

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)» в г. Миассе
Факультет «Электротехнический»
Кафедра «Автоматика»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ С.С. Голошапов
_____ 2018 г.

Разработка платы управления модуля нагрузок

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 270304.2018.022.00 ПЗ ВКР

Консультант
ст. преп. кафедры АиУ
_____ О.В. Константинова
_____ 2018г.

Руководитель проекта
начальник отдела СЗ
_____ А.И. Казанцев
_____ 2018г.

Автор проекта
студент группы МиЭт-482
_____ А.В. Бестик
_____ 2018 г.

Нормоконтролер
кафедры АиУ
_____ Т.А. Барбасова
_____ 2018г.

Миасс 2018

АННОТАЦИЯ

Бестик А.В. Разработка платы управления модуля нагрузок стенда проверки параметров. – Миасс: филиал «ФГАО ВО ЮУрГУ (НИУ)», Эт; 2018, 73 с. 18 ил., библиогр. список – 50 наим., 2 прил., 1 лист схем ф. А3, 2 листа схем ф. А2

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке платы управления модуля нагрузок стенда проверки параметров блока, подлежащего контрольной проверке перед реализацией.

Согласно требованиям технического задания на основе современной электронно-компонентной базы в системе автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств Altium Designer разработаны электрические принципиальные схемы печатных узлов для блока управления нагрузками.

Спроектированная плата управления модуля нагрузок обеспечивает возможность контроля замыкания каналов проверяемого блока, а так же имитацию нагрузки для проведения более сложных опытов.

Перед началом работы была изучена соответствующая литература.

Об актуальности проведенной работы можно судить по продолжающемуся производству блоков, нуждающихся в проверке, а так же по новизне выбранных отечественных элементов.

					270304.2018.022.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Бестик А.В.			Плата управления модуля нагрузки стенда проверки параметров	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Казанцев А.И.				Д	8	73
Н. Контр.		Барбасова Т.А.						
Утв.		Голощанов С.С.						
					ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «Автоматика»			

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ОПИСАНИЕ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	10
1.1 Характеристика стенда проверки параметров	10
1.2 Описание платы управления модуля нагрузок	13
2 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ	15
3 ТЕХНИЧЕСКАЯ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ РАЗРАБОТКА ПЛАТЫ УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЯ НАГРУЗОК.....	19
3.1 Разработка структурной схемы платы	19
3.2 Подбор элементной базы.....	21
3.3 Разработка принципиальной электрической схемы.....	23
3.3.1 Блок первичной обработки управляющих сигналов	23
3.3.2 Блок счёта и сигнал сброса	29
3.3.3 Формирователь состояния нагрузки	40
3.3.4 Цепь индикации	49
3.3.5 Каскад усиления мощности	54
3.3.6 Схема чтения	59
3.3.7 Схема питания.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	63
ПРИЛОЖЕНИЕ А	68
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	8

					270304.2018.334.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

ВВЕДЕНИЕ

В условиях конкуренции на рынке предприятие стремится выпускать продукцию высокого качества. В связи с быстрым прогрессом в науке и технике к продукции начинают предъявляться новые и более сложные требования. Это вызывает потребность в улучшении изделий: получение более совершенных характеристик и параметров, повышение качества сборки, уменьшение габаритов и веса изделия, а также увеличение функционала и модификация. Процесс производства и создания изделий усложняется, поэтому предприятия начинают искать новые производственные решения.

Важнейшим показателем качества, который характеризует сохранение во времени, в установленных пределах технических показателей качества является надежность [36]. Для обеспечения требуемой надежности изделия предприятия проводят контроль его характеристик – испытания.

При производстве изделий предприятия прибегают к использованию лабораторных испытаний. Эти испытания проводятся с использованием оборудования, которое может имитировать какие-либо внешние факторы, сопровождающие изделие в период эксплуатации, а также фиксировать изменения значений параметров испытываемого изделия. Такое оборудование принято называть испытательным стендом [39].

Большинство предприятий осознают роль модернизации устаревшего оборудования. При этом часто модернизация оборудования может подразумевать под собой автоматизацию производства. В настоящее время многие отечественные и зарубежные предприятия уделяют огромное внимание оптимизации производства этим способом.

Автоматические системы реализуют поддержание рабочих параметров, которое достигается за счет контроля работы и связи элементов этой системы. В систему вводят множество датчиков, которые собирают информацию, преобразовывают или сразу передают её другим частям, чтобы система могла отреагировать на воздействие. Реагирование системы заключается в включении или отключении исполнительного механизма.

К современным испытательным стендам предъявляются требования по автоматизации проведения испытаний. К таким стендам относится стенд проверки параметров на предприятии АО «НПО «Электромашина».

Стенд проверки параметров предназначен для проверки правильности работы некоторого блока управления, так же изготавливаемого на данном предприятии. В состав стенда входит микроконтроллер и несколько плат. Одной из плат, входящих в состав стенда, является плата управления модуля нагрузок.

Плата управления модуля нагрузок предназначена для имитации нагрузки системы и проверки замыкания между её каналами. Имитация подразумевает под собой наличие сопротивления в некоторых пределах, что познается проверяемым блоком как нагрузка. Под проверкой замыкания между каналами системы подразумевается, что при поступлении сигнала система обязана отреагировать на него, причем сделать это за промежуток времени предусмотренный техническими условиями. После изучения состава и структуры платы были обнаружены некоторые недостатки:

1. Не пригодность к ремонту в связи с прекращением выпуска большинства элементов, на которых реализована плата.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

2. Наличие рудиментов – контактов, которые в настоящее время не используются.

Цель данной выпускной квалификационной работы – разработка платы управления модуля нагрузок стенда проверки параметров на основе современной электронно-компонентной базы для проверки некоего блока, выпускаемого для заказчиков предприятия ОАО «НПО «Электромашина».

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Ознакомиться с литературой по конструктивным особенностям платы.
2. Ознакомиться с принципом работы стенда, в частности платы управления модуля нагрузок.
3. Изучить структуру формирования входных и выходных сигналов платы.
4. Заменить устаревшее оборудование на схеме.
5. Удалить неиспользуемые контакты платы.
6. Синтезировать принципиальную схему платы управления модуля нагрузок.
7. Привести перечень элементов, на базе которых была осуществлена разработка новой платы.

Все указанные вопросы рассмотрены в настоящей пояснительной записке.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

1 ОПИСАНИЕ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика стенда проверки параметров

Важнейшим показателем качества, который характеризует сохранение во времени в установленных пределах технических показателей качества является надежность. Для обеспечения требуемой надежности изделия предприятия проводят контроль его характеристик – испытания.

При производстве изделий предприятия прибегают к использованию лабораторных испытаний. Эти испытания проводятся с использованием оборудования, которое может имитировать какие-либо внешние факторы, сопровождающие изделие в период эксплуатации, а также фиксировать изменения значений параметров испытываемого изделия. Такое оборудование принято называть испытательным стендом

Для проверки правильности работы некоторого блока управления, производимого на предприятии, используют стенд проверки параметров. Характеристики и типы сигналов, с которыми работает блок управления, заранее известны.

Стенд проверки параметров (СПП) имитирует объект управления (ОУ), с которым взаимодействует блок управления (БУ). СПП состоит из:

1. Блок стенда–имитатора (БСИ) – блок, предназначенный для формирования управляющих сигналов, которые имитируют работу ОУ.
2. Комплект жгутов – для соединения составных частей стенда.
3. Пульт стенда–имитатора (ПСИ) – пульт для ввода информации оператором.
4. Коробка распределительная (КР) – коробка, предназначенная для проведения испытания изделия на надежность.
5. Источник питания (ИП) – источник, преобразующий входное напряжение к уровням напряжения для обеспечения питания плат, входящих в состав БСИ.

Функциональная схема стенда проверки параметров представлена на рисунке 1.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

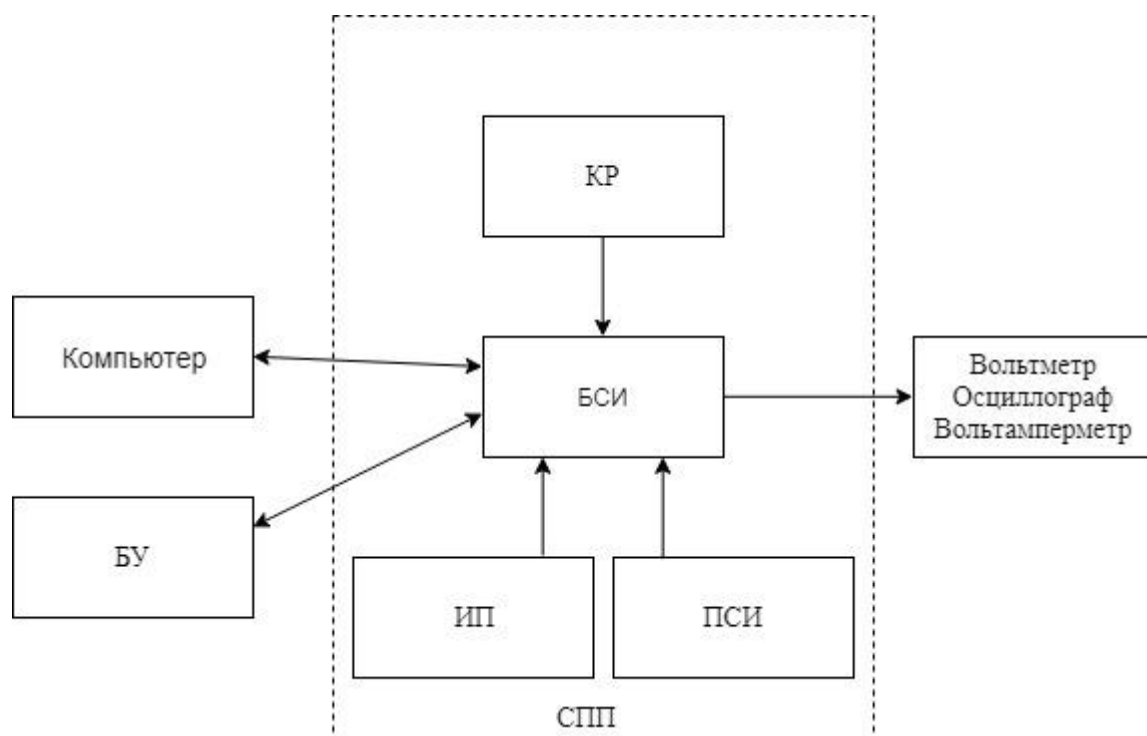


Рисунок 1 – Функциональная схема СПП

Основными задачами СПП являются:

1. Генерация определённых управляющих сигналов, которые имитируют работу ОУ.
2. Детектирование сигналов, приходящих с БУ в ответ на отправление ему имитирующих сигналов.
3. Обработка сигналов БУ на предмет соответствия требуемым характеристикам.

