

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение»
очной формы обучения*



Могилев 2022

УДК 004.31
ББК 32.844.1
М59

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «4» января 2022 г.,
протокол № 4

Составители: канд. техн. наук, доц. А. А. Афанасьев;
ст. преподаватель И. В. Курлович

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

В методических рекомендациях кратко изложены изучаемые теоретические сведения, приведен порядок выполнения экспериментальных исследований, указана структура отчета о выполненной работе и дан список контрольных вопросов для самопроверки по каждой теме. Составлены в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Микропроцессорная техника» для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение» очной формы обучения.

Учебно-методическое издание

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/11. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 31 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 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2022

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Исследование схем на основе операционных усилителей.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Исследование работы генератора гармонических колебаний и мультивибратора	8
3 Лабораторная работа № 3. Исследование работы логических элементов и триггеров	11
4 Лабораторная работа № 4. Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов	24
5 Лабораторная работа № 5. Исследование работы ЦАП и АЦП.....	34
6 Лабораторная работа № 6. Моделирование и исследование работы цифрового прибора на микроконтроллере с аналоговым датчиком.....	38
7 Лабораторная работа № 7. Моделирование и исследование работы цифрового прибора на микроконтроллере с дискретным датчиком	41
8 Лабораторная работа № 8. Моделирование и исследование работы исполнительного устройства цифрового прибора на микроконтроллере.....	44
Список литературы	48

1 Лабораторная работа № 1. Исследование схем на основе операционных усилителей

Цель работы: исследование работы устройств на основе операционных усилителей.

1.1 Основные теоретические положения

Операционные усилители (ОУ), как и обычные усилители, используются для усиления напряжения или мощности входного сигнала. ОУ включают одним из трех способов: с инвертирующим, неинвертирующим или дифференциальными входами.

Схема включения ОУ с инвертирующим входом изображена на рисунке 1.1.

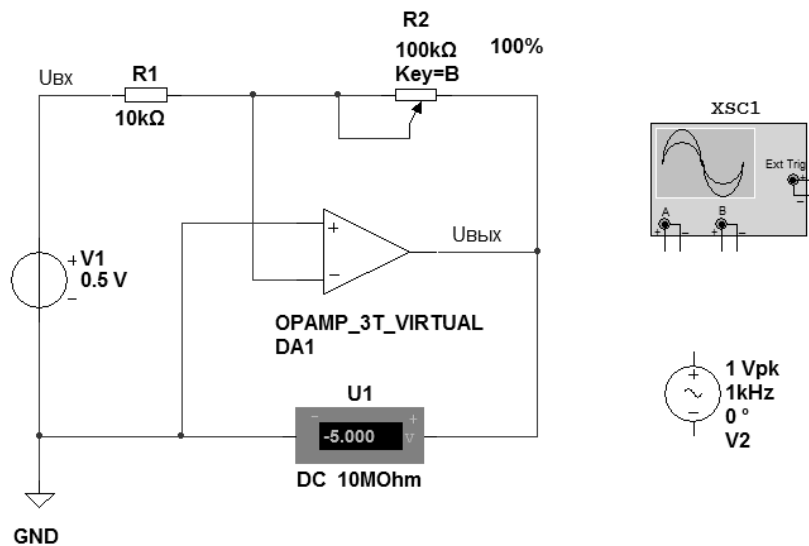


Рисунок 1.1 – Усилитель с инвертирующим входом на ОУ

Коэффициент усиления по напряжению усилителя с инвертирующим входом

$$K_{YH} = -\frac{U_{BЫX}}{U_{BX}} = -\frac{R_2}{R_1}. \quad (1.1)$$

Знак «минус» показывает, что знак $U_{BЫX}$ по отношению к U_{BX} меняется на противоположный. Схема включения ОУ с неинвертирующим входом изображена на рисунке 1.2. Коэффициент усиления по напряжению усилителя с неинвертирующим входом

$$K_{YH} = \frac{U_{BЫX}}{U_{BX}} = \frac{K_{YH}}{R_1} = \frac{(R_1 + R_2)}{R_1}. \quad (1.2)$$

На ОУ может быть создан сумматор напряжений, как постоянных, так и переменных (рисунок 1.3).

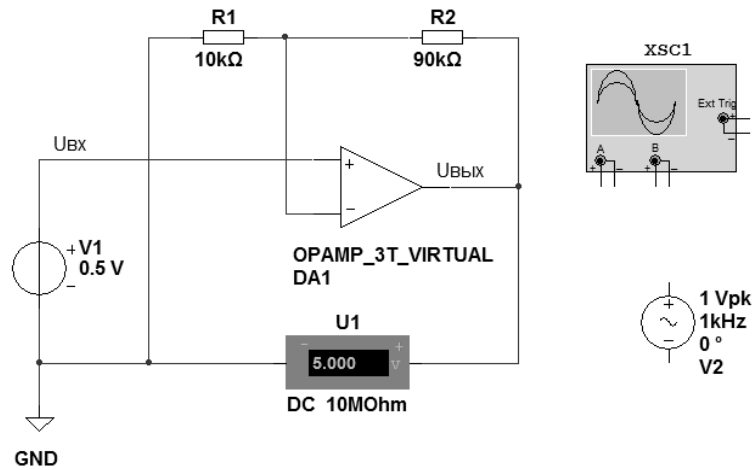


Рисунок 1.2 – Усилитель с неинвертирующим входом на ОУ

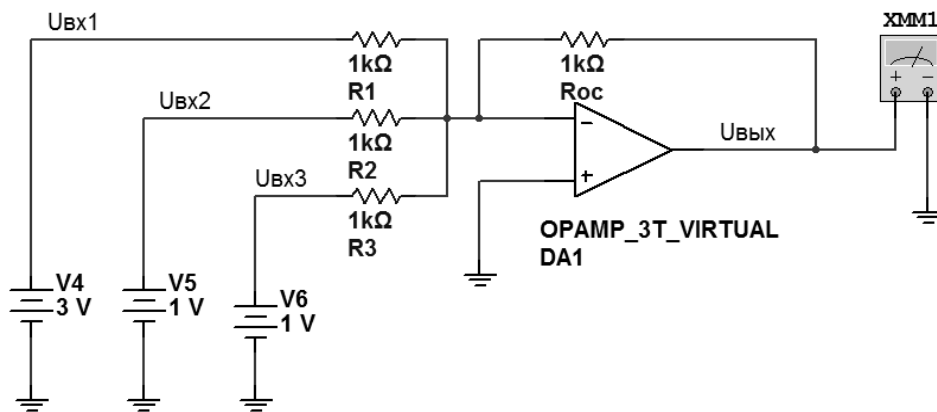


Рисунок 1.3 – Схема инвертирующего сумматора на ОУ

Выходное напряжение сумматора

$$U_{\text{ВЫХ}} = -R_{\text{OC}} \left(\frac{U_{\text{ВХ1}}}{R_1} + \frac{U_{\text{ВХ2}}}{R_2} + \frac{U_{\text{ВХ3}}}{R_3} \right). \quad (1.3)$$

Или

$$U_{\text{ВЫХ}} = Ky_1 \cdot U_{\text{ВХ1}} + Ky_2 \cdot U_{\text{ВХ2}} + Ky_3 \cdot U_{\text{ВХ3}}, \quad (1.4)$$

где $Ky_1 = -\frac{R_{\text{OC}}}{R_1}$; $Ky_2 = -\frac{R_{\text{OC}}}{R_2}$; $Ky_3 = -\frac{R_{\text{OC}}}{R_3}$.

1.2 Порядок выполнения работы

1.2.1 Составьте схему в среде Multisim инвертирующего усилителя в соответствии с рисунком 1.1. Выходное напряжение усилителя $U_{\text{ВЫХ}}$ регистрируется вольтметром U1. По его показаниям и известному значению $U_{\text{ВХ}}$ определите $K_{\text{УИ}}$ по формуле (1.1) при R_2 , равном 100, 50 и 20 кОм. Рассчитайте

$K_{УИ}$ по формуле (1.1) через сопротивления $R1$ и $R2$. Результаты исследований запишите в отчет в виде таблицы 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты исследований инвертирующего усилителя на ОУ

Параметры	$R1$, кОм	$R2$, кОм	$U_{ВХ}$, В	$U_{ВЫХ}$, В	$K_{УИ} = R2/R1$	$K_{УИ} = U_{ВЫХ}/U_{ВХ}$

Замените источник $V1$ (см. рисунок 1.1) на $V2$. Канал А осциллографа XSC1 подключите к выходу $V2$, канал В – к выходу ОУ DA1.

По временным диаграммам напряжений $U_{ВХ}$ и $U_{ВЫХ}$, полученным с помощью осциллографа для $R2$, равного 80 и 40 кОм, определите $K_{УИ}$. Рассчитайте $K_{УИ}$ через сопротивления $R1$ и $R2$. Сопоставьте полученные результаты. Почему синусоиды на экране осциллографа формируются в противофазе?

1.2.2 Составьте схему в среде Multisim неинвертирующего усилителя в соответствии с рисунком 1.2. Выходное напряжение усилителя $U_{ВЫХ}$ регистрируется вольтметром $U1$. По его показаниям и известному значению $U_{ВХ}$ определите $K_{УИ}$ по формуле (1.2) при $R2$, равном 90, 40 и 10 кОм. Рассчитайте $K_{УИ}$ по формуле (1.2) через сопротивления $R1$ и $R2$. Результаты исследований запишите в отчет в виде таблицы 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты исследований неинвертирующего усилителя на ОУ

Параметры	$R1$, кОм	$R2$, кОм	$U_{ВХ}$, В	$U_{ВЫХ}$, В	$K_{УИ} = (1 + R2/R1)$	$K_{УИ} = U_{ВЫХ}/U_{ВХ}$

Замените источник $V1$ (см. рисунок 1.2) на $V2$. Канал А осциллографа XSC1 подключите к выходу $V2$, канал В – к выходу ОУ DA1. По временным диаграммам напряжений $U_{ВХ}$ и $U_{ВЫХ}$, полученным с помощью осциллографа для $R2$, равного 70 и 20 кОм, определите $K_{УИ}$. Рассчитайте $K_{УИ}$ через сопротивления $R1$ и $R2$. Сопоставьте полученные результаты. Почему синусоиды на экране осциллографа формируются синфазно?

1.2.3 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 1.3. Рассчитайте $U_{ВЫХ}$ по формуле (1.3), подставив в неё параметры, указанные на рисунке 1.3.

Включите моделирование. Измерьте выходное напряжение сумматора $U_{ВЫХ}$ вольтметром ХММ1. Сравните его показания с расчетными.

Сделайте замену $R_{ос}$ на 3 кОм. Повторите расчет $U_{ВЫХ}$ и моделирование. Почему изменились результаты расчета и эксперимента?

1.2.4 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 1.4.

Рассчитайте $U_{ВЫХ}$ по формуле (1.3), подставив в неё параметры, указанные на рисунке 1.4.

Включите моделирование. Через канал А осциллографом XSC1 регистрируется сигнал $U_{ВХ1}$ (сигналы $U_{ВХ2}$ и $U_{ВХ3}$ по параметрам такие же, как и $U_{ВХ1}$). Через канал В – сигнал $U_{ВЫХ}$. Почему сигналы $U_{ВХ1}$ и $U_{ВЫХ}$ на экране

осциллографа находятся в противофазе?

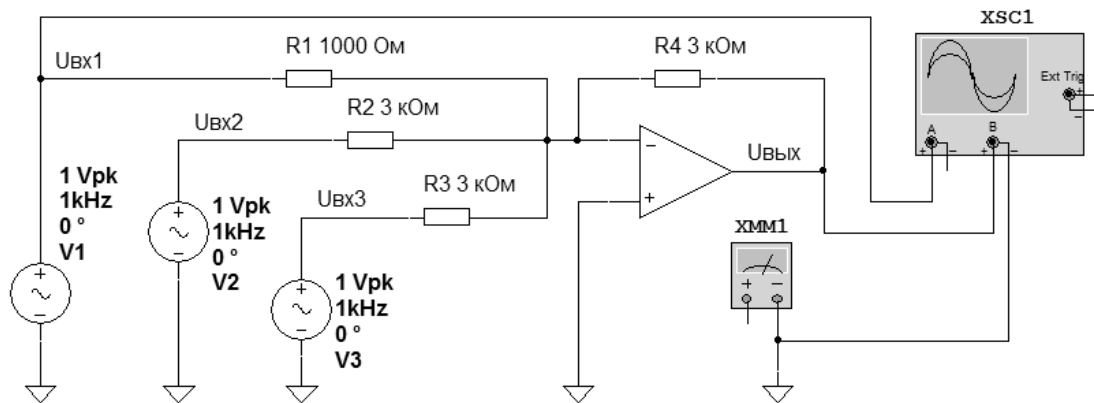


Рисунок 1.4 – Схема для исследования инвертирующего сумматора переменных напряжений на ОУ в Multisim

Определите с помощью осциллографа амплитуду $U_{ВЫХ}$ и сравните полученное значение с расчетным.

Измерьте выходное напряжение сумматора $U_{ВЫХ}$ вольтметром ХММ1. Сравните его показания с расчетным. Почему они отличаются?

Сделайте замену $R1$ на 3 кОм. Повторите расчет $U_{ВЫХ}$ и моделирование. Почему изменились результаты расчета и эксперимента?

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать: название работы; цель работы; исследованные схемы на ОУ; временные диаграммы сигналов; расчетные формулы; результаты расчетов и экспериментов; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Параметры каких элементов влияют на коэффициент усиления усилителя на ОУ?

2 Чем отличаются инвертирующий и неинвертирующий усилители на ОУ?

3 Параметры каких элементов влияют на коэффициенты усиления входов сумматора на ОУ?

4 Каким образом можно изменить коэффициент усиления сумматора на ОУ по каждому входу?

5 Как можно получить сумму входных сигналов без усиления?

