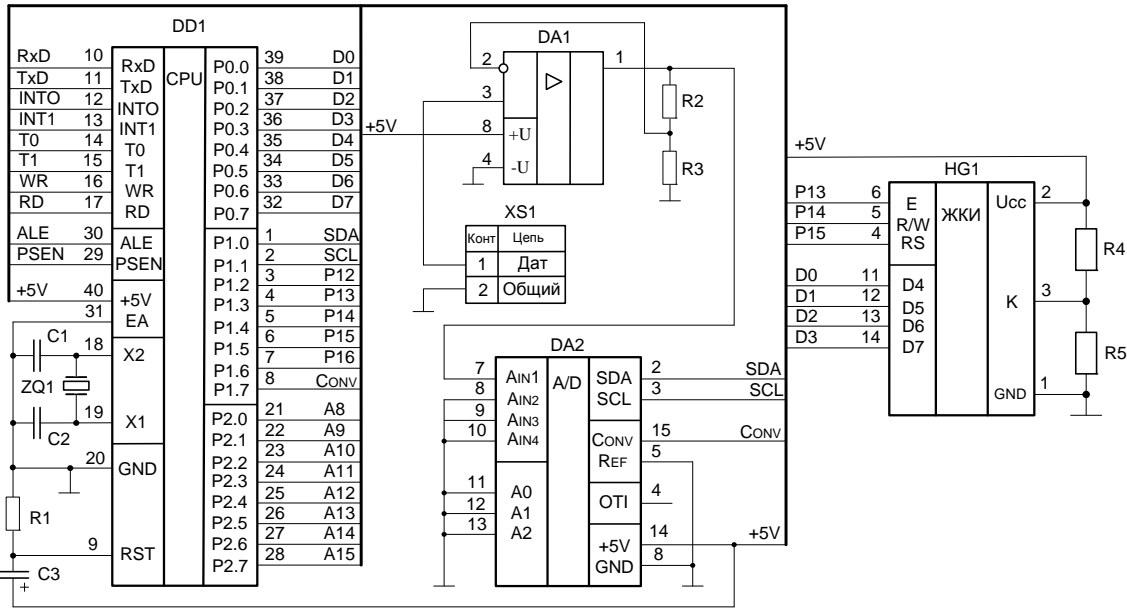


Рисунок 15.1 – Схема подключения к МП КР1830BE51 ЖК дисплея WM-C1602N

## 16 Проектирование схем подключения к ЦПУ клавиатуры, устройств сигнализации

**Задача 1.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к МП АТ89С51 клавиатуры из 11 цифровых и управляющих клавиш.

*Решение*

Схему подключения клавиатуры выполним, как показано на рисунке 16.1.

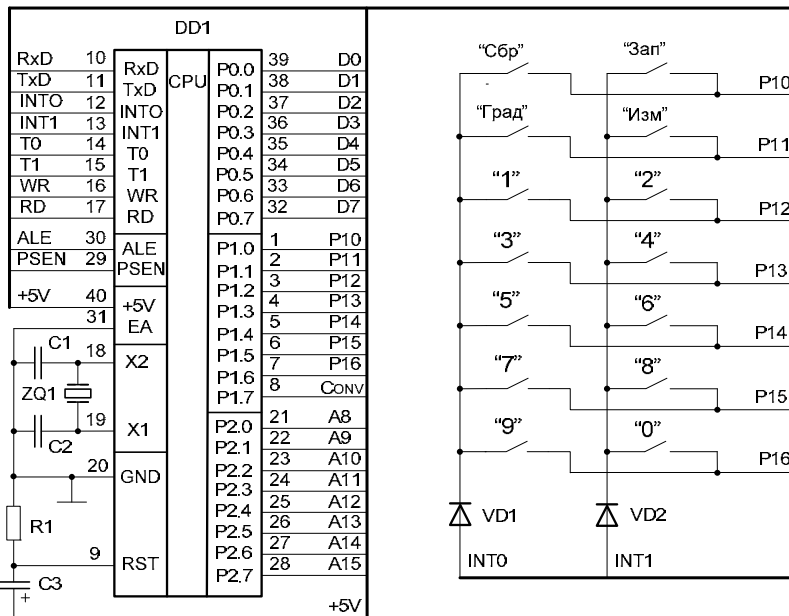


Рисунок 16.1 – Схема подключения клавиатуры к МП АТ89С51



Сканирование клавиш SB2...SB12 осуществляется программно последовательной передачей сигналов от DD1 по проводникам K1...K4 и их приемом и анализом по проводникам K5...K7.