Как было сказано ранее, одной из составных частей стенда проверки параметров является блок стенда-имитатора. БСИ состоит из нескольких плат: плата контроллера управления СПП, плата управления сигналами СУО, плата управления входных/выходных сигналов системы обнаружения и плата управления модуля нагрузок. Каждая плата имеет свое функциональное значение. БСИ построен по принципу разбиения на блоки. В данном случае в роли блоков выступают платы. Такое построение позволяет производить ремонт, замену какого-либо блока, не внося при этом каких-то изменений в другие.

Стенд проверки параметров работает по следующему принципу: стенд подает на проверяемый блок некоторые сигналы, а блок отправляет ответные сигналы, по которым и определяют его работоспособность.

СПП может проверять работу нескольких типов блоков: БТШУ-1-2Б, БТШУ-1-2М и так далее. Для того чтобы стенд понял какой блок именно предстоит проверять, на нём имеется тумблер, который позволяет переключать режим работы под соответствующий блок. В качестве проверяемого блока здесь и далее будет выступать блок БТШУ-1-2Б.

Для каждого из блоков имеется своя документация, в которой описываются его характеристики и параметры, режимы работы, которые должен поддерживать блок, по каким командам эти режимы должны быть установлены, время перехода блока в определенный режим. Для блока БТШУ 1-2Б такой документацией являются его технические условия.

Общая методика проверки блока на стенде, а также форма протокола, в которую заносятся её результаты, также приведены в его технических условиях. Проверка начинается с этапа подготовки к работе. Для этого органы управления и регулировки устанавливаются в исходные состояния. Далее проверяемая система непосредственно подключается к настроенному стенду. После к стенду подключаются измерительные приборы, которые так же настраиваются на необходимый режим работы. По завершении проведения испытаний вносятся записи в протокол.

Немаловажным фактором так же является характеристика климатических условий, в которых блок проходит проверку:

1. Температура окружающего воздуха – от 15 до 35 °С.
2. Относительная влажность воздуха – от 45 до 80 %.
3. Атмосферное давление – от 86 до 106 кПа (от 645 до 795 мм рт.ст.).

Перечисленные условия окружающей среды называют нормальными климатическими условиями. Отдельно стоит отметить, что при температуре выше 30 °С относительная влажность не должна превышать 70 %.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

С помощью стенда проводятся различные испытания, связанные с возможными перегрузками работы блока. К таким перегрузкам можно отнести длительное время работы блока, сбой питания и так далее. Данные проверки проводятся в целях того, чтобы убедиться к готовности блока к работе при наличии каких-либо критических факторов.

1.2 Описание платы управления модуля нагрузок

Как отмечалось ранее, одной из составных частей СПП является БСИ. Блок стенда имитатора в свою очередь включает в себя несколько плат, одной из которых является плата модуля нагрузок. Данная плата имеет свое функциональное назначение и может разрабатываться независимо от других плат.

Плата управления модуля нагрузок необходима для имитации нагрузок и проверки замыкания каналов системы. Под имитацией нагрузок понимается замыкание каналов между БУ и блоком нагрузок. Под нагрузкой понимаются сопротивления различных номиналов. Наличие или отсутствие нагрузки ассоциируется у БУ с наличием сопротивления, попадающего на один из двух интервалов, на выходе канала. Плата имитирует лишь состояние нагрузок, но при этом не содержит их. Сами нагрузки располагаются на стенде отдельно в блоке нагрузок. Так же стоит сказать об индикации, плата не содержит элементов, служащих для индикации, но имеет выводы к ним. Блок, содержащий индикационные элементы находится так же на стенде и называется блок индикации.

Принцип работы платы заключается в следующем: проверяемый блок управления посылает на плату сигнал, который вызывает на ней изменение состояния нагрузки. Это изменение должно быть произведено в течение установленного промежутка времени. То есть после принятия сигнала с БУ, плате необходимо изменить сопротивление на выходном контакте блока.

С точки зрения протекающих на плате электрических процессов, изменение состояния нагрузки означает закрытие транзистора, который в свою очередь открывал путь току к цепи с нагрузками. Проверка изменения тока и напряжения,

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

как было сказано ранее, осуществляется с помощью подключаемых к БСИ приборов измерения.

Выводы по разделу один

В данном разделе был рассмотрен модернизируемый стенд проверки параметров. Был приведен краткий обзор его характеристик. В ходе описания данного изделия была изучена документация относительно условий эксплуатации стенда, видов проверок, осуществляемых на нем и прочего. Так же была изучена документация относительно проверяемого блока и характеристик, которыми он должен обладать.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

2 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Техническим заданием к данной дипломной работе является разработка платы управления модуля нагрузок стенда проверки параметров электрических сигналов.

Разрабатываемая плата должна обеспечивать:

- обработку управляющих сигналов для управления нагрузками (управления сопротивлением);
- подключение к системе БТШУ-1-2Б соответствующих нагрузок в качестве имитаторов датчиков и исполнительных элементов;
- приём и обработку 4 сигналов «Пуск», формируемых блоком управления БТШУ-1-2Б. Характеристики сигнала «Пуск» приведены в таблице 1;

Таблица 1 – Характеристики сигнала «Пуск»

Характеристика	не менее	не более	исходное
Напряжение, В	8	10	≤ 2

– наличие 4 режимов блока управления нагрузками: «Заряжено», «Разряжено», «Управление», «Отключено». Величина нагрузки в зависимости от режима блока управления нагрузками представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Режимы блока управления нагрузками

Режим блока управления нагрузками	Значение, Ом
Заряжено	3,9
Разряжено	100
Управление	2/1000
Отключено	1000

- приём и обработку сигналов, формируемых микроконтроллером для сброса состояния нагрузок по истечении определенного промежутка времени (64 мс) согласно техническим условиям блока БТШУ-1-2Б;

- наличие выводов для индикации состояния соответствующих нагрузок;
- корректную работу и сохранение требуемых характеристик компонентов в температурном диапазоне $-60\div+70^{\circ}\text{C}$;
- питание микросхем, входящих в состав платы. Микросхемы могут питаться напряжениями на уровне 12 В и 5 В;
- плата должна обрабатывать сигнал сброса (инициирующий сброс счётчиков и отключение нагрузок);
- работоспособность и сохранение эксплуатационных и технических характеристик при номинальном напряжении сети, а также при воздействии неконтролируемых изменений сети;

Как было сказано ранее, разрабатываемая плата должна обрабатывать управляющие сигналы для управления нагрузками; сигналы, приходящие с микроконтроллера, для сброса нагрузок по истечении времени; сигнал сброса. Перечислим конкретные сигналы и их функции:

1. «2кГц» – импульсный сигнал, принимаемый с микроконтроллера для формирования сигнала сброса по прошествии 60 мс. Данный сигнал обрабатывается счетчиками, подключенными по схеме делителя частоты.
2. «E902» – сигнал, который разрешает работу счетчиков, участвующих в формировании сигнала сброса по прошествии 60 мс.
3. «Reset» – сигнал сброса, инициирующий немедленное обнуление счетчиков и отключение нагрузок.
4. «Заряжено» – сигнал установки всех нагрузок в 3,9 Ом.
5. «Разряжено» – сигнал установки всех нагрузок в 100 Ом.
6. «Вкл.100» – сигнал, который устанавливает номиналы разряженных нагрузок в 100 Ом. Если этот сигнал отсутствует, то разряженные нагрузки будут иметь значение сопротивления порядка 1 кОм.
7. «Вкл.Упр. 1» ... «Вкл.Упр. 4» – сигналы, устанавливающие нагрузки 1...4 в 2 Ом.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

8. «Вкл.Упр. 1 Реле» ... «Вкл. Упр. 4 Реле» – сигналы, которые приходят одновременно с предыдущими сигналами и выставляют номиналы заряженных нагрузок 1...4 с 3,9 Ом в 2 Ом.

9. «Откл.Упр. 1»... «Откл.Упр. 4» – сигналы, устанавливающие нагрузки 1...4 в 1 кОм.

При разработке платы управления модулем нагрузок так же необходимо учесть, что плата должна состоять из стандартных отечественных деталей, производящихся серийно, а также иметь возможность замены составных частей без каких-либо доработок платы.