2 Лабораторная работа № 2. Исследование работы генератора гармонических колебаний и мультивибратора

Цель работы: изучение принципа функционирования, методик расчета, характеристик и параметров генераторов гармонических колебаний и мультивибраторов.

2.1 Основные теоретические положения

Генератором электрических колебаний называется устройство, преобразующее энергию источника постоянного тока в энергию переменного тока требуемой формы. В зависимости от формы выходного напряжения различают генераторы гармонических колебаний и генераторы негармонических колебаний (импульсные или релаксационные генераторы).

Независимо от формы выходного напряжения любой генератор может работать в одном из двух режимов: режиме автоколебаний или режиме запуска внешними импульсами. Генератор, работающий в режиме автоколебаний, обычно называют *автогенератором*. Генератор, вырабатывающий в режиме автоколебаний последовательность прямоугольных импульсов, называют *мультивибратором*. Выходное переменное напряжение формируется на выходе автогенератора сразу после подключения напряжения питания и не требует для начала работы подачи внешнего управляющего воздействия.

Синусоидальные колебания можно получить с помощью генератора на операционном усилителе с мостом Вина (рисунок 2.1).

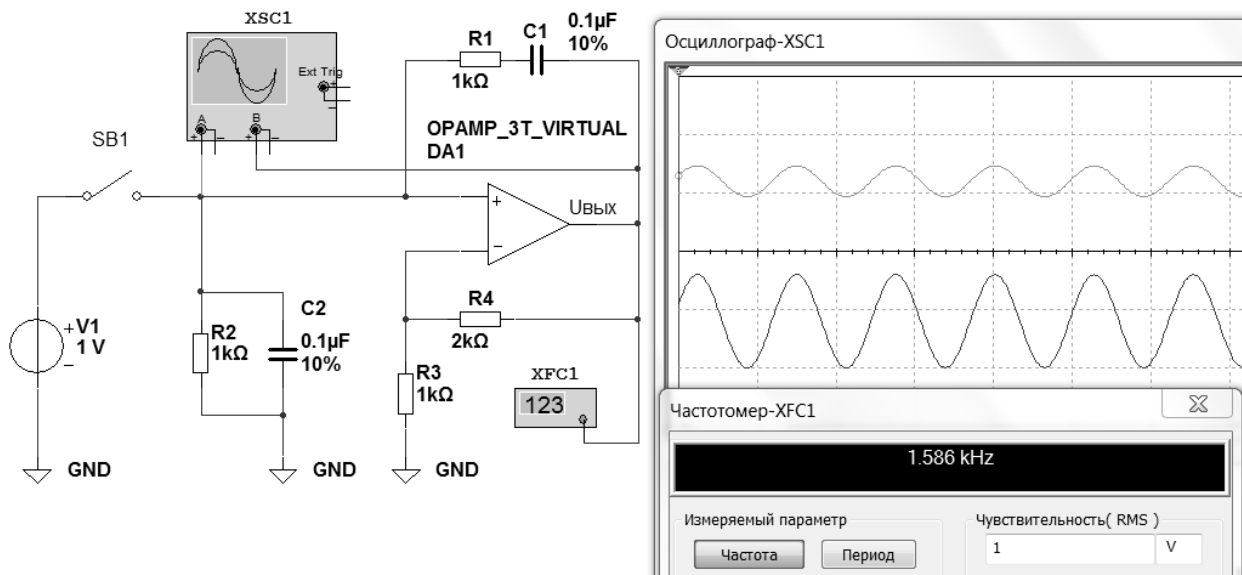


Рисунок 2.1 – Схема в Multisim для исследования генератора на ОУ с мостом Вина в обратной связи

Электрическую цепь, состоящую из элементов R_1 , R_2 , C_1 , C_2 , называют мостом Вина. Для практического использования схемы удобно принять $R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$. Тогда

$$F = 1/2\pi RC. \quad (2.1)$$

Для поддержания синусоидальных колебаний с малыми отклонениями от синусоиды в этом генераторе необходимо, после установления колебаний с желаемой амплитудой, строго поддерживать коэффициент усиления K_u ОУ точно равным 3. В рассматриваемой схеме K_u неинвертирующего усилителя на ОУ

$$K_u = 1 + R4/R3. \quad (2.2)$$

При изменении параметров моста Вина генератор может генерировать напряжение в широком перестраиваемом диапазоне частот и генерирует синусоидальное напряжение с малыми отличиями от идеального синусоидального сигнала.

Генераторы сигналов прямоугольной формы (мультивибраторы) могут быть созданы с использованием специальных микросхем, например, микросхемы LMS555CH (K1006ВИ1) (рисунок 2.2).

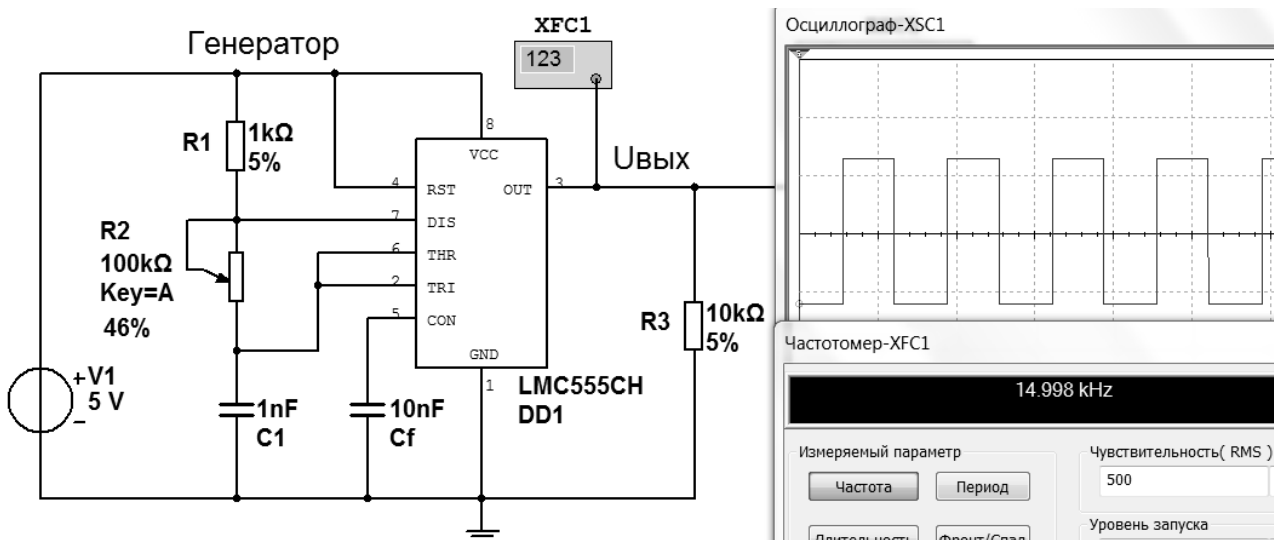


Рисунок 2.2 – Схема в Multisim мультивибратора на микросхеме LMS555CH (K1006ВИ1)

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

$$F_r = \frac{0,7}{(2 \cdot R1 + R2) \cdot C1} \quad (2.3)$$

2.2 Порядок выполнения работы

2.2.1 По параметрам элементов R1, R2, C1 и C2, указанных на рисунке 2.1, рассчитайте по формуле (2.1) частоту выходного сигнала. Сравните полученный результат с показаниями частотомера XFC1.

2.2.2 Для подтверждения правильности расчётов выполните моделирование работы генератора в программе Multisim, собрав схему, приведенную на рисунке 2.1.

2.2.3 На основании заданного преподавателем значения частоты F необходимо рассчитать сопротивление R и емкость C генератора с мостом Вина и записать в таблицу 2.1.

2.2.4 Для подтверждения правильности расчётов выполните моделирование работы генератора в программе Multisim, установив в схеме, приведенной на рисунке 2.1, номиналы элементов согласно таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные и результаты расчета

Заданный параметр	Расчетный параметр			
	R3, кОм	R4, кОм	R, кОм	C, мкФ
F , Гц				

2.2.5 По параметрам элементов R1, R2, C1, указанных на рисунке 2.2, рассчитайте по формуле (2.3) частоту выходного сигнала. Сравните полученный результат с показаниями частотомера XFC1.

2.2.6 Составьте схему, приведенную на рисунке 2.2, в Multisim и исследуйте её работу, подключив к ней показанные на схеме приборы. Частоту сигнала определите по показаниям частотомера XFC1. Форму выходного сигнала генератора наблюдайте с помощью осциллографа XSC1. Изменяя сопротивление резистора R2, определите диапазон изменения частоты выходного сигнала.

2.2.7 На основании заданного преподавателем значения частоты F_T необходимо рассчитать сопротивления R1, R2 и емкость C1 генератора, используя формулу (2.3), и записать в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Исходные данные и результаты расчета

Заданный параметр	Расчетный параметр		
	R1, кОм	R2, кОм	C1, мкФ
F_T , Гц			

2.2.8 Для подтверждения правильности расчётов выполните моделирование работы генератора в программе Multisim, установив в схеме, приведенной на рисунке 2.2, номиналы элементов согласно таблице 2.2.

Содержание отчета

Отчёт о проделанной работе должен содержать: цель работы; схемы для моделирования работы генераторов в среде Multisim; осциллограммы выходных напряжений; выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Опишите принцип работы генератора гармонических колебаний на основе операционного усилителя с мостом Вина.

2 Приведите порядок расчёта, основные параметры и характеристики генератора гармонических колебаний.

3 Приведите порядок расчёта, основные параметры и характеристики мультивибратора.

4 Приведите порядок исследования мультивибратора в программе Multisim.

3 Лабораторная работа № 3. Исследование работы логических элементов и триггеров

Цель работы: исследование работы схем логических элементов, RS-, D- и JK-триггеров.

3.1 Логические элементы. Основные теоретические положения

Логические элементы предназначены для выполнения логических операций: логическое сложение ИЛИ (дизъюнкция), логическое умножение И (конъюнкция), логическое отрицание НЕ (инверсия) (таблица 3.1). Приведенные в таблице 3.1 логические элементы являются базовыми, в таблице 3.2 – комбинированными.

Для описания логических операций используется алгебра логики. Она широко применяется в теории цифровой техники, в которой используются устройства, имеющие два устойчивых состояния. При этом одно из состояний, соответствующее, например, высокому уровню напряжения, обозначается единицей (1), а соответствующее низкому уровню напряжения – нулем (0). Уровень выходного напряжения логического элемента зависит от уровня входных напряжений. Для наглядности выполнение логических операций описывают с помощью таблиц истинности для каждого логического элемента.

Следует отметить, что выполнение логических функций И, И-НЕ ИЛИ, ИЛИ-НЕ подразумевает количество входных сигналов не менее двух, но их может быть и больше (например, 3, 4, 8).

К разновидностям логических микросхем, используемых на практике, относятся ТТЛ (TTL, транзисторно-транзисторная логика) и КМОП (CMOS, комплементарная металл – окисел – полупроводник).

Таблица 3.1 – Формы описания базовых логических функций

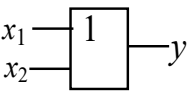
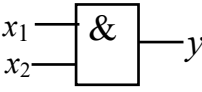
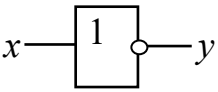

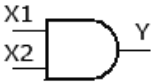
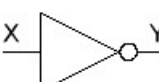
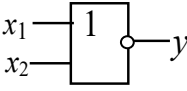
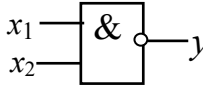
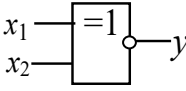
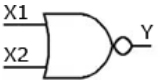
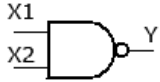
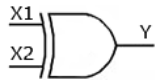
Функция	Дизъюнкция	Конъюнкция	Инверсия																																				
Текстовая	ИЛИ (OR)	И (AND)	НЕ (NOT)																																				
Условная графическая (на зарубежных схемах)																																							
																																							
Аналитическая	$y = x_1 + x_2$	$y = x_1 \cdot x_2$	$y = \bar{x}$																																				
Табличная (истинности)	<table border="1" data-bbox="427 660 683 855"> <tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	x_1	x_2	y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1" data-bbox="758 660 1013 855"> <tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	x_1	x_2	y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1" data-bbox="1109 660 1348 795"> <tr><td>x</td><td>y</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	x	y	0	1	1	0
	x_1	x_2	y																																				
0	0	0																																					
0	1	1																																					
1	0	1																																					
1	1	1																																					
x_1	x_2	y																																					
0	0	0																																					
0	1	0																																					
1	0	0																																					
1	1	1																																					
x	y																																						
0	1																																						
1	0																																						

Таблица 3.2 – Формы описания комбинированных логических функций

Функция	Функция Пирса	Функция Шеффера	Сложение по модулю 2																																													
Текстовая	ИЛИ-НЕ (NOR)	И-НЕ (NAND)	ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ (XOR)																																													
Условная графическая (на зарубежных схемах)																																																
																																																
Аналитическая	$y = \overline{x_1 + x_2}$	$y = \overline{x_1 \cdot x_2}$	$y = x_1 \oplus x_2$																																													
Табличная (истинности)	<table border="1" data-bbox="427 1451 683 1646"> <tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	x_1	x_2	y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	<table border="1" data-bbox="758 1451 1013 1646"> <tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	x_1	x_2	y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1" data-bbox="1109 1451 1348 1646"> <tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	x_1	x_2	y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
	x_1	x_2	y																																													
0	0	1																																														
0	1	0																																														
1	0	0																																														
1	1	0																																														
x_1	x_2	y																																														
0	0	1																																														
0	1	1																																														
1	0	1																																														
1	1	0																																														
x_1	x_2	y																																														
0	0	0																																														
0	1	1																																														
1	0	1																																														
1	1	0																																														

Достоинство КМОП-логики – малое потребление тока от источника питания, недостаток – низкое быстродействие. В ТТЛ используются биполярные транзисторы, а в КМОП – полевые комплементарные транзисторы с изолированным затвором.