**Задача 2.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к контроллеру Arduino UNO световой и звуковой сигнализации.

*Решение*

В качестве индикаторных устройств будем использовать светодиод АЛ307Б и динамик. Руководствуясь справочными данными контроллера Arduino UNO, светодиода АЛ307Б и динамика, схему подключения выполним, как показано на рисунке 16.2.

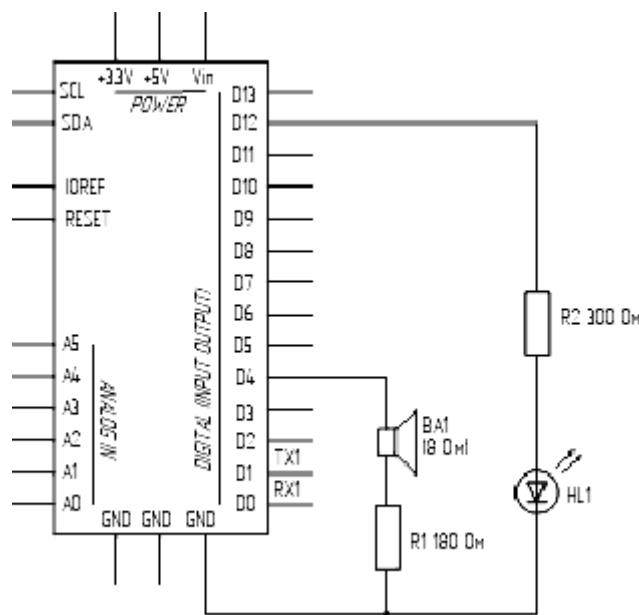


Рисунок 16.2 – Схема подключения светодиода и динамика к контроллеру Arduino UNO

Резисторы  $R1$ ,  $R2$  ограничивают токи через динамик BA1 и светодиод HL1.

**Задача 3.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к МП КР1830ВЕ31 клавиатуры из 16 цифровых и управляющих клавиш.

**Задача 4.** Нарисуйте электрическую принципиальную схему подключения к контроллеру Arduino UNO двух светодиодов и одного динамика в качестве устройств световой и звуковой сигнализации.

## 17 Проектирование схем подключения к ЦПУ исполнительных устройств

ЦПУ вырабатывают слабые по мощности электрические сигналы и для управления мощными исполнительными устройствами, подключаемыми к ним, могут быть использованы в качестве буферных элементов электромагнитные реле. На рисунке 17.1 показан внешний вид реле SRD-05VDC.

Данное реле управляется напряжением 5 В и способно коммутировать токи до 10 А с напряжением питания исполнительного устройства до 250 В.

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 17.2).

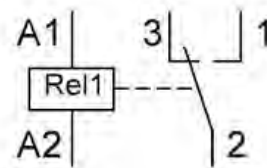


Рисунок 17.1 – Внешний вид реле SRD-05VDC

Рисунок 17.2 – Коммутационная схема реле SRD-05VDC

Релейный модуль имеет три вывода:

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

**Задача 1.** Нарисуйте схему подключения к контроллеру Arduino UNO реле SRD-05VDC.

*Решение*

Руководствуясь справочными данными контроллера Arduino UNO и реле SRD-05VDC, схему подключения выполним, как показано на рисунке 17.3.

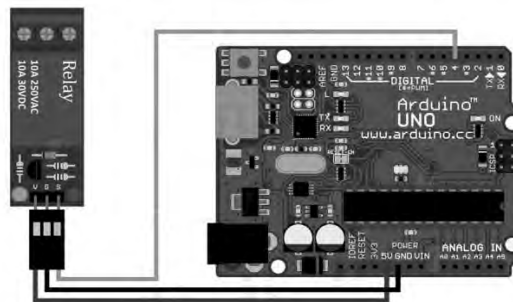


Рисунок 17.3 – Схема подключения реле SRD-05VDC к контроллеру Arduino UNO



**Задача 2.** Нарисуйте схему подключения электродвигателя мощностью 200 Вт к контроллеру Arduino UNO с использованием реле SRD-05VDC.

Микросхема DD2 (FT232RL) обеспечивает формирование сигналов для порта USB, микросхема DD3 (MAX232) – для порта RS-232. Обмен данными с МП DD1 осуществляется в последовательном коде по проводникам TXD и RXD.

## 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.