Вывод по разделу два

В результате проведенного анализа технического задания по разработке платы управления модуля нагрузок были сделаны следующие выводы:

– необходимо провести анализ отечественной элементной базы и выявить компоненты, отвечающие вышеизложенным требованиям для применения в проектировании платы;

– плата должна иметь контактные соединения для обеспечения питания микросхем, входящих в её состав;

– в плате должны быть предусмотрены контактные соединения для связи выводов проверяемого блока с выводами блока нагрузок, находящегося на стенде;

– плата должна иметь 4 режима управления блоком нагрузок: «Заряжено», «Разряжено», «Управление», «Отключено». В режиме «Заряжено» все 4 нагрузки должны быть выставлены в 3,9 Ом, в режиме «Разряжено» - 100 Ом, в режиме «Отключено» - 1 кОм. Режим «Управление» должен обеспечивать включение или отключение нагрузок для проверки;

– плата должна обрабатывать двадцать два сигнала, перечень которых приведён выше в разделе, посвящённом формулировке технического задания;

– плата должна иметь выводы для индикации состояния нагрузок;

– входные сигналы с микроконтроллера необходимо согласовать по уровню с принимающими их микросхемами платы;

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

– плата должна включать в себя реализацию комплекса схемотехнических и конструктивных решений по обеспечению помехозащищённости изделия;

Конечная цель данной работы это разработка конструкторской документации на плату управления модуля нагрузок СПП, состоящая из электрической принципиальной схемы платы, перечня задействованных в схеме элементов и пояснительной записки, содержащей обоснование принятых в ходе разработки технических решений. Разработка конструкторской документации осуществляется в соответствии с ГОСТ 2-102–68.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

3 ТЕХНИЧЕСКАЯ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ РАЗРАБОТКА ПЛАТЫ УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЯ НАГРУЗОК

3.1 Разработка структурной схемы платы

Для проектирования новой платы необходимо разобраться в том, из каких блоков и узлов она должна состоять. Для реализации этого исследовалась старая плата модуля управления нагрузок.

На основании проведенного исследования была построена структурная схема. Структурная схема – это совокупность элементарных звеньев объекта и связей между ними, один из видов графической модели [6]. Данная схема служит для отражения общей структуры устройства, то есть основных блоков и узлов, связывающих эти блоки. Из структурной схемы становится понятно, что делает устройство и как связаны процессы, происходящие между частями устройства.

После анализа структуры платы была получена следующая схема представленная на рисунке 2.



Рисунок 2 – Структурная схема платы

Данная структурная схема состоит из 10 блоков. БТШУ 1-2Б – это проверяемый блок. Блоки нагрузок и индикации находятся вне платы, на самом стенде.

В качестве компьютера выступает микроконтроллер, входящий в состав стенда. А уже к микроконтроллеру для задачи режима присоединяют компьютер.

Блок счета – это блок, который принимает сигналы тактирования от микроконтроллера и разрешения работы. Он обрабатывает сигнал тактирования. Под обработкой понимается деление частоты импульсного сигнала для задания времени сброса.

Блок первичной обработки управляющих сигналов состоит из контактов с сигналами, которые инвертируются и подаются на общую шину. Конкретные сигналы были описаны в техническом задании выше.

Формирователь состояния нагрузок подразумевает под собой связанные логические схемы, выводы которых подаются на простейшее устройство с памятью – триггер. Триггерами называют большой класс электронных устройств, обладающих способностью длительно находиться в одном из двух или более устойчивых состояний и чередовать их под воздействием внешних сигналов. Каждое состояние триггера легко распознается по значению выходного напряжения [27]. Триггер задает состояние для нагрузки. Причем используются два выходных сигнала триггера: один - для индикации, второй – для непосредственной имитации состояния нагрузки.

Далее сигналы от триггера поступают на цепь индикации и каскад усиления мощности. Цепь индикации необходима для срабатывания внешнего индикационного устройства. Для того чтобы повысить уровень сигнала с выхода триггера, идущего на нагрузку используются усилительные транзисторные каскады.

Схема чтения предназначена для считывания сигнала подаваемого блоком БТШУ 1-2Б на нагрузки. Она приводит этот сигнал к таким уровням напряжения, которые обеспечивают их совместимость с работой формирователя состояния нагрузок. Другими словами схема чтения как бы является датчиком того, что на

нагрузку пришел сигнал и формирователю необходимо немедленно изменить её состояние.

3.2 Подбор элементной базы

Согласно техническому заданию разрабатываемая плата должна быть построена на основе отечественной элементной базы выпускаемой серийно. Для выполнения этого условия была найдена соответствующая литература.

За основу исследования отечественных компонентов была взята книга «Динамика радиоэлектроники» под редакцией Ю.И. Борисова, рассказывающая о последних поколениях элементов производимых в наши дни. В конструкторском бюро Новосибирского завода полупроводниковых приборов были проведены исследования по разработке конструкции и технологии изготовления интегральных микросхем на КМОП-транзисторах, способных сохранять работоспособность при изменении питающего напряжения в диапазоне от 3 до 15 В. Значения токов нагрузки были повышены до 0,25 мА [5]. На основании проведённой работы была разработана серия 564. Она получила широкое распространение в аппаратуре, где основными требованиями является малое потребление энергии.

В таблице 3 приведены характеристики 564 серии [34].

Таблица 3 – Основные параметры серии 564

Номинальное напряжение питания, В	3...15
При напряжении питания 9 В:	
Напряжение низкого уровня, В	0,02...0,05
Напряжение высокого уровня, В	8,6...8,8
Диапазон рабочих температур, °С	-60...+125

Приведенные в таблице характеристики свидетельствуют о том, что элементы 564 серии соответствуют требованиям технического задания по разработке платы

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

управления модуля нагрузок. Для более точной оценки эффективности выбранной серии элементов приведем характеристики зарубежного аналога и сравним их с отечественным. Зарубежным аналогом схем 564 серии является серия CD4000. Характеристики этой серии представлены в таблице 4 [37].

Таблица 4 – Основные параметры серии CD4000

Номинальное напряжение питания, В	-0,5...20
При напряжении питания 10 В:	
Напряжение низкого уровня, В	-2,8...-0,07
Напряжение высокого уровня, В	0,07...2,8
Диапазон рабочих температур, °С	-55...+125

Как видно, по характеристикам зарубежные элементы имеют диапазон питания шире отечественных, но при этом оба диапазона удовлетворяют требованию технического задания. Так же стоит отметить, что отечественные элементы могут работать при более низких температурах. Это является большим плюсом для платы, которую необходимо разработать.

В конечном счёте, было решено выбрать основой для разработки платы серию 564. Это было сделано по следующему ряду причин:

1. Напряжение питания микросхем по техническому заданию должно быть на уровнях 5 и 12 В, микросхемы серии 564 поддерживают режимы питания 3...15 В.
2. Диапазон рабочих температур по техническому заданию -60...+70 °С, микросхемы серии 564 поддерживают диапазон -60...+125 °С.
3. Микросхемы 564 серии являются отечественными и производятся серийно, что выгодно с экономической точки зрения для предприятия.

3.3 Разработка принципиальной электрической схемы

Разработка принципиальной электрической схемы состоит 7 частей. К этим частям относятся:

1. Блок первичной обработки управляющих сигналов.
2. Блок счета.
3. Формирователь состояния нагрузки.
4. Цепь индикации.
5. Каскад усиления мощности.
6. Схема чтения.
7. Схема питания.

Плата разрабатывается, опираясь на предыдущую разработку и структурную схему, полученную ранее. Для разработки применяются микросхемы ранее выбранной 564 серии.

3.3.1 Блок первичной обработки управляющих сигналов

Блок задания режима нагрузок состоит из нескольких сигналов подающихся на шину данных. Предыдущая разработка имела в составе схемы два дополнительных обрабатываемых сигнала «Режим КУ» и «Вкл. ТШУ», в настоящее время эти контакты не используются, поэтому при проектировании новой платы от их внедрения в неё было решено отказаться.

При поступлении на плату сигналы обрабатываются. Для всех сигналов блока задания режимов нагрузки эта обработка одинаковая, поэтому достаточно привести схему обработки одного из таких сигналов. На рисунке 3 изображена схема обработки сигнала «Заряжено».

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

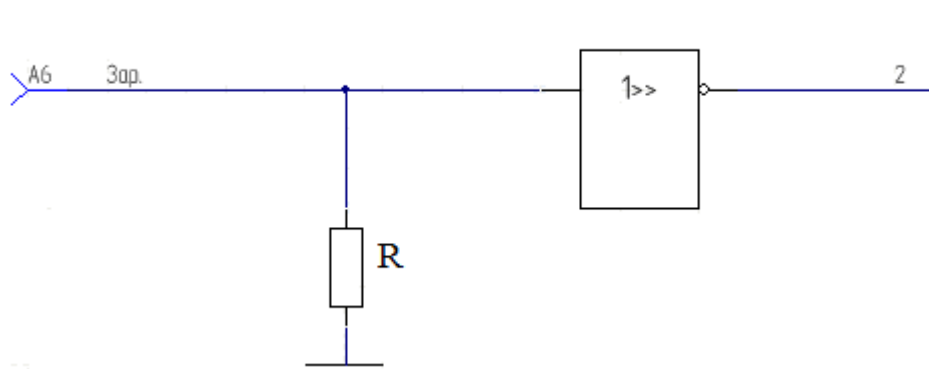


Рисунок 3 - Схема обработки сигнала «Заряжено»

Прежде чем попасть на шину данных сигналы инвертируются. Для инвертирования воспользуемся микросхемой 564ЛН2 содержащей логические инверторы.

564ЛН2 – цифровая микросхема, построенная на транзисторной логике с шестью логическими элементами НЕ. Производится в керамометаллическом корпусе.