Серии ТТЛ микросхем: К155 (74), К555 (74LS), К1531 (74F), К1533 (74LS).

Серии микросхем КМОП: К561 (CD4000В), К564, К1561 (CD4000В), К1564 (54НС).

3.2 Исследование работы логических элементов

3.2.1 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.1. Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1 и J2, наблюдайте за состоянием индикаторов X1, X2, X3. При напряжении +5 В (высокий уровень) индикатор светится, при напряжении 0 В (низкий уровень) – гаснет. Поочередно подавайте на входы исследуемого ЛЭ комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.1, и наблюдайте за сигналом на его выходе. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

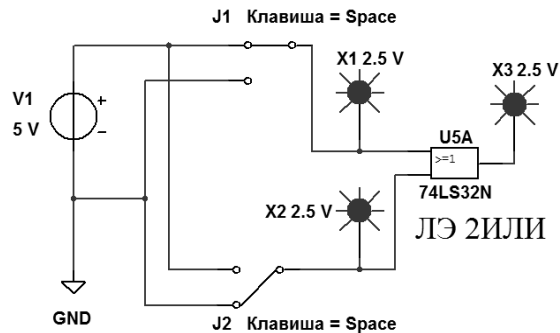


Рисунок 3.1 – Схема в Multisim для исследования логического элемента 2ИЛИ

3.2.2 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.2. Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1 и J2, наблюдайте за состоянием индикаторов X1, X2, X3. Поочередно подавайте на входы исследуемого ЛЭ комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.1, и наблюдайте за сигналом на его выходе. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

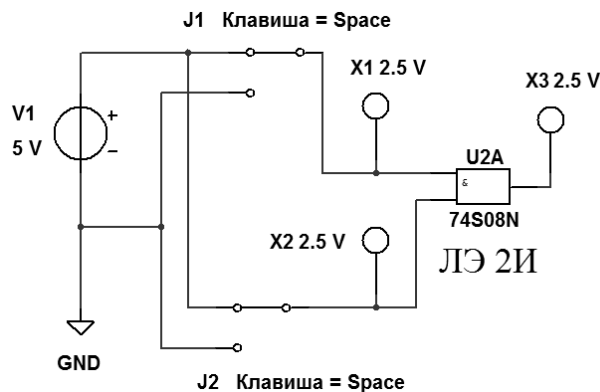


Рисунок 3.2 – Схема в Multisim для исследования логического элемента 2И

3.2.3 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.3. Включите моделирование. Изменяя положение клавиши J1, наблюдайте за состоянием индикаторов X1 и X2. Поочередно подавайте на входы исследуемого ЛЭ сигналы в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в

таблице 3.1, и наблюдайте за сигналом на его выходе. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

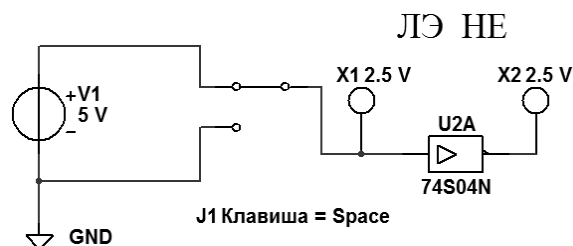


Рисунок 3.3 – Схема в Multisim для исследования логического элемента НЕ

3.2.4 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.4. Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1 и J2, наблюдайте за состоянием индикаторов X1, X2, X3. Поочередно подавайте на входы исследуемого ЛЭ комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.2, и наблюдайте за сигналом на его выходе. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

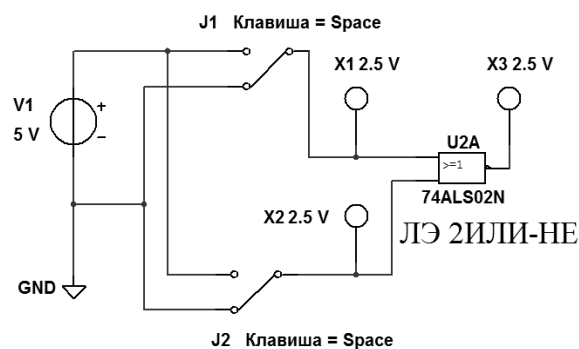


Рисунок 3.4 – Схема в Multisim для исследования логического элемента 2ИЛИ-НЕ

3.2.5 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.5. Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1 и J2, наблюдайте за состоянием индикаторов X1, X2, X3. Поочередно подавайте на входы исследуемого ЛЭ комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.2, и наблюдайте за сигналом на его выходе. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

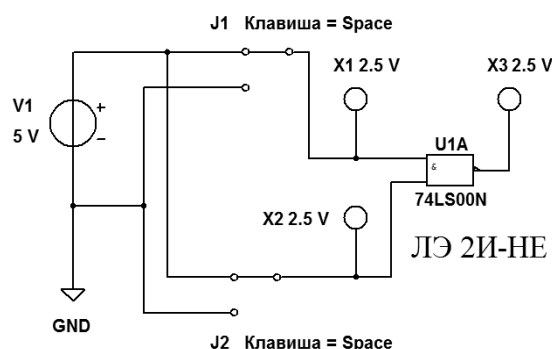


Рисунок 3.5 – Схема в Multisim для исследования логического элемента 2И-НЕ

3.2.6 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.6. Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1 и J2, наблюдайте за состоянием индикаторов X1, X2, X3. Поочередно подавайте на входы исследуемого ЛЭ комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.2, и наблюдайте за сигналом на его выходе. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

3.2.7 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.7. Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1 и J2, наблюдайте за состоянием индикаторов X1, X2, X3, X4. Поочередно подавайте на входы исследуемого ЛЭ комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.1, и наблюдайте за сигналом на его выходе. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

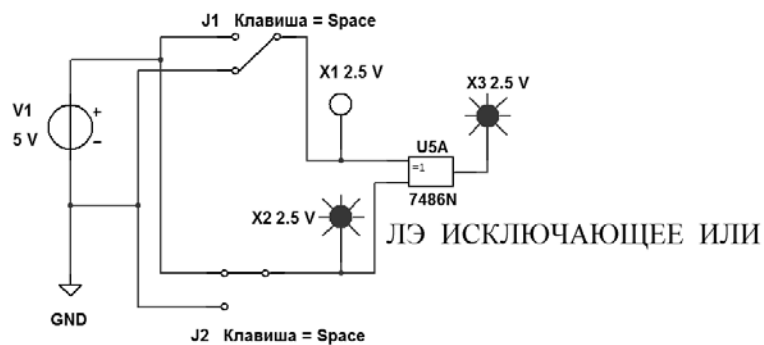


Рисунок 3.6 – Схема в Multisim для исследования ЛЭ ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

ЛЭ НЕ на основе ЛЭ 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ

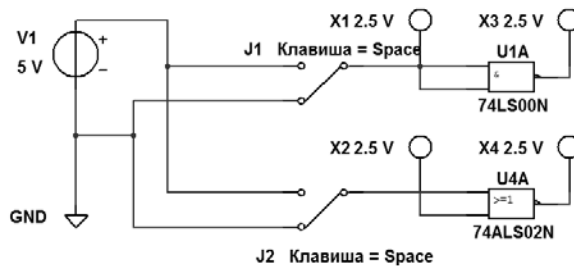


Рисунок 3.7 – Схема в Multisim для исследования ЛЭ И-НЕ, ИЛИ-НЕ, преобразованных в ЛЭ НЕ

3.3 RS-, D- и JK-триггеры. Основные теоретические положения

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 одного 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 триггерах запись информации происходит по срезу синхроимпульса.

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 3.8) или 2ИЛИ-НЕ (рисунок 3.9).

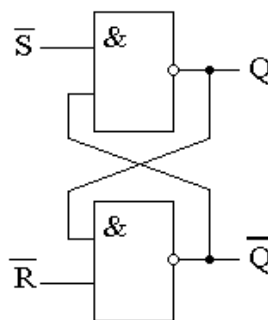


Рисунок 3.8 – Асинхронный RS-триггер на логических элементах 2И-НЕ

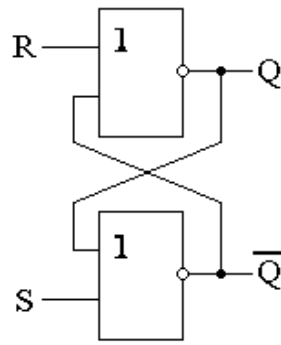


Рисунок 3.9 – Асинхронный RS-триггер на логических элементах 2ИЛИ-НЕ

На рисунке 3.10 приведена схема синхронного RS-триггера на логических элементах 2И-НЕ. Аналогичную схему имеет синхронный RS-триггер на логических элементах 2ИЛИ-НЕ.

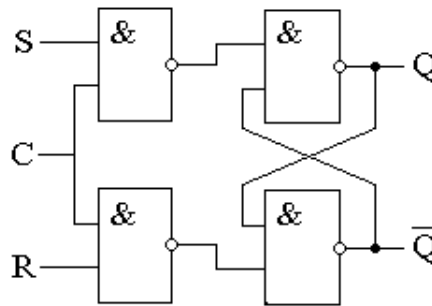


Рисунок 3.10 – Синхронный RS-триггер на логических элементах 2И-НЕ

Схема D-триггера приведена на рисунке 3.11.

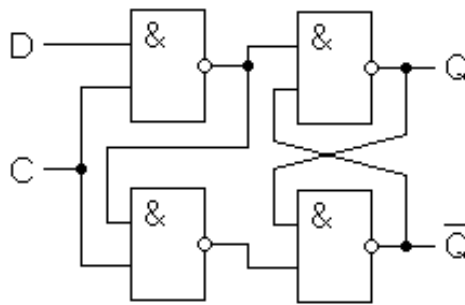


Рисунок 3.11 – D-триггер на логических элементах 2И-НЕ

На рисунке 3.12 приведена схема JK-триггера на логических элементах И-НЕ. На этом рисунке показаны уровни сигналов на входах JK-триггера, при которых в него записывается «1». JK-триггеры, в случае $J=K=1$, инвертируют хранимую в них информацию (переключаются в противоположное состояние). Но при этом работают нестабильно, входят в режим генерации, если синхриимпульс по продолжительности больше времени срабатывания триггера. По этой причине обычно используются двухступенчатые JK-триггеры.

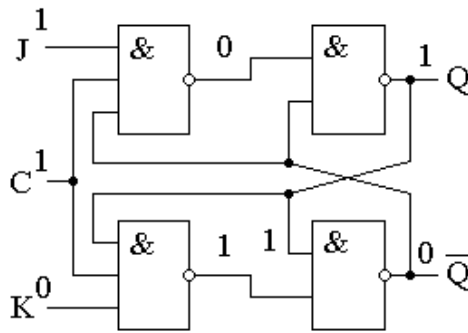


Рисунок 3.12 – JK-триггер на логических элементах И-НЕ

На рисунке 3.13 приведена схема двухступенчатого RS-триггера. Он состоит из двух одинаковых синхронных RS-триггеров, причем импульс синхронизации на вход второго триггера подается через инвертор (логический элемент НЕ).

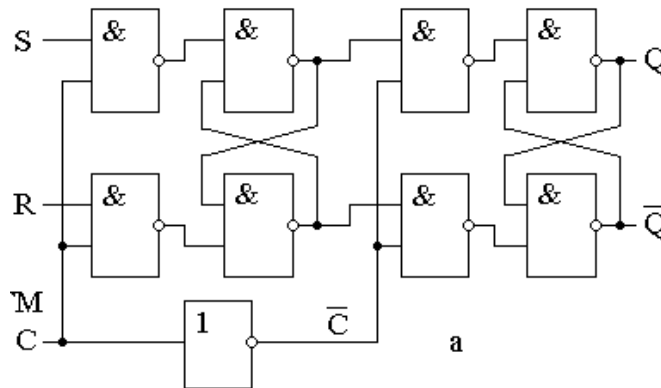


Рисунок 3.13 – Двухступенчатый RS-триггер

По фронту сигнала на входе C происходит запись в первый RS-триггер. Второй RS-триггер до окончания импульса синхронизации находится в режиме хранения, а по срезу синхросигнала принимает и записывает информацию от первого RS-триггера. Схемы двухступенчатых D- и JK-триггеров строятся аналогично.

3.4 Исследование RS-, D- и JK-триггеров

3.4.1 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.14. Включите моделирование. С помощью клавиш J1 и J2 поочередно подавайте на входы исследуемого асинхронного RS-триггера комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.3, и наблюдайте за сигналами на его выходах с помощью индикаторов X3 и X4 и осциллографа XCS1. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

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

3.4.2 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.15.

Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1, J2 и J3, пооче-

редно подавайте на входы исследуемого синхронного RS-триггера комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.4, и наблюдайте за сигналами на его выходах с помощью индикаторов X1 и X2 и осциллографа XCS1. В ячейках таблицы X означает любой сигнал: либо «0», либо «1». Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

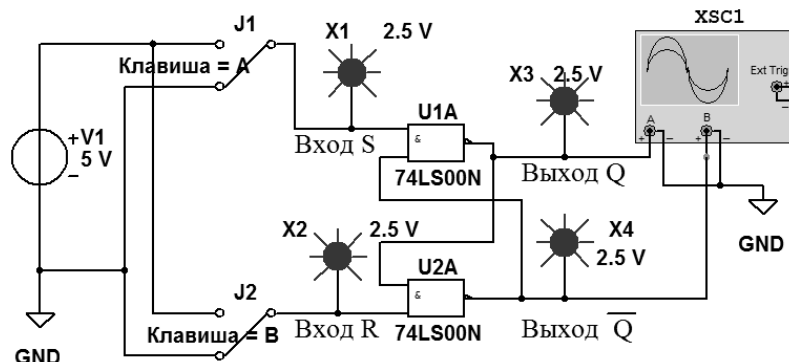


Рисунок 3.14 – Схема в Multisim для исследования асинхронного RS-триггера на логических элементах 2И-НЕ

Таблица 3.3 – 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

Таблица 3.4 – 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

3.4.3 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.16.

Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1 и J2, поочередно подавайте на входы исследуемого D-триггера комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.5, и наблюдайте за сигналами на его выходах с помощью индикаторов X1 и X2 и осциллографа XCS1. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

3.4.4 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.17.

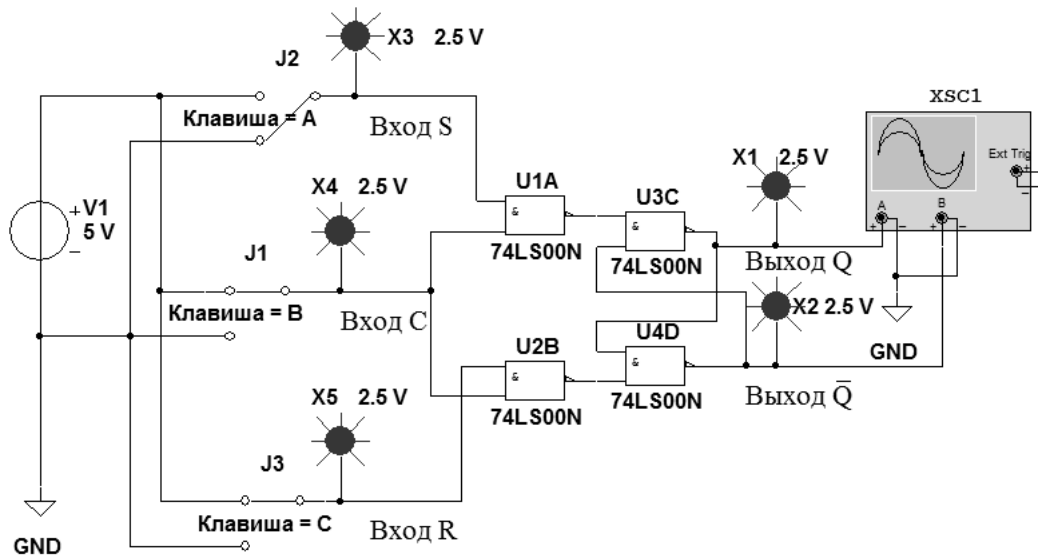


Рисунок 3.15 – Схема в Multisim для исследования синхронного RS-триггера на логических элементах 2И-НЕ

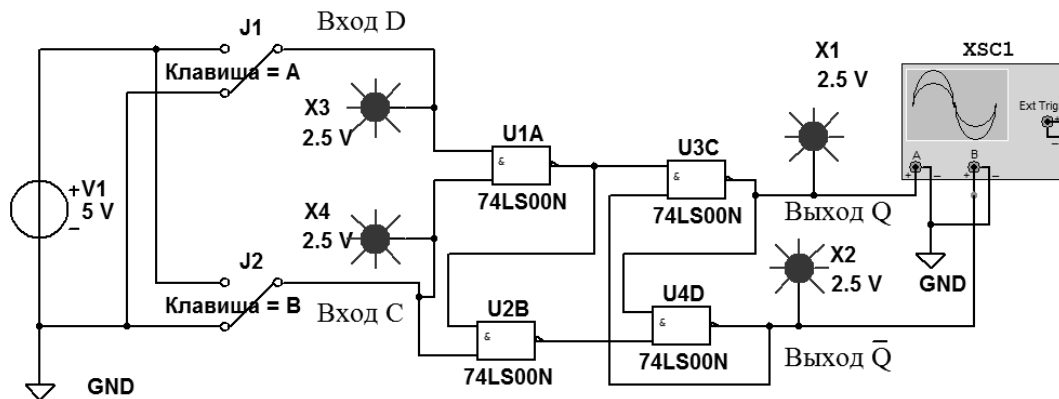


Рисунок 3.16 – Схема в Multisim для исследования D-триггера на логических элементах 2И-НЕ

Таблица 3.5 – 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»

3.4.5 Создайте на основе полученной схемы двухступенчатый D-триггер в виде иерархического блока, как показано на рисунке 3.18. Для этого в меню выберите команду «Вставить», а в открывшемся окне – команду «Новый иерархический блок». Далее, выбрав снова команду «Вставить», а в открывшемся окне – команду «Текст», оформите обозначения входов IO1, IO2, IO3 и выхода IO4 в виде букв D, C, R и Q.

3.4.6 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.19.

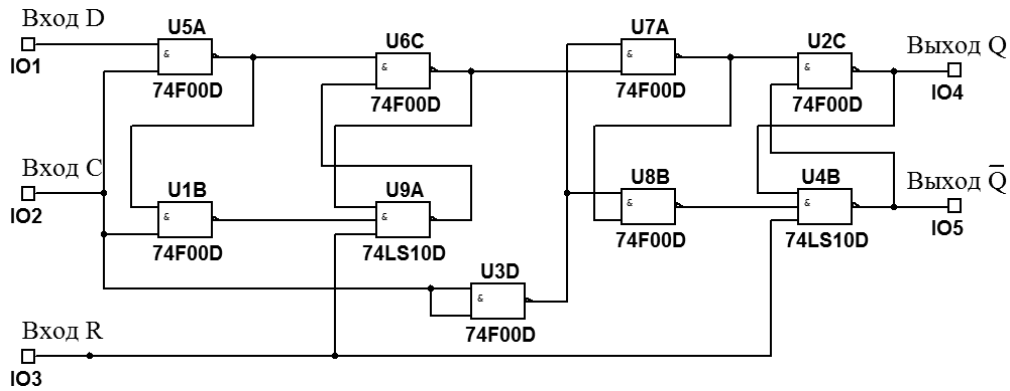


Рисунок 3.17 – Схема в Multisim двухступенчатого D-триггера на логических элементах И-НЕ с дополнительным входом R для асинхронного сброса триггера

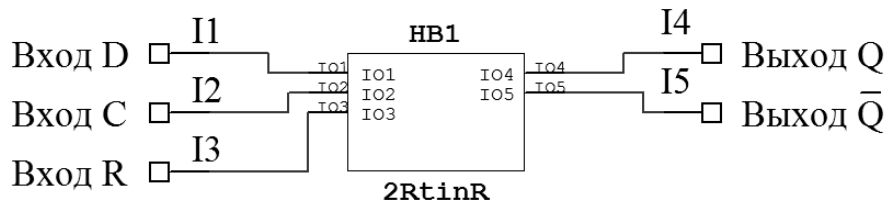


Рисунок 3.18 – Преобразование в Multisim двухступенчатого D-триггера, представленного на рисунке 3.17, в иерархический блок (модуль)

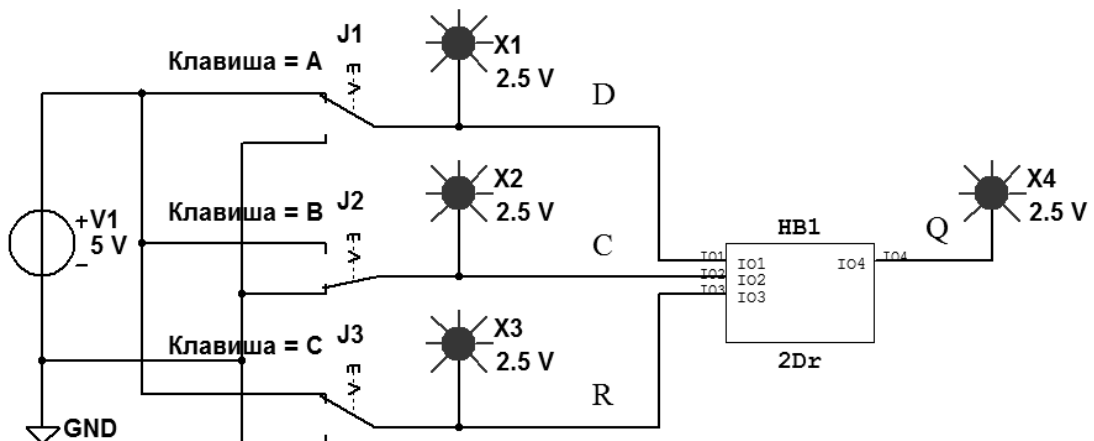


Рисунок 3.19 – Схема в Multisim для исследования двухступенчатого D-триггера, представленного иерархическим блоком

3.4.7 Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1, J2 и J3, поочередно подавайте на входы исследуемого двухступенчатого D-триггера комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.6, и наблюдайте за сигналом на его прямом выходе. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

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

3.4.8 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.20.

Включите моделирование. Изменяя положение клавиш J1, J2 и J3, пооче-

редно подавайте на входы исследуемого триггера комбинации сигналов в соответствии с его таблицей истинности, приведенной в таблице 3.7, и наблюдайте за сигналами на его выходах с помощью индикаторов X4 и X5. Запишите в отчет получившуюся таблицу истинности.

Таблица 3.6 – 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»

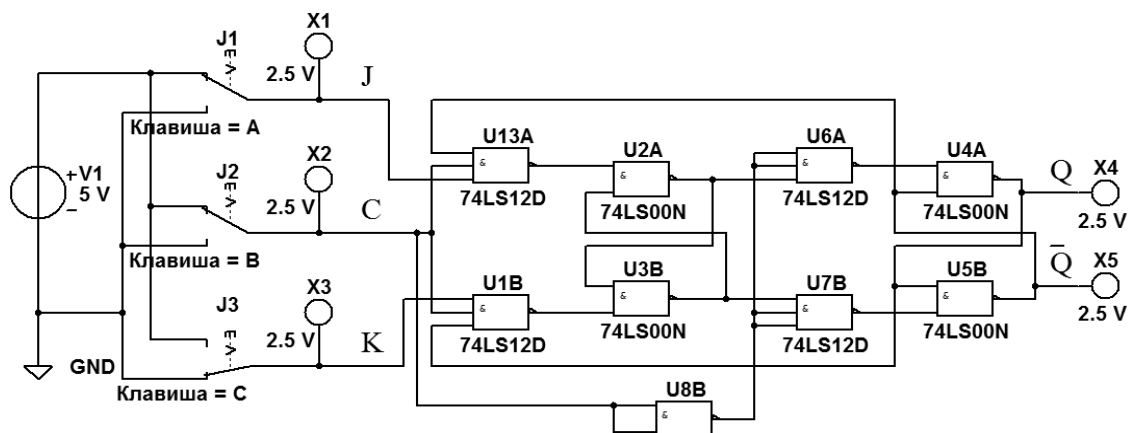


Рисунок 3.20 – Схема в Multisim двухступенчатого JK-триггера на логических элементах И-НЕ

Таблица 3.7 – 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

3.4.9 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 3.21.

Включите моделирование. С помощью осциллографа XCS1 получите временные диаграммы сигналов на входе T JK-триггера и на его прямом выходе Q. Зарисуйте их в отчете. Определите с помощью осциллографа XCS1 периоды следования входных и выходных импульсов $T_{ВХ}$ и $T_{ВЫХ}$. Рассчитайте

частоту следования входных и выходных импульсов: $F_{ВХ} = \frac{1}{T_{ВХ}}$, $F_{ВЫХ} = \frac{1}{T_{ВЫХ}}$

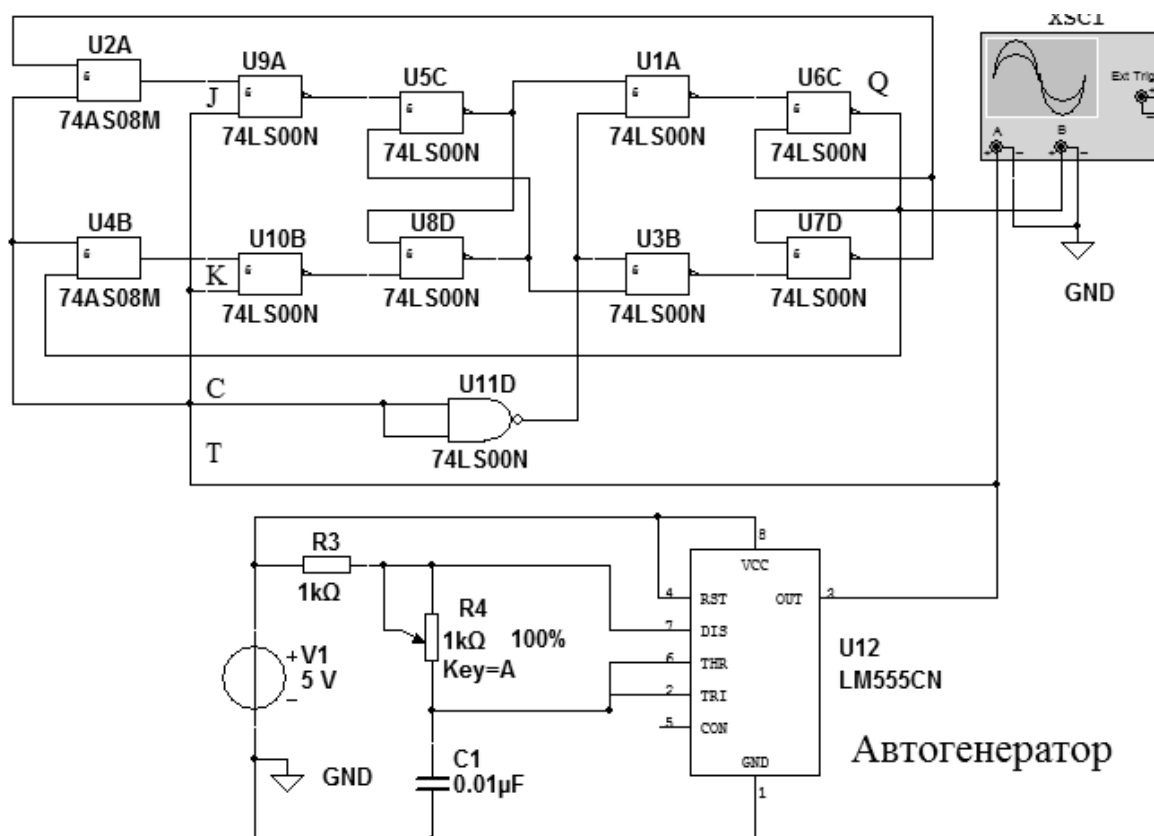


Рисунок 3.21 – Схема в Multisim двухступенчатого JK-триггера, работающего в качестве делителя частоты входных импульсов на два

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать: название работы; цель работы; условные обозначения исследованных ЛЭ и их математические модели и таблицы истинности; схемы исследованных триггеров, их таблицы истинности и временные диаграммы, описывающие их работу; выводы по результатам выполненных исследований.

Контрольные вопросы

- 1 Какие ЛЭ являются базовыми?
- 2 Какие ЛЭ являются комбинированными?
- 3 Какое напряжение обозначают «1»?
- 4 Какое напряжение обозначают «0»?
- 5 Что такое таблица истинности?
- 6 Как работает ЛЭ ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ?
- 7 На основе каких ЛЭ строятся триггеры?
- 8 Какие типы триггеров вы знаете?
- 9 Каково назначение входа синхронизации?
- 10 Какие триггеры называют двухступенчатыми?
- 11 Как обозначаются выходы триггеров?

- 12 На основе каких ЛЭ строятся JK-триггеры?
- 13 Каково назначение входов J, K?
- 14 Каково назначение входа D?
- 15 Какие триггеры называют двухступенчатыми?
- 16 Какие триггеры называют T-триггерами?

4 Лабораторная работа № 4. Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов

Цель работы: исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов.

4.1 Регистры. Основные теоретические положения

Регистр – устройство для записи, хранения и считывания n-разрядных двоичных данных и выполнения других операций над ними. Регистр 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.

4.2. Исследование регистров

4.2.1 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 4.1.

На этом рисунке приведена схема для исследования работы четырехразрядного регистра с параллельной загрузкой и считыванием данных на двухступенчатых D-триггерах.

Включите моделирование. Изменяя положение переключателей в блоке J1, сформируйте данные на входах D3–D0. С помощью клавиши J2 подайте на «Вход С» сигнал разрешения записи данных в регистр. После этого записанное в регистр число должно появиться на прямых выходах D-триггеров. По состоянию индикаторов Q3–Q0 сравните данные на входах и выходах регистра.

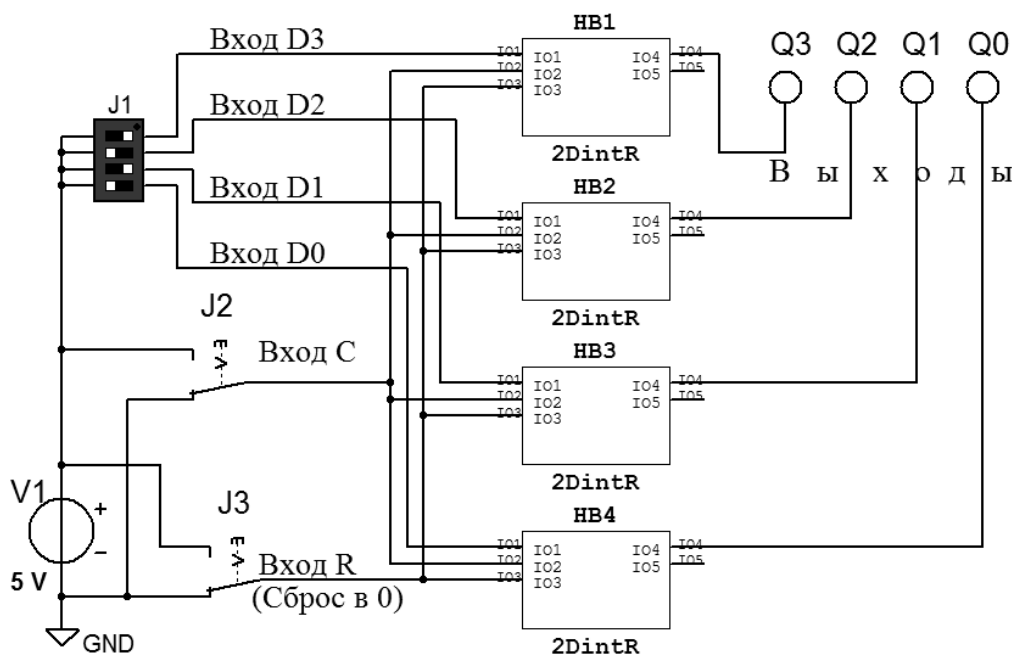


Рисунок 4.1 – Схема в Multisim для исследования работы четырехразрядного регистра на двухступенчатых D-триггерах

С помощью клавиши J3 обнулите триггеры, после чего запишите в регистр новое число. Повторите эти действия несколько раз.

4.2.2 Из электронного справочника запишите в отчет паспортные данные микросхемы 74198 N (K155ИР13), изучите назначение её выводов и режимы работы. Как они задаются?

4.2.3 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 4.2. Включите моделирование. Изменяя положение переключателей в блоке S1, исследуйте работу регистра в режиме параллельной загрузки, сдвига влево, сдвига вправо, хранения.

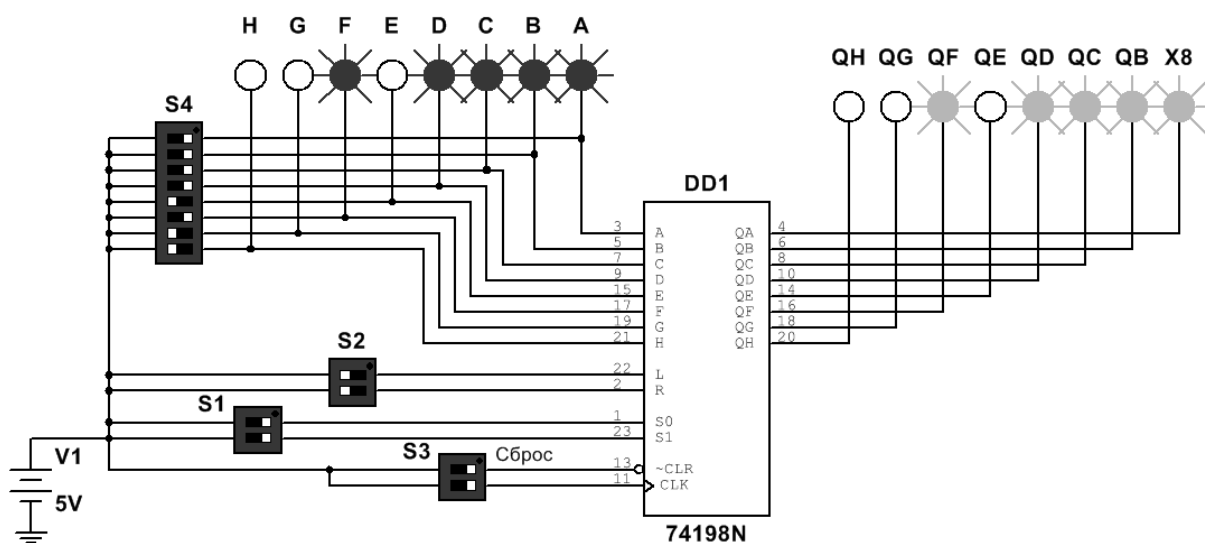


Рисунок 4.2 – Схема в Multisim для исследования работы восьмиразрядного комбинированного регистра 74198N (K155ИР13)

Изменяя положение переключателей в блоке S4, сформируйте данные на входах Н-А регистра DD1. С помощью нижнего переключателя S3 подайте на вход CLR сигнал разрешения записи данных в регистр. После этого записанное в регистр число должно появиться на выходах QH–QA триггеров. По состоянию индикаторов QH–QA сравните данные на входах и выходах регистра.

Данные в режиме сдвига подаются в регистр через входы R и L.

4.3 Счетчики импульсов. Основные теоретические положения

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 $K_{сч}$.

4.4 Исследование работы счетчиков импульсов

4.4.1 Преобразуйте в среде Multisim двухступенчатый D-триггер, показанный на рисунке 4.3, в T-триггер, соединив его инверсный выход с входом D. Вход С автоматически становится счетным входом Т (рисунок 4.4).

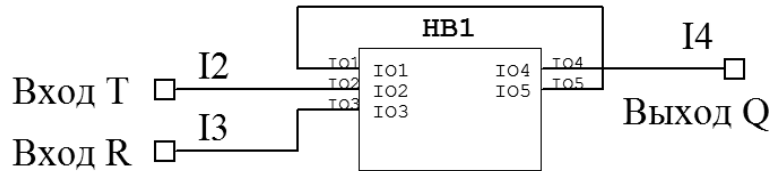


Рисунок 4.3 – Модуль в Multisim T-триггера на основе двухступенчатого D-триггера

4.4.2 Создайте четыре таких модуля, соедините их последовательно, подключив к получившейся цепочке T-триггеров клавиши J1, J2 и индикаторы, переименовав их так, как показано на рисунке 4.4.

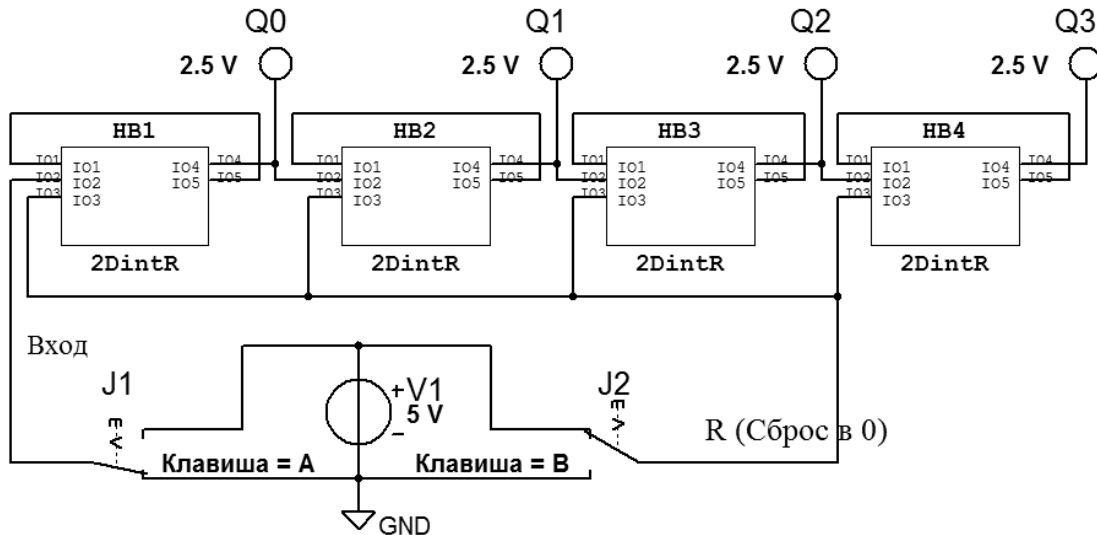


Рисунок 4.4 – Схема в Multisim четырехразрядного двоичного счетчика на основе T-триггеров

4.4.3 Нарисуйте в отчете таблицу в соответствии с приведенной (таблица 4.1), указав в ней все строки с номерами импульсов от 0 до 18.

4.4.4 Включите моделирование. Выполните сброс в 0 всех триггеров, нажав клавишу J2. С помощью 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 4.1. Сделайте перевод полученных двоичных чисел в десятичные и впишите в таблицу.

4.4.5 Из электронного справочника запишите в отчет паспортные данные микросхемы 7490N (K155ИЕ2), изучите назначение выводов этой микросхемы и режимы работы. Как они задаются?

Таблица 4.1 – Таблица соответствия сигналов на выходах Q_i четырехразрядного двоичного счетчика с номером поступившего на его вход импульса

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

4.4.6 Нарисуйте в отчете таблицу в соответствии с приведенной (таблица 4.2), указав в ней все строки с номерами импульсов от 0 до 12.

4.4.7 Загрузите схему (рисунок 4.5) в Multisim (файл прилагается). Включите моделирование. Обнулите счетчик клавишей J2.

Таблица 4.2 – 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					

Генератор одиночного импульса

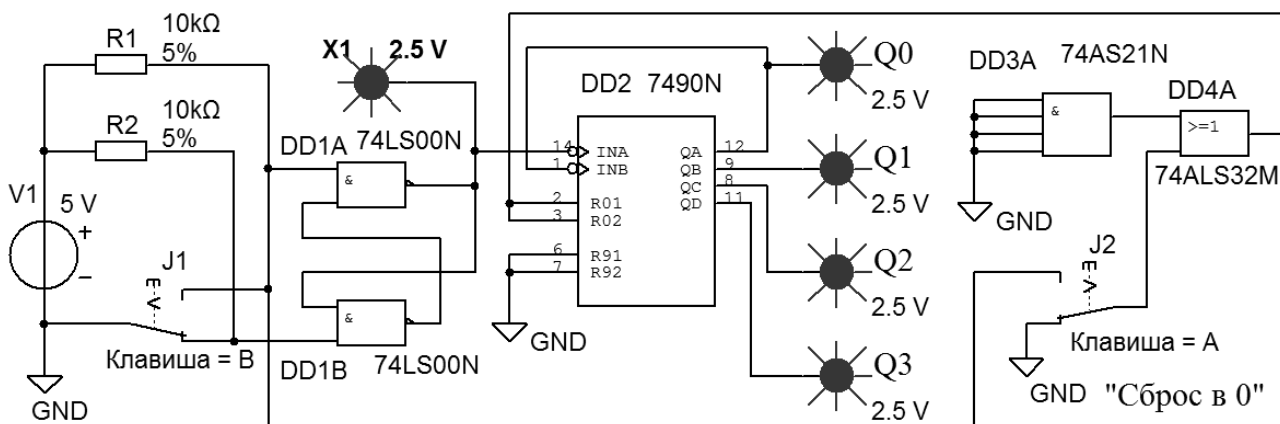


Рисунок 4.5 – Схема для исследования в Multisim работы четырехразрядного двоично-десятичного счетчика на основе микросхемы 7490N (K155ИЕ2)

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–Q3 за сигналами на выходах счетчика. Получившиеся на выходах сигналы (нули и единицы) впишите в таблицу 4.2. Сделайте перевод полученных двоичных чисел в десятичные и впишите в таблицу.