На рисунке 4 представлено изображение микросхемы 564ЛН2.

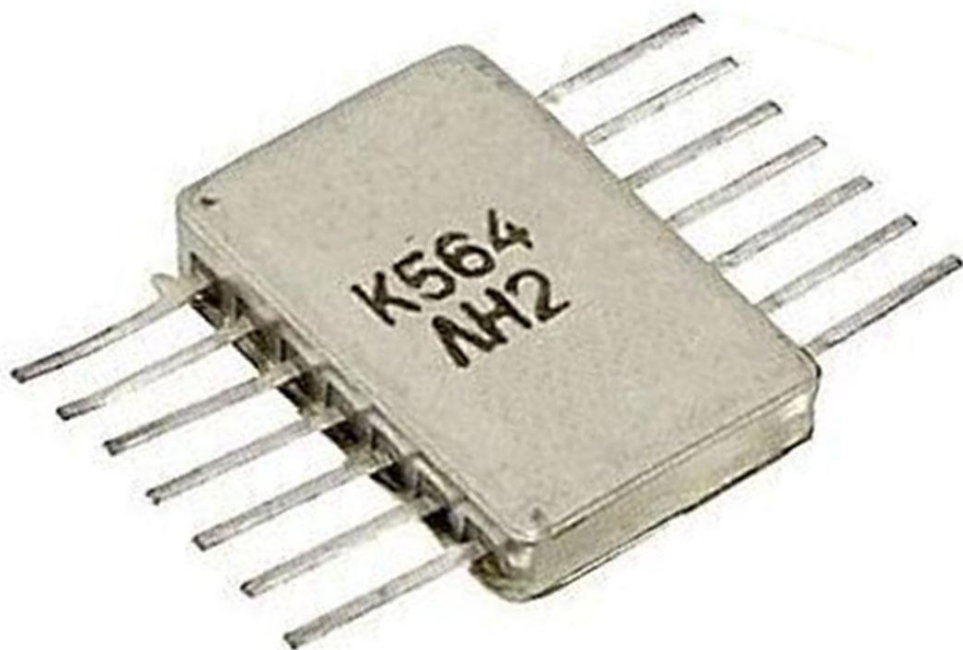


Рисунок 4 – Микросхема 564ЛН2

Согласно руководству по эксплуатации микросхемы [46], она имеет характеристики, приведенные в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики микросхемы 564ЛН2

Название характеристики, единица и режим измерения	Обозначение	Норма		Температура среды, °С
		больше	меньше	
Напряжение на выходе низшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}; 10,0\text{ В}$	U_{OL}	–	0,01	-60
		–	0,01	+25±10
		–	0,05	+125
Напряжение на выходе высшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}$	U_{OH}	4,99	–	-60
		4,99	–	+25±10
		4,95	–	+125
$U_{cc}=10,0\text{ В}$		9,99	–	-60
		9,99	–	+25±10
		9,95	–	+125
Максимальное напряжение на выходе низшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}; 10\text{ В}$	U_{OLmax}	–	0,95	-60...+125
		–	2,9	-60...+125
Минимальное напряжение на выходе высшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}; 10\text{ В}$	U_{OHmin}	3,6	–	-60...+125
		7,2	–	-60...+125
Ток на входе низшего значения, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{IL}	–	-0,1	-60...+125

Продолжение таблицы 5

Ток на входе высшего значения, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{IH}	–	0,1	-60...+125
Ток на выходе низшего значения, мА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{OL}	2,7	–	--60
		2,3	–	+25±10
		1,6	–	+125
при $U_{cc}=10,0$ В	I_{OL}	6,6	–	-60
		5,3	–	+25±10
		3,25	–	+125
Ток на выходе высшего значения, мА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{OH}	-1,2	–	-60
		-1,0	–	+25±10
		-0,7	–	+125
при $U_{cc}=10,0$ В	I_{OH}	-0,62	–	-60
		-0,5	–	+25±10
		-0,35	–	+125
Ток потребления, мкА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{cc}	–	0,6	-60
		–	0,6	+25±10
		–	30	+125
при $U_{cc}=10,0$ В	I_{cc}	–	1,0	-60
		–	1,0	+25±10
		–	60	+125
при $U_{cc}=15,0$ В	I_{cc}	–	2,0	-60
		–	2,0	+25±10
		–	120	+125
Ток на выходе низшего значения в состоянии Выключено, мкА	I_{OZL}	–	1,5	-60
		–	0,1	+25±10
		–	1,5	+125

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

270304.2018.022.00 ПЗ

Лист

26

Окончание таблицы 5

Ток на выходе высшего значения в состоянии Выключено, мкА	I_{OZH}	–	-1,5	-60
		–	-0,1	+25±10
		–	-1,5	+125
Продолжительность промедления распределения сигнала при включении, нс, при $U_{cc}=5,0$ В	t_{PHL}	–	300	-60
		–	300	+25±10
		–	640	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		–	180	-60
		–	180	+25±10
		–	310	+125
Продолжительность промедления распределения сигнала при выключении, нс, при $U_{cc}=5,0$ В	t_{PLH}	–	600	-60
		–	600	+25±10
		–	750	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		–	230	-60
		–	230	+25±10
		–	750	+125

Микросхема 564ЛН2 содержит шесть инверторов. Количество входных сигналов, формирующих состояние нагрузки – девять. Следовательно, для того чтобы их инвертировать понадобится две микросхемы 564ЛН2.

Так же для согласования по уровню микросхем и микроконтроллера используются согласующие резисторы. Обычно для микросхем выбирают резисторы номиналом 10 кОм. Для экономии места на плате был выбран блок резисторов Б19К по 10 кОм каждый. Характеристики данного блока приведены в таблице 6 в соответствии с описанием блока [35].

Таблица 6 – Характеристики Б19К

Номинальная мощность рассеяния блока, Вт	0,3
Допустимая мощность рассеяния резистора блока, Вт	0,075
Количество резисторов в блоке	7
Допустимое отклонение сопротивления от номинальной величины, %	±5, ±10

Блок резисторов содержит семь резисторов. Количество входных сигналов, формирующих состояние нагрузки девять. Следовательно, для того чтобы их инвертировать понадобится два блока резисторов Б19К, содержащих резисторы по 10 кОм.

Для реализации режима «Управления» используется реле РЭС 47, которое замыкается при подаче сигнала включения соответствующей нагрузки и размыкается при подаче сигнала отключения. По средствам реле происходит замыкание дополнительного контура с нагрузками, что позволяет получить эквивалентное сопротивление 2 Ом. На рисунке 5 представлено изображение реле РЭС 47.



Рисунок 5 – Реле РЭС 47

Реле РЭС 47 – герметичное, двухпозиционное, одностабильное, с двумя переключающими контактами, питаемое постоянным током, предназначенное для коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока частотой 50 – 2500 Гц. Согласно руководству по эксплуатации [28] реле обладает свойствами представленными в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики реле РЭС 47

Рабочее напряжение, В	27±3
Сопротивление обмотки, Ом	650
Ток срабатывания, мА	21,5
Ток отпускания, мА	2,5
Время срабатывания, с, не более	5

Так же это реле используется для формирования сигнала «Вкл. 100», означающего переключение разряженной нагрузки с 1 кОм на 100 Ом.

Диод 2Д10ДБ применяется в цепи с реле для того, чтобы избежать протекания тока в обратную сторону, так как на конце цепи имеются конденсаторы.

Для имитации четырёх нагрузок используется пять диодов 2Д10ДБ и шесть реле РЭС 47. Два из них для включения 100 Ом в цепь нагрузки, а остальные четыре для включения 2 Ом.

3.3.2 Блок счёта и сигнал сброса

Блок счета формирует сигнал для сброса состояния нагрузки по прошествии 64 мс. Для реализации данного блока используются два счетчика собранные по схеме делителя частоты. Выберем в качестве такого счетчика для платы управления микросхему 564ИЕ10.

564ИЕ10 – цифровая микросхема, построенная на транзисторной логике с функционалом двух четырехразрядных счетчика. Производятся в керамометаллическом корпусе. На рисунке 6 представлено изображение микросхемы 564ИЕ10.

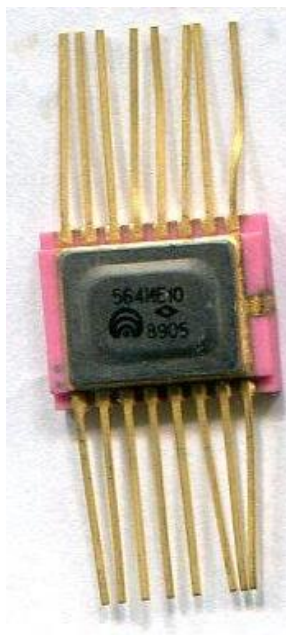


Рисунок 6 – Микросхема 564IE10

Согласно руководству по эксплуатации микросхемы [47] она имеет характеристики, приведенные в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики микросхемы 564IE10

Название характеристики, единица и режим измерения	Обозначение	Норма		Температура среды, °C
		больше	меньше	
Напряжение на выходе низшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}; 10,0\text{ В}$	U_{OL}	–	0,01	-60
		–	0,01	+25±10
		–	0,05	+125
Напряжение на выходе высшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}$	U_{OH}	4,99	–	-60
		4,99	–	+25±10
		4,95	–	+125
$U_{cc}=10,0\text{ В}$		9,99	–	-60
		9,99	–	+25±10
		9,99	–	+125