4.4.8 Подключите выходы микросхемы DD2 к входам микросхемы DD3A, как показано на рисунке 4.6. Включите моделирование. Обнулите счетчик клавишей J2. С помощью ГОИ подайте на вход исследуемого счетчика 12 импульсов. После каждого поданного импульса наблюдайте с помощью индикаторов Q0–Q3 за сигналами на выходах счетчика. Получившиеся на выходах сигналы (нули и единицы) впишите в таблицу, аналогичную таблице 4.2. Сделайте перевод полученных двоичных чисел в десятичные и впишите в эту таблицу. Сделайте выводы по полученным результатам.

Генератор одиночного импульса

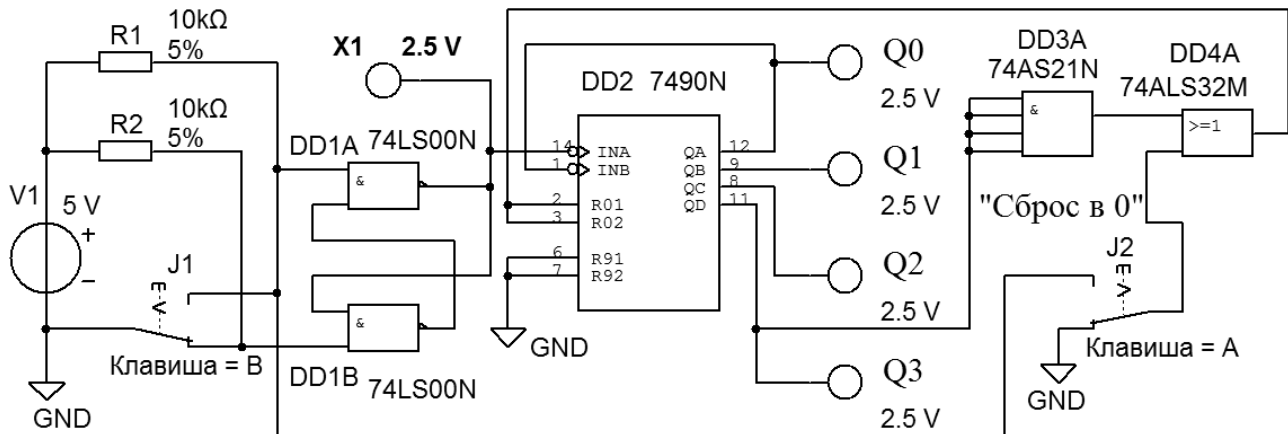


Рисунок 4.6 – Схема для исследования в Multisim работы четырехразрядного двоично-десятичного счетчика на основе микросхемы 7490N (K155ИЕ2) с ограничением $K_{сч}$

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 4.1. Сделайте выводы по полученным результатам.

4.5 Дешифраторы. Основные теоретические положения

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.

Впишите в таблицу 4.3 сигналы, формируемые на выходах Y0–Y7 дешифратора DD1 для каждой комбинации входных сигналов. Состояние выходов контролируйте с помощью индикаторов Y0–Y7.

4.7 Полупроводниковые индикаторы. Основные теоретические положения

Для отображения информации в приборах широко используются цифробуквенные светодиодные семисегментные индикаторы. Электрическая схема одноразрядного цифробуквенного светодиодного семисегментного индикатора с разъединенными катодами АЛС324Б и расположение светодиодных сегментов в нем приведены на рисунке 4.9.

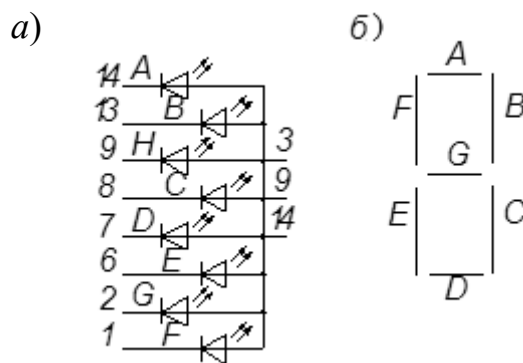


Рисунок 4.9 – Электрическая схема индикатора АЛС324Б с разъединенными катодами (а) и расположение его светодиодных сегментов (б)

На рисунке 4.10 приведена схема в Multisim для исследования работы АЛС324Б (HG1). Набор резисторов R1 обеспечивает индивидуальное ограничение тока через каждый светодиодный сегмент. Включение-выключение каждого сегмента осуществляется переключателями J1. С их помощью катоды светодиодных сегментов через токоограничивающие резисторы подключаются к общей шине. Состояние переключателя (замкнут-разомкнут) контролируется индикатором X1. При замыкании цепи индикатор X1 гаснет.

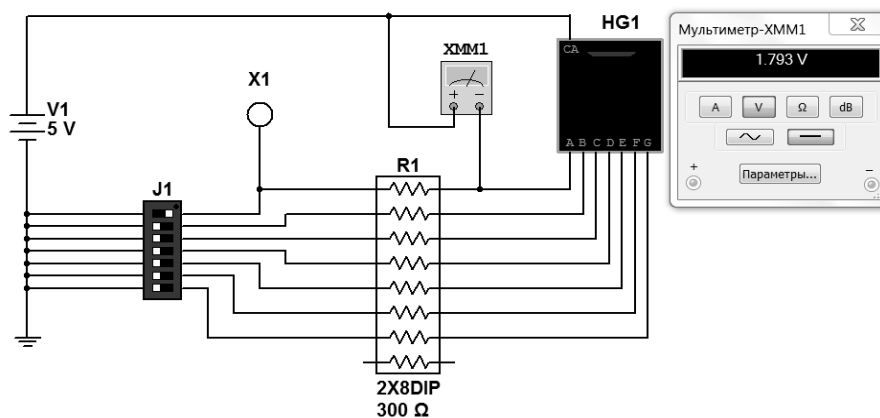


Рисунок 4.10 – Схема в Multisim для исследования работы одноразрядного цифробуквенного светодиодного семисегментного индикатора с разъединенными катодами

Электрическая схема одноразрядного цифробуквенного светодиодного индикатора с разъединенными анодами АЛС324А приведена на рисунке 4.11.

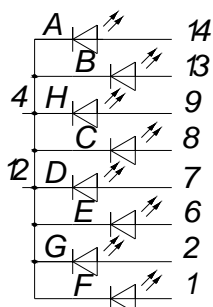


Рисунок 4.11 – Электрическая схема индикатора с разъединенными анодами АЛС324А

Расположение сегментов у индикатора АЛС324А такое же, как и у индикатора АЛС324Б.

Для управления светодиодными сегментами вышеописанных индикаторов имеется специальный дешифратор 4543ВР, преобразующий четырехразрядный двоичный код в сигналы семисегментного кода (рисунок 4.12).

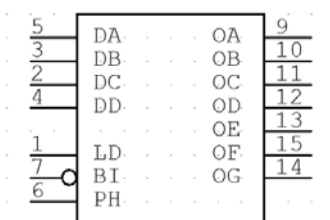


Рисунок 4.12 – Дешифратор 4543ВР

На входы DA–DD подается дешифруемое четырехразрядное двоичное число. Выходы OA–OG управляют работой одноименных сегментов индикатора.

Данный дешифратор может работать как с индикаторами с разъединенными катодами ($LD = 1$, $PH = 1$, $BI = 0$), так и с разъединенными анодами ($LD = 1$, $PH = 0$, $BI = 0$).

4.8 Исследование работы полупроводниковых индикаторов

4.8.1 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 4.10. С помощью переключателей J1 исследуйте включение/выключение каждого сегмента индикатора HG1.

4.8.2 С помощью мультиметра ХММ1 измерьте ток, протекающий через каждый сегмент, и падение напряжения на нем. Каково назначение набора резисторов R1?

4.8.3 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 4.13. С помощью переключателей J1 подайте на входы LD, PH и BI сигналы управления работой дешифратора U1, а на входы DA–DD – дешифруемые четырех-

разрядные двоичные числа в соответствии с таблицей 4.5. Сравните появляющиеся на индикаторе цифры с табличными.

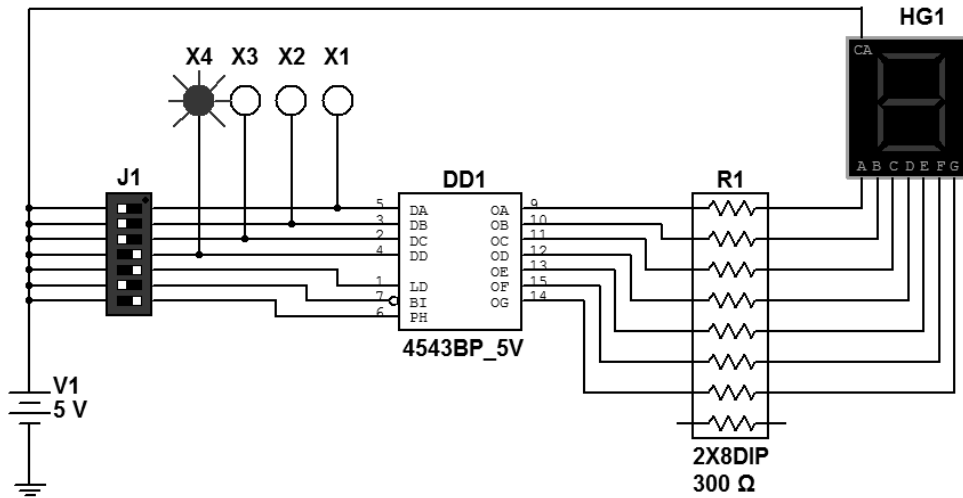


Рисунок 4.13 – Схема в Multisim для исследования работы дешифратора и цифробуквенного светодиодного семисегментного индикатора с разьединенными катодами

4.8.4 Составьте схему в среде Multisim в соответствии с рисунком 4.14.

С помощью переключателей J1 исследуйте совместную работу дешифратора DD1, индикатора HG2, индикатора HG1. На основании показаний индикаторов X4–X1, отображающих четырехразрядный двоичный код, формируемый переключателями J1, и показаний индикаторов HG1 и HG2 составьте таблицу соответствия двоичных, десятичных и шестнадцатеричных чисел (таблица 4.6).

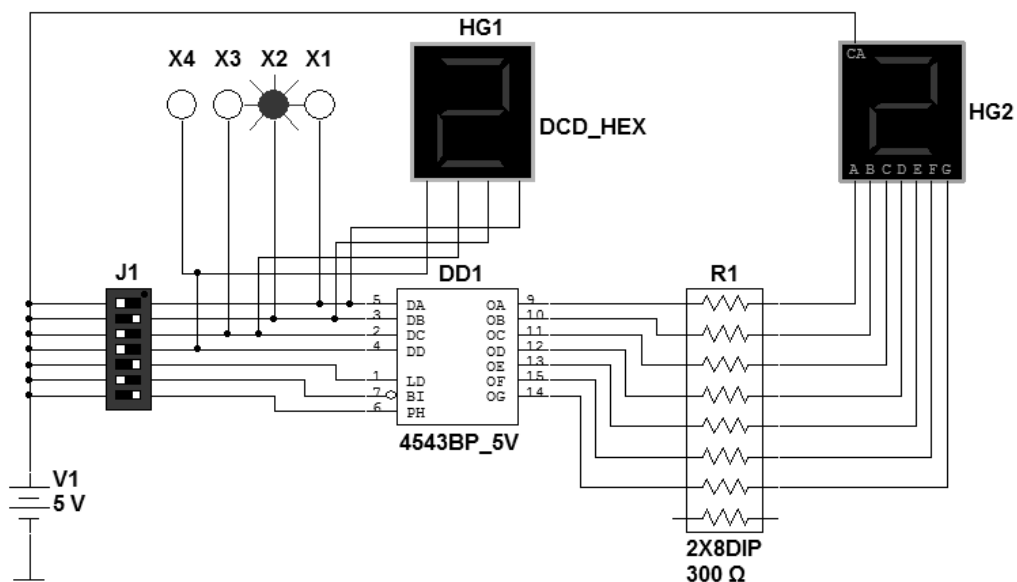


Рисунок 4.14 – Схема в Multisim для исследования работы дешифратора и цифробуквенного светодиодного семисегментного индикатора с разьединенными катодами

Таблица 4.6 – Таблица соответствия двоичных, десятичных шестнадцатеричных чисел

Десятичное число	Двоичное число				Шестнадцатеричное число
0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	
	0	0	1	0	
...
	1	1	1	1	

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать: название работы; цель работы; схемы исследованных регистров, счетчиков, дешифраторов; электрические схемы индикаторов АЛС324А и АЛС324Б; описание дешифратора 4543ВР; схему совместного включения индикатора АЛС324Б и дешифратора 4543ВР; выводы по результатам выполненных исследований.

Контрольные вопросы

- 1 Какие функции выполняют регистры?
- 2 На каких элементах регистры строятся?
- 3 Какие счетчики называют двоичными?
- 4 Какие счетчики называют десятичными?
- 5 Как задать $K_{сч}$, отличающийся от двоично-десятичного?
- 6 Какое назначение имеют входы дешифратора А, В, С (см. рисунок 4.8)?
- 7 Опишите устройство и принцип работы цифробуквенного светодиодного индикатора АЛС324Б.
- 8 С какими индикаторами может работать дешифратор 4543ВР?

5 Лабораторная работа № 5. Исследование работы ЦАП и АЦП

Цель работы: исследование работы цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразователей.

5.1 Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). Основные теоретические положения

ЦАП предназначены для преобразования цифровых сигналов в аналоговые. Преобразование производится пропорционально входному двоичному коду сигнала (рисунок 5.1).

К основным параметрам ЦАП относят: разрешающую способность, время установления, погрешность нелинейности и др.