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

270304.2018.022.00 ПЗ

Лист

30

Продолжение таблицы 8


Максимальное напряжение на выходе низшего значения, В, при $U_{cc}=5,0$ В; 10 В	U_{OLmax}	–	0,8	-60...+125
		–	1,0	-60...+125
Минимальное напряжение на выходе высшего значения, В, при $U_{cc}=5,0$ В; 10 В	U_{OHmin}	4,2	–	-60...+125
		9,0	–	-60...+125
Ток на входе низшего значения, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{IL}	–	-0,1	-60...+125
Ток на входе высшего значения, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{IH}	–	0,1	-60...+125
Ток на выходе низшего значения, мА, при $U_{cc}=5,0$ В при $U_{cc}=10,0$ В	I_{OL}	0,5	–	-60...+25
		0,28	–	+25...+125
		1,2	–	-60
		1,0	–	+25±10
Ток на выходе высшего значения, мА, при $U_{cc}=5,0$ В при $U_{cc}=10,0$ В	I_{OH}	0,7	–	+125
		-1,2	–	-60
		-1,0	–	+25±10
		-0,7	–	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		-1,2	–	-60
		-1,0	–	+25±10
		-0,7	–	+125

Окончание таблицы 8

Ток потребления, мкА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{cc}	–	5,0	-60
		–	5,0	+25±10
		–	150	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		–	10,0	-60
		–	10,0	+25±10
		–	300	+125
при $U_{cc}=15,0$ В		–	20,0	-60
		–	20,0	+25±10
		–	600	+125
Продолжительность задержки при включении (выключении), нс, при $U_{cc}=5,0$ В	t_{PHL} (t_{PLH})	–	700	-60
		–	700	+25±10
		–	910	+125
$U_{cc}=10,0$ В		–	330	-60
		–	330	+25±10
		–	430	+125

Как видно из таблицы, микросхема 564ИЕ10 соответствует предъявляемым к ней требованиям.

Приведем таблицу истинности микросхем 564ИЕ10. В таблице 9 приведены состояния логических выходов счетчика при различных входных сигналах. Для таблицы введены следующие обозначения:

1. Н – высокий уровень.
2. L – низкий уровень.
3. X – низкий или высокий уровень.
4. N – число от 0 до 15 в двоичном коде, соответствующее числу переходов из «0» в «1» по входу «С».
5.  – фронт импульса входного напряжения.

6.  – спад импульса входного напряжения.

Таблица 9 – Состояния входов и выходов счетчика

Состояние входа			Состояние выхода			
С	Е	Р	1	2	4	8
Х	Х	Н	L	L	L	L
	Н	L	N			
L		L	N			
	Х	L	Сохраняется предыдущее состояние			
Х		L				
	L	L				
Н		L				

Для микросхемы 564ИЕ10 предусмотрим так же подключенный к питанию конденсатор С5 емкостью 0,1 мкФ, для того чтобы в случае отключения питания счетчик смог завершить один цикл работы. Выберем в этих целях конденсатор К10-17, поскольку данный конденсатор работает при напряжении до 50 Вольт и при температурах, соответствующих техническому заданию.

Для блока счета необходимо 2 счетчика. Микросхема 564ИЕ10 содержит два счетчика. Тогда для блока счета понадобится одна такая микросхема и один конденсатор.

Для формирования сигнала сброса необходимо выполнение двух условий: получение сигнала «Reset» от микроконтроллера или формирование сигнала с выхода окончного счетчика. Для реализации этой логики необходимо воспользоваться логическим элементом «И». Этим элементом будет выступать часть микросхемы 564ЛА7. Микросхема содержит четыре логических элемента «2И – НЕ ». Для счетчика необходима одна такая микросхема. На рисунке 7 представлено изображение микросхемы 564ЛА7.



Рисунок 7 – Микросхема 564ЛА7

Её характеристики согласно спецификации [29] представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристики микросхемы 564ЛА7

Название характеристики, единица и режим измерения	Обозначение	Норма		Температура среды, °С
		больше	меньше	
Выходное напряжение низкого уровня, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}; 10,0\text{ В}$	U_{OL}	–	0,01	+25±10

Продолжение таблицы 10

Выходное напряжение высокого уровня, В, при $U_{cc}=5,0$ В	U_{OH}	4,99	–	$+25\pm 10$
при $U_{cc}=10,0$ В		9,99	–	$+25\pm 10$
Максимальное выходное напряжение низкого уровня, В, при $U_{cc}=5,0$ В; 10 В	U_{OLmax}	–	0,95	$-60\dots+125$
		–	2,90	$-60\dots+125$
Минимальное выходное напряжение высокого уровня, В, при $U_{cc}=5,0$ В; 10 В	U_{OHmin}	3,60	–	$-60\dots+125$
		7,20	–	$-60\dots+125$
Входной ток низкого уровня, мкА, при $U_{cc}=10,0$ В; 15,0 В	I_{IL}	–	-0,05	$-60\dots+125$
		–	-0,1	$+25\pm 10$
Входной ток высокого уровня, мкА, при $U_{cc}=10,0$ В; 15,0 В	I_{IH}	–	0,05	$-60\dots+125$
		–	0,1	$+25\pm 10$
Выходной ток низкого уровня, мА, при $U_{cc}=5,0$ В; при $U_{cc}=10,0$ В	I_{OL}	0,25	–	$+25\pm 10$
		0,45	–	$+25\pm 10$
Выходной ток высокого уровня, мА, при $U_{cc}=5,0$ В при $U_{cc}=10,0$ В	I_{OH}	-0,25	–	$+25\pm 10$
		-0,65	–	$+25\pm 10$

Окончание таблицы 10

Ток потребления при низком и высоком уровнях напряжения, мкА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{CCL}, I_{CCH}	–	0,05	+25±10	
		–	0,05	-60	
		–	3,00	+125	
при $U_{cc}=10,0$ В		–	0,1	+25±10	
		–	0,1	-60	
		–	6,0	+125	
при $U_{cc}=15,0$ В		–	2,0	-60	
Время задержки распространения при включении, нс, при $U_{cc}=5,0$ В		t_{PHL}	–	160	+25±10
			–	160	-60
	–		220	+125	
$U_{cc}=10,0$ В	–		160	+25±10	
	–		160	-60	
	–		210	+125	
Время задержки распространения при выключении, нс, при $U_{cc}=5,0$ В	t_{PLH}		–	160	+25±10
			–	160	-60
			–	210	+125
$U_{cc}=10,0$ В		–	80	+25±10	
		–	80	-60	
		–	110	+125	
Входная ёмкость, пФ		C_1	–	11	+25±10

Для реализации вышеописанной логики потребуется одна микросхема 564ИЕ10.

Смоделируем блок счёта для проверки правильности его работы. Моделирование блока было произведено в программе Proteus Design Suite.

Proteus Design Suite – пакет программ для автоматизированного проектирования электронных схем [7]. Пакет состоит из системы схемотехнического моделирования, базирующейся на основе моделей электронных компонентов. Среди достоинств Proteus можно отметить моделирование работы программируемых устройств: микроконтроллеров, микропроцессоров и прочих. Список компонентов и их описание содержатся в библиотеке.

Схема моделирования блока счёта в программе Proteus представлена на рисунке 8.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

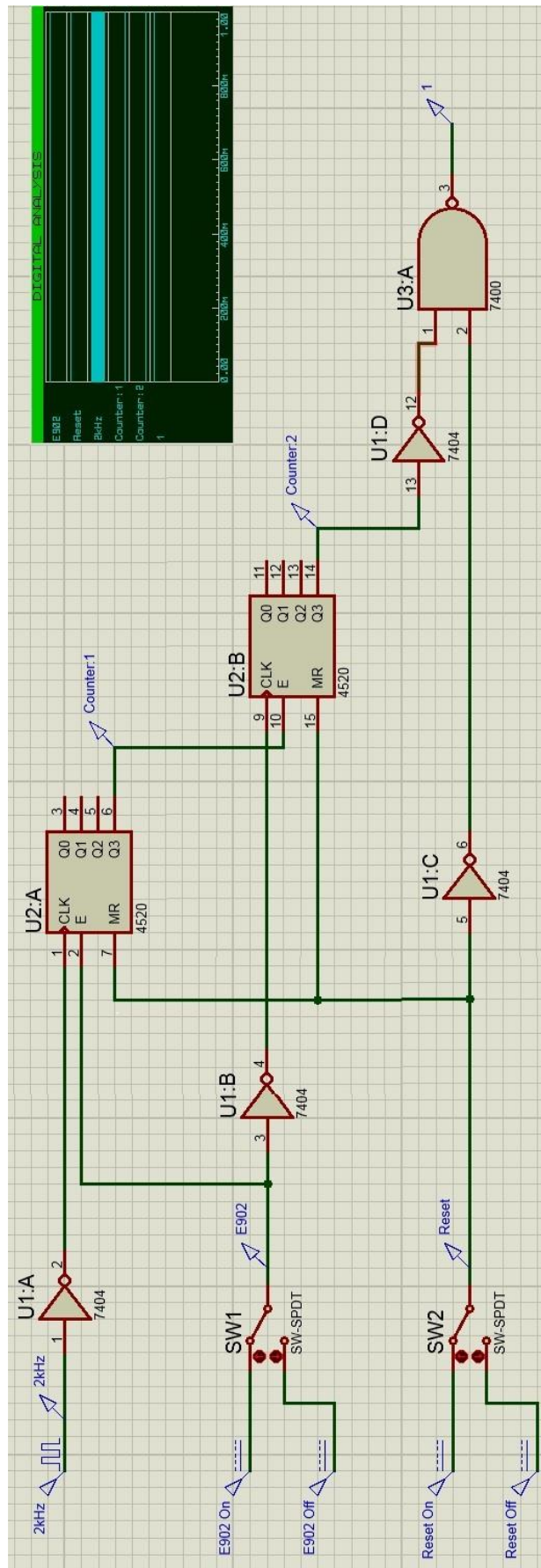


Рисунок 8 – Схема моделирования блока счёта

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

270304.2018.022.00 ПЗ

Лист

38

После моделирования были получены графики работы блока счета при поступлении сигнала «E902» и сигнала «Reset». Полученные графики изображены на рисунках 9 и 10.