Разрешающая способность – приращение $U_{вых}$ при изменении входного

числа на единицу младшего разряда (ЕМР). Это приращение является шагом квантования. Для преобразуемых двоичных кодов номинальное значение шага квантования

$$U_{кв} = h = \frac{U_{nui}}{(2^N - 1)}, \quad (5.1)$$

где U_{nui} – номинальное максимальное выходное напряжение ЦАП (напряжение полной шкалы);

N – разрядность ЦАП. Чем больше разрядность преобразователя, тем выше его разрешающая способность.

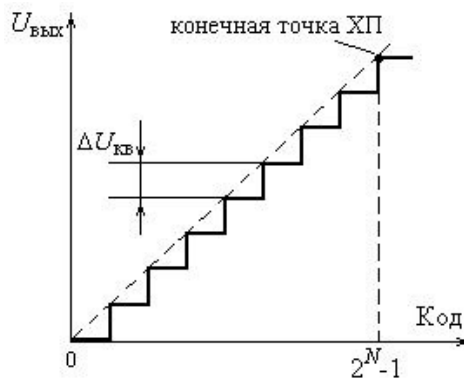


Рисунок 5.1 – Характеристика ЦАП

5.2 Исследование работы (ЦАП)

5.2.1 Составьте схему в среде Multisim, изображенную на рисунке 5.2. Включите моделирование. С помощью переключателей J1 подайте на цифровые входы ЦАП D7–D0 двоичные числа, соответствующие указанным в таблице 5.1 десятичным.

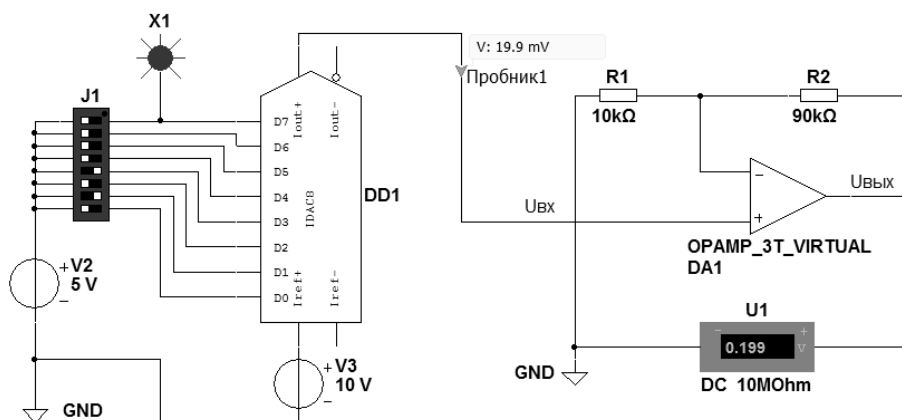


Рисунок 5.2 – Схема для исследования работы в Multisim восьмиразрядного ЦАП

Таблица 5.1 – Таблица соответствия двоичных входных кодов и выходных напряжений ЦАП

Десятичное число	Двоичное число								$U_{ВЫХ}$	
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Пробник 1	Вольтметр U1
0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	0	0	0	0	0	0	0	1		
10										
100										
200										
255										

Показания Пробника 1 и вольтметра U1 впишите в таблицу 5.1. По полученным результатам рассчитайте по формуле (5.1) параметр h и постройте график $U_{ВЫХ} = f \cdot (Код_{DEC})$, где $Код_{DEC}$ – десятичный код двоичного числа на входе ЦАП.

5.2.2 Выставьте значение напряжения источника V3 20 В и повторите все действия, описанные в п. 5.2.1.

5.3 Аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Основные теоретические положения

Большинство датчиков, от которых получают измерительную информацию о физических величинах, имеют аналоговые выходные сигналы. Соединить аналоговый датчик с компьютером позволяет аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который преобразует 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.

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

К основным характеристикам АЦП относят число разрядов, время преобразования t_{np} , величину опорного напряжения $U_{оп}$, величину напряжения питания U_n , нелинейность, 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 $U_{оп} = 5$ 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 $U_{оп} = 2,5$ 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 $U_{оп}$, тем меньше шаг квантования.

В данной лабораторной работе исследуется 10-разрядный АЦП, встроенный в микроконтроллер ATmega 328 и расположенный на плате Arduino с $U_{оп} = 5$ В. Следовательно, этот АЦП может присвоить 1024 значения от 0 до 1023 напряжению, непрерывно изменяющемуся в диапазоне от 0 до +5 В.

5.4 Исследование работы (АЦП)

5.4.1 Присоедините три провода, припаянные к потенциометру, к плате Arduino в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 5.3.

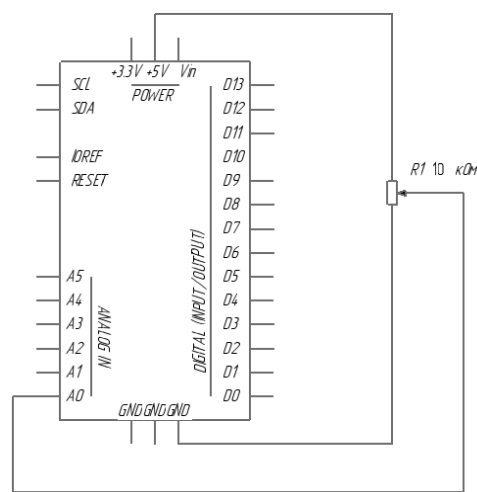


Рисунок 5.3 – Схема подключения потенциометра к контроллеру Arduino

Для этого один из крайних выводов потенциометра соедините с выводом GND Arduino, второй – с выводом 5V Arduino, средний вывод потенциометра соедините с аналоговым входом A0 Arduino.

При вращении вала потенциометра R1 напряжение на центральном выводе будет изменяться от 0 до 5 В. Это напряжение является аналоговым сигналом, подаваемым на вход исследуемого АЦП.

Если ручка потенциометра повернута до упора в одну сторону, то на вход АЦП подается 0 В и результат преобразования равен 0. Если ручка потенциометра повернута до упора в другую сторону, то на вход АЦП подается 5 В и результат преобразования равен 1023. В промежуточных

положениях ручки потенциометра АЦП возвращает число между 0 и 1023, которое пропорционально напряжению на его среднем выводе.

5.4.2 Подключите плату Arduino к ЭВМ через USB-порт.

5.4.3 Запишите программу ReadAnalogVoltage в память контроллера Arduino, переслав её из ЭВМ.

Открыв Serial Monitor в среде Arduino, можно увидеть поток цифр от нуля до 1023, соответствующих положению ручки потенциометра. Если повернуть ручку, эти показания изменятся почти мгновенно.

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать: название работы; цель работы; схемы подключения ЦАП, таблицы с результатами исследований; графики; схему подключения потенциометра к встроенному в Arduino АЦП; выводы по результатам выполненных исследований.

Контрольные вопросы

- 1 Какие функции выполняет ЦАП?
- 2 Перечислите основные характеристики ЦАП.
- 3 Каким является коэффициент усиления усилителей, используемых совместно с ЦАП в данной лабораторной работе?
- 4 Какова разрядность встроенного в контроллер Arduino АЦП?
- 5 В каком диапазоне изменяется напряжение на выходе потенциометра?
- 6 В каком диапазоне формируется результат преобразования на выходе АЦП?

6 Лабораторная работа № 6. Моделирование и исследование работы цифрового прибора на микроконтроллере с аналоговым датчиком

Цель работы: исследование работы цифрового прибора на микроконтроллере с аналоговым датчиком.

6.1 Основные теоретические положения

Макет цифрового прибора собирается на плате Arduino, созданного на базе микроконтроллера ATmega32U4, с использованием фоторезистивного аналогового датчика KY-018, внешний вид которого и назначение выводов показаны на рисунке 6.1.

Принцип работы фоторезистивного аналогового датчика KY-018 основан на уменьшении сопротивления светочувствительного полупроводникового слоя при освещении. Он применяется для управления освещением в зависимости от уровня яркости и интенсивности света. Сопротивление фоторезистора

увеличивается при уменьшении освещенности и, наоборот, чем больше света, тем сопротивление меньше.

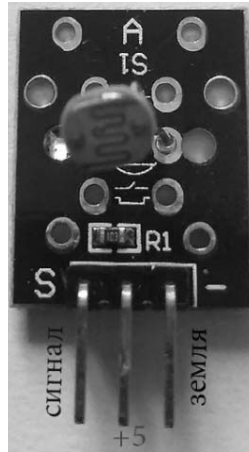


Рисунок 6.1 – Внешний вид и назначение выводов фоторезистивного аналогового датчика KY-018

Основные характеристики фоторезистивного датчика KY-018:

- напряжение питания – +5 В;
- сопротивление датчика варьируется (в зависимости от освещенности) от 1 до 100 кОм.

В данной работе с помощью фоторезистивного датчика KY-018 будем управлять включением/выключением светодиода, расположенного на плате Arduino и подключенного к её выводу 13.

Алгоритм работы устройства следующий.

1 Определяется (программно) уровень сигнала, поступающего на вход A0 Arduino.

2 Сравнивается полученное значение сигнала с пороговым значением. Максимальное значение будет соответствовать темноте, минимальное – максимальной освещенности. В программе задается пороговое значение $val_porog = 300$.

3 Если уровень сигнала окажется меньше порогового, включается светодиод. Иначе – светодиод выключается.

В соответствии с этим алгоритмом составлена программа SVET1.

```
#define PIN_LED 13
#define PIN_PHOTO_SENSOR A0
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PIN_LED, OUTPUT);
}
void loop() {
  int val_porog = analogRead(PIN_PHOTO_SENSOR);
  Serial.println(val);
  if (val_porog < 300) {
```

```

    digitalWrite(PIN_LED, LOW);
  } else {
    digitalWrite(PIN_LED, HIGH);
  }
}
}

```

6.2 Порядок выполнения работы

6.2.1 С помощью трех проводов подключите датчик KY-018 к плате Arduino: вывод «-» (земля) – к выводу GND Arduino, вывод «+» (+5) – к выводу +5V Arduino, вывод «S» (сигнал) – к аналоговому входу A0 Arduino.

6.2.2 Подключите плату Arduino к ПК через USB-порт.

6.2.3 Запишите программу SVET1 в память контроллера Arduino, переслав её из ПК.

Прикрывая фоторезистор (рукой или светонепроницаемым предметом), наблюдайте за включением/выключением светодиода, расположенного на плате Arduino.

6.2.4 Изменяя в программе пороговый параметр `val_porog`, повторите действия, описанные в п. 6.2.3.

6.2.5 Яркость свечения светодиода можно менять, используя широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) сигнала, посылая с помощью команды `analogWrite()` на вывод 13 Arduino значения от 0 до 255.

Для преобразования цифрового значения уровня освещения от датчика освещенности (от 0 до 1023) в диапазон ШИМ яркости светодиода (от 0 до 255) надо использовать функцию `map()`.

Код программы «SVET2»:

```

#define PIN_LED 13
#define PIN_PHOTO_SENSOR A0
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PIN_LED, OUTPUT);
}
void loop() {
  int val_porog = analogRead(PIN_PHOTO_SENSOR);
  Serial.println(val_porog);
  int ledPower = map(val_porog, 0, 1023, 0, 255); // Преобразуем полученное
значение в уровень PWM-сигнала. Чем меньше значение освещенности, тем
больше мощности мы должны подавать на светодиод через ШИМ.
  analogWrite(PIN_LED, ledPower); // Меняем яркость
}

```

Примечание – В случае другого способа подключения фоторезистивного датчика, при котором сигнал с A0 пропорционален степени освещенности, надо пороговое значение изменить, вычитая его из максимального:

```
int val_porog = 1023 - analogRead(PIN_PHOTO_RESISTOR).
```


6.2.6 Запишите программу SVET2 в память контроллера Arduino, переслав её из ПК.

Прикрывая фоторезистор (рукой или светонепроницаемым предметом), наблюдайте за свечением светодиода, расположенного на плате Arduino.

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать: название работы; цель работы; схему подключения аналогового фоторезистивного датчика к Arduino; программы экспериментальных исследований; выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Какова разрядность встроенного в контроллер Arduino АЦП?
- 2 В каком диапазоне изменяется сопротивление фоторезистора датчика?
- 3 В каком диапазоне формируется результат преобразования на выходе АЦП?

7 Лабораторная работа № 7. Моделирование и исследование работы цифрового прибора на микроконтроллере с дискретным датчиком

Цель работы: исследование работы цифрового прибора на микроконтроллере с дискретным датчиком.

7.1 Основные теоретические положения

В качестве дискретного датчика используется кнопка, схема подключения которой к Arduino приведена на рисунке 7.1.

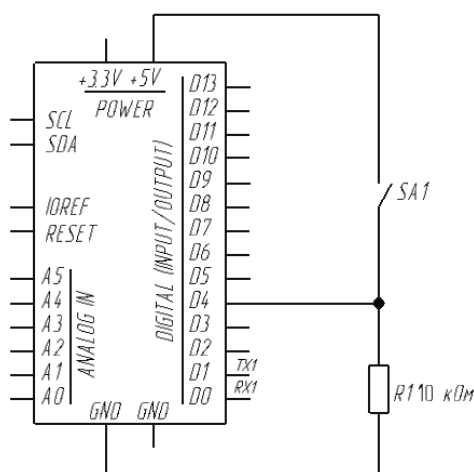


Рисунок 7.1 – Схема подключения кнопки к контроллеру Arduino

При нажатии кнопки соединяются две точки цепи. Когда кнопка не нажата, нет никакой связи между двумя ее выводами, так что нижний её вывод подключен к выводу GND, имеющему нулевой потенциал, через резистор R1 и на вывод D4 поступает сигнал LOW, или логический нуль. При нажатии на кнопку устанавливается соединение между двумя выводами кнопки и на вывод D4 подается +5 В, он переходит в состояние HIGH, или логическую единицу.

Если не использовать резистор R1 и оставить нижний вывод кнопки неподключенным к общей шине, то напряжение на нем будет изменяться хаотично. Это приведет к случайному формированию на D4 напряжения высокого или низкого уровня.

7.2 Порядок выполнения работы

7.2.1 Соедините проводниками кнопку, Arduino и резистор в соответствии с рисунком 7.1.

7.2.2 Подключите плату Arduino к ПК через USB-порт.

7.2.3 Запишите программу DigitalReadSerial в память контроллера Arduino, переслав её из ПК. В этой программе прежде всего нужно в функции настройки включить последовательную передачу данных между ПК и Arduino со скоростью 9600 бит/с следующей строкой:

Serial.begin(9600);

Далее инициализируйте вывод D4. Он должен читать состояние кнопки, чтобы быть настроенным как вход:

pinMode(2,INPUT);

Далее, когда установки завершены, следует перейти к основному циклу кода. Когда кнопка нажата, 5 В будут свободно проходить через цепь, а когда она не нажата, вход будет соединен с выводом GND через резистор 10 кОм. Это цифровой вход, следовательно, он может быть только во включенном (читается Arduino как 1 или HIGH) или в выключенном состоянии (читается Arduino как 0 или LOW). Промежуточных состояний не существует.

Первое, что нужно сделать в основном цикле, – это создать переменную для хранения информации, поступающей от кнопки. Поскольку сигнал, приходящий от кнопки, может иметь только значения 1 или 0, можно использовать целочисленный тип данных int. Назовите эту переменную sensorValue и присвойте ей значение, равное значению, считанному с входа 4. Это можно сделать с помощью следующей строки:

int sensorValue = digitalRead(4);

Как только Arduino считывает значение на входе, передайте его в ПК и выведите на экран как десятичное значение. Это можно сделать, используя команду Serial.println(), как показано в следующей строке:

Serial.println(sensorValue);

При открытии монитора последовательной передачи (Serial Monitor в среде Arduino) можно увидеть последовательность нулей, когда кнопка разомкнута, и последовательность единиц, когда кнопка замкнута.

Полный текст программы DigitalReadSerial.

```

/* Читает состояние цифрового входа 4, выводит результат на монитор */
// цифровой вход 4 присоединен к кнопке. Назовем его:
  int pushButton = 4;
// проведем необходимые установки:
  void setup()
  {
// инициализируем последовательную передачу данных со скоростью
9600 бит в секунду:
    Serial.begin(9600);
    // назначим вывод 2 входом:
    pinMode(pushButton, INPUT);
  }
// основной цикл:
  void loop()
  {
// читаем значение на входе:
    int buttonState = digitalRead(pushButton);
// выводим значение на монитор:
    Serial.println(buttonState);
    delay(10);    // задержка для стабильного считывания
  }

```

7.2.4 Нажимая или отпуская кнопку, наблюдайте на экране дисплея ПК появление 0 или 1, соответствующих положению кнопки.

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать: название работы; цель работы; схему подключения дискретного датчика (кнопки) к Arduino; выводы по результатам экспериментальных исследований.

Контрольные вопросы

- 1 Какое напряжение соответствует логическому 0?
- 2 Какое напряжение соответствует логической 1?
- 3 Зачем на схеме, приведенной на рисунке 7.1, используется резистор R1?

8 Лабораторная работа № 8. Моделирование и исследование работы исполнительного устройства цифрового прибора на микроконтроллере

Цель работы: исследование работы подключаемых к цифровому прибору на микроконтроллере исполнительных устройств.

8.1. Основные теоретические положения

8.1.1 Реле SRD-05VDC. Программное управление мощными исполнительными устройствами цифрового устройства может быть реализовано с помощью электромагнитного реле. На рисунке 8.1 показан внешний вид реле SRD-05VDC.



Рисунок 8.1 – Внешний вид реле SRD-05VDC

Данное реле управляется напряжением +5 В и способно коммутировать до 10 А постоянного напряжения (DC) 30 В и 10 А переменного напряжения (AC) 250 В.

Реле имеет две отдельные цепи: цепь управления, представленная контактами A1, A2, и управляемая цепь, представленная контактами 1, 2, 3. Цепи никак не связаны между собой (рисунок 8.2).

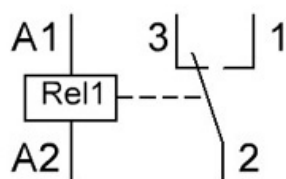


Рисунок 8.2 – Коммутационная схема реле SRD-05VDC

Релейный модуль имеет три вывода:

- VCC: "+" питания;
- GND: "-" питания;
- IN: вывод входного сигнала управления.

Подключение модуля к плате Arduino:

- VCC на + 5 вольт на Arduino;
- GND на любой из GND выводов Arduino;
- IN на любой из цифровых входов/выходов Arduino.

Схема подключения реле к плате Arduino приведена на рисунке 8.3.

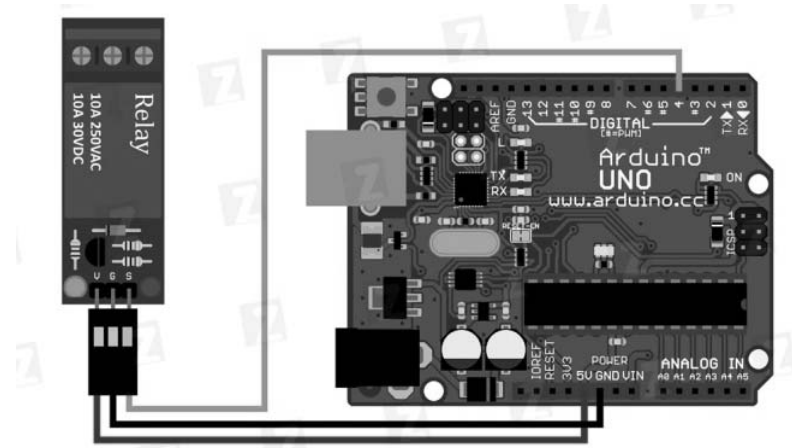


Рисунок 8.3 – Схема подключения реле к плате Arduino

Приведем код программы включения и выключения реле с интервалом в 2 с. Пример программного кода Rele1.

```
// Реле модуль подключен к цифровому выводу 4
int Relay = 4;
void setup()
{
  pinMode(Relay, OUTPUT);
}
void loop()
{
  digitalWrite(Relay, LOW); // реле включено
  delay(2000);
  digitalWrite(Relay, HIGH); // реле выключено
  delay(2000);
}
```

8.1.2 Управление электродвигателем. Напрямую к цифровым контактам Arduino можно подключать только устройства, потребляющие небольшую мощность, например, светодиод или динамик небольшой мощности. Для доказательства рассмотрим возможность подключения электродвигателя с сопротивлением 10 Ом. При напряжении +5 В (выдаваемым Arduino) в соответствии с законом Ома $U = I \cdot R$ через мотор потечет ток

$$I = \frac{U}{R} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ A} = 500 \text{ mA},$$

что намного больше, чем допустимый ток через цифровой вывод Arduino, равный 40 мА. Поэтому при подключении электродвигателя непосредственно к контакту Arduino, контроллер может выйти из строя. Чтобы этого не случилось, напряжение на электродвигатель надо подавать от внешнего источника.

Простым вариантом управления электродвигателем является использование реле. Схема подключения электродвигателя М1 к плате Arduino через реле К1 приведена на рисунке 8.4.

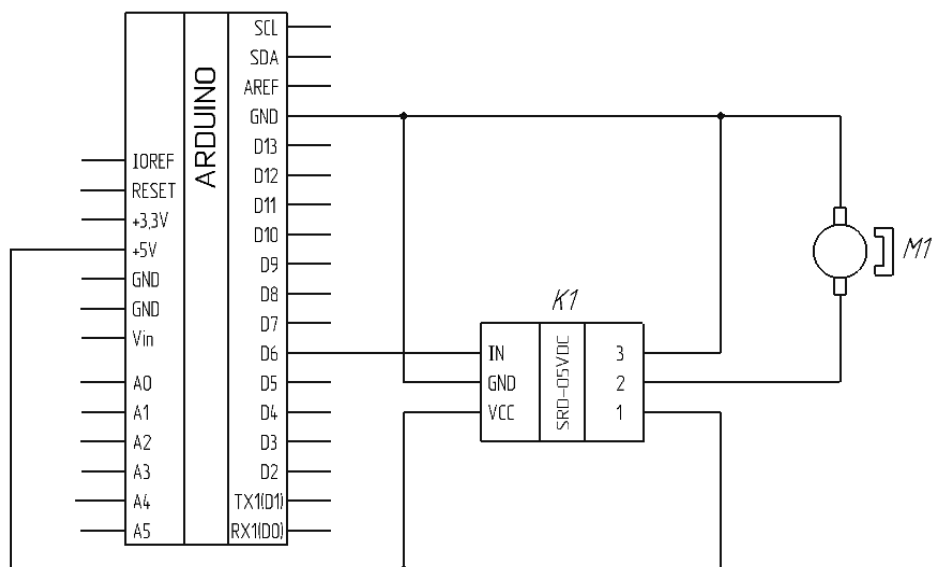


Рисунок 8.4 – Схема подключения электродвигателя к контроллеру Arduino через реле

Код программы Motor1 обеспечивает периодическое включение электродвигателя М1 на 8 с и выключение на 4 с.

Код программы Motor1.

```
int Relay1 = 5;
void setup()
{
  pinMode(Relay1, OUTPUT);
}
void loop()
{
  digitalWrite(Relay1, HIGH); // реле включено (двигатель работает)
  delay(8000);
  digitalWrite(Relay1, LOW); // реле выключено (двигатель не работает)
  delay(4000);
}
```

Также можно реализовать работу электродвигателя М1 в реверсивном режиме (обеспечить вращение вала в обе стороны). Для этого нужно использовать два реле: К1 и К2 (рисунок 8.5).

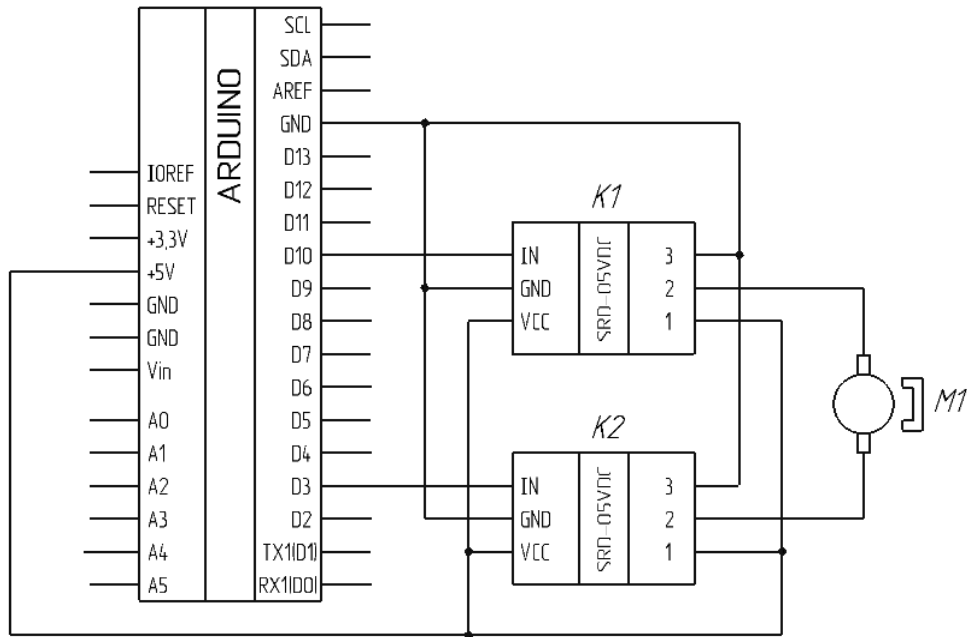


Рисунок 8.5 – Схема подключения электродвигателя к контроллеру Arduino, обеспечивающая реверс вращения его вала

Код программы, обеспечивающий реверсивный режим работы электродвигателя, представлен далее.

Код программы Motor2.

```
int Relay3 = 8;
int Relay4 = 9;
void setup()
{
  pinMode(Relay3, OUTPUT);
  pinMode(Relay2, OUTPUT);
}
void loop()
{
  digitalWrite(Relay3, LOW); // реле включено
  delay(1000);
  digitalWrite(Relay3, HIGH); // реле выключено
  delay(1000);
  digitalWrite(Relay4, LOW); // реле включено
  delay(1000);
  digitalWrite(Relay4, HIGH); // реле выключено
  delay(1000);
}
```

Порядок выполнения работы

8.2.1 Подключить реле SRD-05VDC к контроллеру Arduino, контроллер Arduino подключить к ПК.

8.2.2 Загрузить в контроллер Arduino программу Rele1, исследовать её выполнение.

8.2.3 Составить и загрузить в контроллер Arduino программу Motor1, обеспечивающую работу электродвигателя в обычном режиме, и исследовать её выполнение.

8.2.4 Загрузить в контроллер Arduino программу Motor2, обеспечивающую работу электродвигателя в реверсивном режиме, и исследовать её выполнение.

Содержание отчета

Отчет о проделанной работе должен содержать: название работы; цель работы; схемы подключения к Arduino реле; электродвигателя в обычном и реверсивном режимах; программы экспериментальных исследований; выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите устройство и принцип работы реле.
- 2 Опишите принцип управления работой электродвигателя в обычном режиме.
- 3 Опишите принцип управления работой электродвигателя в реверсивном режиме.
- 4 В каких случаях совместно с контроллером используется реле?

Список литературы

- 1 **Гусев, В. Г.** Электроника и микропроцессорная техника : учебник / В. Г. Гусев, Е. М. Гусев. – Москва : КноРус, 2022. – 798 с.
- 2 **Шишкин, Г. Г.** Электроника: учебник для бакалавров / Г. Г. Шишкин, А. Г. Шишкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Юрайт, 2019. – 703 с.
- 3 Введение в Multisim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://of.bsu.ru/e-book/mikroprochess/Manual_multisim_rus.pdf. – Дата доступа: 22.02.2022.