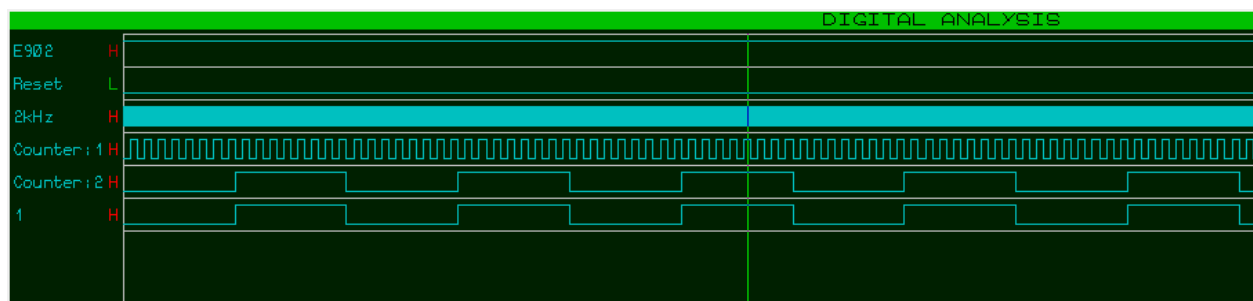


Рисунок 9 – Работа блока счета при поступлении сигнала E902

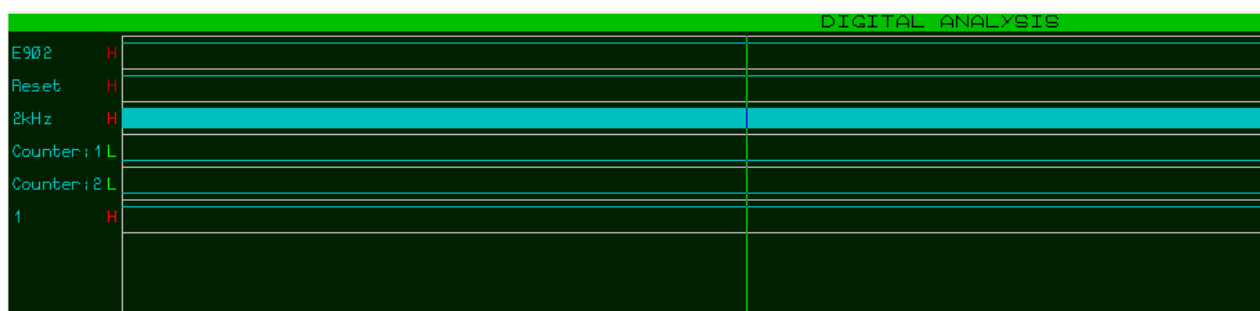


Рисунок 10 – Работа блока счета при поступлении сигнала Сброс

Проанализировав, графики можно сделать следующие выводы:

1. При поступлении сигнала «E902» счетчики начинают работать и делят частоту сигнала 2кГц на 128. Рассчитаем время одного такта такого сигнала по формуле (1):

$$T = \frac{1}{f/128}, \quad (1)$$

где f – частота, кГц .

$$T = \frac{1}{2000/128} = 64 \text{ (мс)}$$

Полученное значение удовлетворяет требованию ТЗ.

2. При поступлении сигнала «Reset» счетчики обнуляются и выход блока счета становится постоянным, установленным на высоком уровне.

3.3.3 Формирователь состояния нагрузки

Для формирования состояния нагрузки, как было сказано ранее, используется триггер – простейшее устройство с памятью. Выберем в качестве такого устройства триггер на базе микросхемы 564ТМ2. Микросхема 564ТМ2 содержит два триггера D типа, производится в керамометаллическом корпусе. На рисунке 11 представлено изображение микросхемы 564ТМ2.

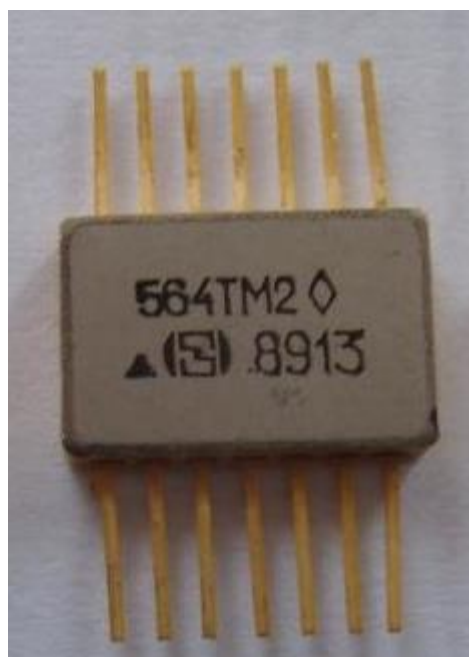


Рисунок 11 – Микросхема 564ТМ2

Формирователь состояния нагрузок подразумевает под собой связанные логические схемы, выводы которых подаются на простейшее устройство с памятью – триггер. Триггер задает состояние для нагрузки. Причем используются два выходных сигнала триггера: один - для индикации, второй – для непосредственной имитации состояния нагрузки.

Её характеристики согласно спецификации [48] представлены в таблице 11.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Таблица 11 – Характеристики микросхемы 564ТМ2

Название характеристики, единица и режим измерения	Обозначение	Норма		Температура среды, °С
		больше	меньше	
Напряжение на выходе низшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}; 10,0\text{ В}$	U_{OL}	–	0,01	-60
		–	0,01	+25±10
		–	0,05	+125
Напряжение на выходе высшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}$	U_{OH}	4,99	–	-60
		4,99	–	+25±10
		4,95	–	+125
$U_{cc}=10,0\text{ В}$		9,99	–	-60
		9,99	–	+25±10
		9,95	–	+125
Максимальное напряжение на выходе низшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}; 10\text{ В}$	U_{OLmax}	–	0,8	-60...+125
		–	1,0	-60...+125
Минимальное напряжение на выходе высшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}; 10\text{ В}$	U_{OHmin}	4,2	–	-60...+125
		9,0	–	-60...+125
Ток на входе низшего значения, мкА, при $U_{cc}=15,0\text{ В}$	I_{IL}	–	-0,1	-60...+125
Ток на входе высшего значения, мкА, при $U_{cc}=15,0\text{ В}$	I_{IH}	–	0,1	-60...+125

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

270304.2018.022.00 ПЗ

Лист

41

Продолжение таблицы 11

Ток на выходе низшего значения, мА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{OL}	0,6	–	--60
		0,5	–	+25±10
		0,3	–	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		1,2	–	-60
		1,0	–	+25±10
		0,7	–	+125
Ток на выходе высшего значения, мА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{OH}	-0,6	–	-60
		-0,5	–	+25±10
		-0,3	–	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		-1,2	–	-60
		-1,0	–	+25±10
		-0,7	–	+125
Ток потребления, мкА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{cc}	–	1,0	-60
		–	1,0	+25±10
		–	30	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		–	2,0	-60
		–	2,0	+25±10
		–	60	+125
при $U_{cc}=15,0$ В		–	4,0	-60
		–	4,0	+25±10
		–	120	+125
Ток потребления в динамическом режиме, мА, $U_{cc}=10,0$ В	I_{occ}	–	0,17	+25±10

Окончание таблицы 11

Продолжительность промедления распределения сигнала при включении, нс, при $U_{cc}=5,0$ В	t_{PHL}	–	420	-60
		–	420	+25±10
		–	590	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		–	150	-60
		–	150	+25±10
		–	210	+125
Продолжительность промедления распределения сигнала при выключении, нс, при $U_{cc}=5,0$ В	t_{PLH}	–	420	-60
		–	420	+25±10
		–	590	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		–	150	-60
		–	150	+25±10
		–	210	+125
Входная ёмкость, пФ	C_i	–	7,5	+25±10

Так же приведем таблицу истинности для данного триггера. Для данной таблицы введены следующие обозначения:

1. L – низкий уровень.
2. H – высокий уровень.
3. X – любое состояние.
4. ↑ – переход с низкого уровня на высокий.
5. ↓ – переход с высокого уровня на низкий.

В таблице 12 представлены данные о состоянии выходов D-триггера при различных входных сигналах.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Таблица 12 – Состояния триггера

C	D	R	S	Q	\bar{Q}
↑	L	L	L	L	H
↑	H	L	L	H	L
↓	X	L	L	Q	\bar{Q}
X	X	H	L	L	H
X	X	L	H	H	L
X	X	H	H	H	H

Исходя из таблицы истинности триггера, для формирования состояния нагрузки вход S заземляется (подается логический ноль), на вход D подается 5 вольт (логическая единица). На вход C подается сигнал «Заряжено» и «Вкл. Упр. 1...4», а на вход R – сигналы «Счёт», «Разряжено», «Сброс», «Откл. Упр. 1...4» а также сигнал с нагрузки, который свидетельствует о том, что с блока БТШУ-1-2Б пришел сигнал «Пуск».

Теперь при поступлении положительного фронта триггер будет выставлять состояние выхода Q как высокое и сохранять его до поступления сигнала сброс.

Плате необходимо имитировать четыре нагрузки, поэтому понадобится две микросхемы 564ТМ2.

Для того чтобы все эти сигналы смогли прийти к триггеру перед ним ставятся логические элементы «И-НЕ». На рисунке 12 показана схема формирователя для нагрузки 1.

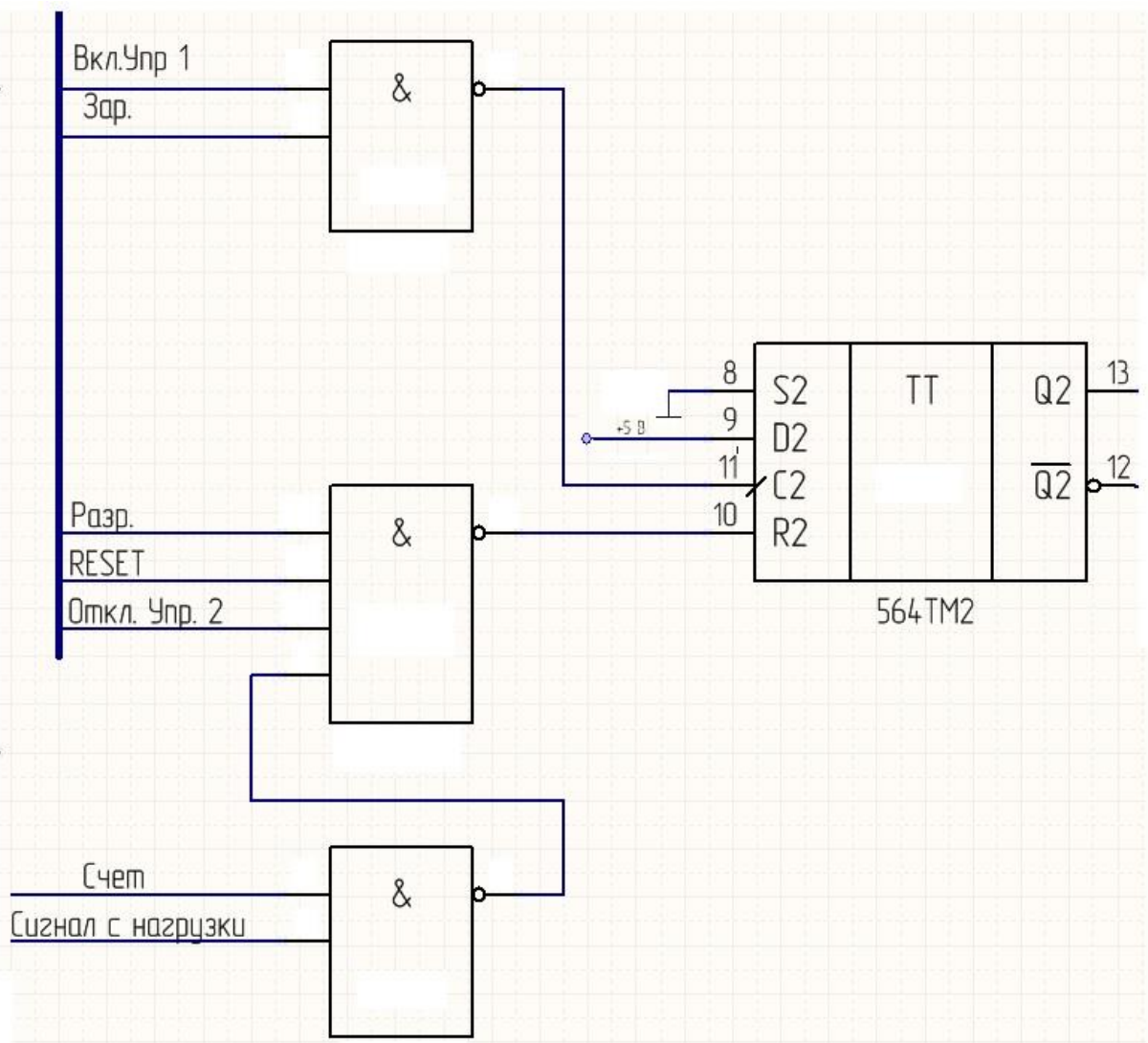


Рисунок 12 – Схема формирователя состояния нагрузки

Ранее в работе была использована микросхема 564ЛА7, так же воспользуемся ей для реализации формирователя состояния нагрузки. Напомним, что эта микросхема содержит четыре логических элемента «2И – НЕ». Поэтому понадобится ещё одна такая микросхема для имитации четырёх нагрузок.

Так же выберем для реализации микросхему 564ЛА8. Микросхема содержит два логических элемента «4И – НЕ». На рисунке 13 представлено изображение микросхемы 564ЛА8.

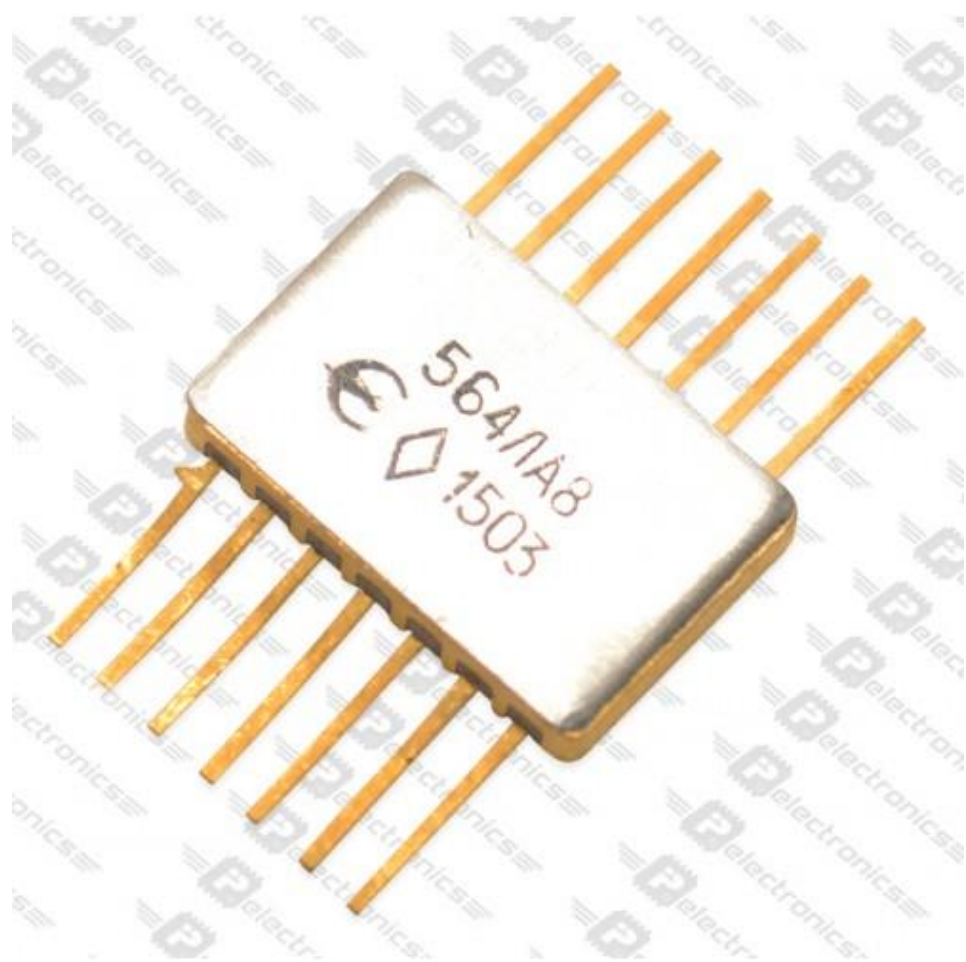


Рисунок 13 – Микросхема 564ЛА8

Её характеристики согласно спецификации [49] представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Характеристики микросхемы 564ЛА8

Название характеристики, единица и режим измерения	Обозначение	Норма		Температура среды, °С
		больше	меньше	
Напряжение на выходе низшего значения, В, при $U_{cc}=5,0\text{ В}; 10,0\text{ В}$	U_{OL}	–	0,01	+25±10

Продолжение таблицы 13

Напряжение на выходе высшего значения, В, при $U_{cc}=5,0$ В	U_{OH}	4,99	–	+25±10
при $U_{cc}=10,0$ В		9,99	–	+25±10
Максимальное напряжение на выходе низшего значения, В, при $U_{cc}=5,0$ В; 10 В	U_{OLmax}	–	0,95	-60...+125
		–	2,9	-60...+125
Минимальное напряжение на выходе высшего значения, В, при $U_{cc}=5,0$ В; 10 В	U_{OHmin}	3,6	–	-60...+125
		7,2	–	-60...+125
Ток на входе низшего значения, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{IL}	–	-0,05	-60...+125
Ток на входе высшего значения, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{IH}	–	0,1	+25±10
Ток на выходе низшего значения, мА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{OL}	0,12	–	+25±10
		при $U_{cc}=10,0$ В	0,22	–
Ток на выходе высшего значения, мА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{OH}	-0,25	–	+25±10
		при $U_{cc}=10,0$ В	-0,55	–

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

270304.2018.022.00 ПЗ

Лист

47

Окончание таблицы 13

Ток потребления, мкА, при $U_{cc}=5,0$ В	I_{cc}	–	0,05	-60	
		–	0,05	+25±10	
		–	3,0	+125	
при $U_{cc}=10,0$ В		–	0,1	-60	
		–	0,1	+25±10	
		–	6,0	+125	
при $U_{cc}=15,0$ В		–	2,0	+25±10	
		Продолжительность промедления распределения сигнала при включении, нс, при $U_{cc}=5,0$ В	–	160	-60
			–	160	+25±10
–	220		+125		
при $U_{cc}=10,0$ В	–	80	-60		
	–	80	+25±10		
	–	110	+125		
Продолжительность промедления распределения сигнала при выключении, нс, при $U_{cc}=5,0$ В	t_{PLH}	–	250	-60	
		–	250	+25±10	
		–	350	+125	
при $U_{cc}=10,0$ В		–	120	-60	
		–	120	+25±10	
		–	160	+125	
Входная ёмкость, пФ		C_i	–	12	+25±10

Так как микросхема 564ЛА8 содержит два логических элемента, то для реализации одного формирователя состояния нагрузки понадобится два таких элемента, а для формирования состояния четырёх нагрузок понадобится четыре.

3.3.4 Цепь индикации

Один из сигналов выхода триггера поступает на нагрузки, а второй на схему для индикации. Так как триггер работает от 5 вольт, то мощности его выходных сигналов не хватает для восприятия нагрузками и индикационным оборудованием.

Для обеспечения светодиода необходимым током и напряжением в предыдущей разработке была предложена схема, изображенная на рисунке 14.

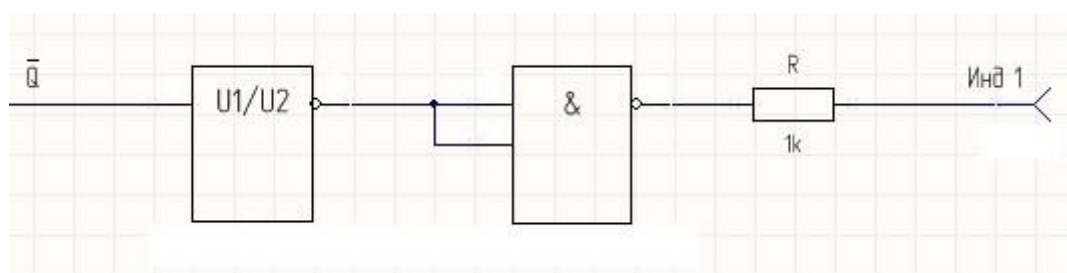


Рисунок 14 – Схема нормализации сигнала для индикации

Данная схема представляет из себя последовательное соединение преобразователя напряжения, элемента «И-НЕ» с открытым стоковым выходом и резистора для ограничения тока.

В качестве резисторов выберем блок резисторов Б19К, описание и характеристики которого приведены в пункте 3.3.1.

Преобразователь необходим для преобразования выходного напряжения триггера с уровня 5 вольт к уровню 12 вольт. В качестве такого элемента выберем микросхему 564ПУ8. Микросхема 564ПУ8 состоит из шести преобразователей высокого уровня без инверсии.

На рисунке 15 представлено изображение микросхемы 564ПУ8.

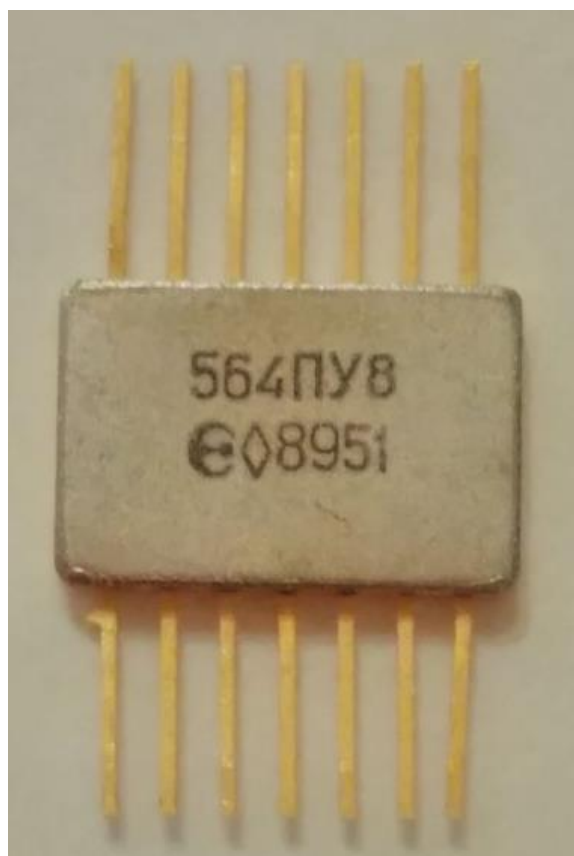


Рисунок 15 – Микросхема 564ПУ8

Её характеристики согласно спецификации [30] представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики микросхемы 564ПУ8

Название характеристики, единица и режим измерения	Обозначение	Норма		Температура среды, °С
		больше	меньше	
Выходное напряжение низкого уровня, В, при: $I_0 = 1,3 \text{ мА}$	U_{OL}	–	0,5	+25±10
		–	0,5	-60
		–	0,5	+125
$I_0 = 1,6 \text{ мА}$				
$I_0 = 0,9 \text{ мА}$				

Продолжение таблицы 14

Выходное напряжение высокого уровня, В, при: $I_0 = 1,3 \text{ мА}$	U_{OH}	11,5	–	+25±10
		11,5	–	-60
		11,5	–	+125
Ток потребления, мкА, при $U_{cc} = 12,0 \text{ В}$	I_{cc}	–	4000	+25±10
		–	6000	-60
		–	4000	+125
Входной ток низкого уровня, мкА, при $U_{cc} = 15,0 \text{ В}$	I_{IL}	–	-0,1	+25±10
Входной ток высокого уровня, мкА, при $U_{cc} = 15,0 \text{ В}$	I_{IH}	–	0,1	+25±10
Ток потребления в динамическом режиме, мкА, при $U_{cc} = 10,0 \text{ В}$	I_{occ}	–	0,35	+25±10
Время задержки распространения при выключении и включении, нс, при $U_{cc} = 12,0 \text{ В}$	t_{PHL} , t_{PLH}	–	110	+25±10
		–	110	-60
		–	150	+125
Входная ёмкость, пФ, при $U_{cc} = 12,0 \text{ В}$	C_1	–	0,35	+25±10

Индикация срабатывает в момент, когда на вход элемента приходит сигнал низкого уровня. Для реализации этого используется микросхема 564ЛА10 с открытым стоковым выходом.

Благодаря этому при попадании на входы логического нуля, на выходе формируется ток, обеспечивающий питание светодиода. Микросхема содержит два логических элемента «2И – НЕ».

На рисунке 16 представлено изображение микросхемы 564ЛА10.

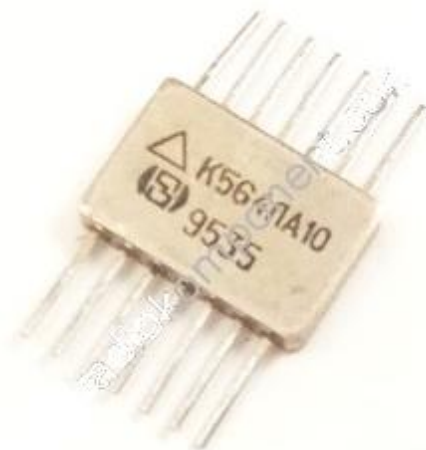


Рисунок 16 – Микросхема 564ЛА10

Её характеристики согласно спецификации [43] представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Характеристики микросхемы 564ЛА10

Название характеристики, единица и режим измерения	Обозначение	Норма		Температура среды, °С
		больше	меньше	
Максимальное выходное напряжение низкого уровня, В, при $U_{cc}=5,0$ В	U_{OLmax}	–	0,5	-60...+125
$U_{cc}=10,0$ В		–	1,0	-60...+125
$U_{cc}=15,0$ В		–	1,5	-60...+125

Продолжение таблицы 15

Входной ток низкого уровня, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{IL}	–	-0,1	+25±10
		–	-0,1	-60
		–	-1,0	+125
Входной ток высокого уровня, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{IH}	–	0,1	+25±10
		–	0,1	-60
		–	1,0	+125
Ток потребления, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В		–	4	+25±10
		–	4	-60
		–	120	+125
при $U_{cc}=10,0$ В	I_{cc}	–	2	+25±10
		–	2	-60
		–	60	+125
Выходной ток низкого уровня, мА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{OL}	16	–	+25±10
		21	–	-60
		12	–	+125
Ток утечки на выходе, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{LO}	–	2	+25±10
		–	2	-60
		–	20	+125
Ток утечки на выходе при воздействии помехи, мкА, при $U_{cc}=15,0$ В	I_{LOH}	–	2	+25±10
		–	2	-60
		–	20	+125

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

270304.2018.022.00 ПЗ

Лист

53

Окончание таблицы 15

Время задержки распространения при включении, нс, при $U_{cc}=5,0$ В	t_{PHL}	–	200	+25±10
		–	200	-60
		–	280	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		–	90	+25±10
		–	90	-60
		–	130	+125
Время задержки распространения при выключении, нс, при $U_{cc}=5,0$ В	t_{PLH}	–	200	+25±10
		–	200	-60
		–	280	+125
при $U_{cc}=10,0$ В		–	120	+25±10
		–	120	-60
		–	170	+125
Входная ёмкость, пФ	C_i	–	7,5	+25±10
Выходная ёмкость, пФ	C_o	–	70	+25±10

Для имитации четырёх нагрузок необходимо четыре преобразователя с низкого уровня на высокий, четыре элемента с открытым стоковым выходом и четыре резистора. Таким образом, нужна одна микросхема 564ПУ8, две микросхемы 564ЛА10 и один блок резисторов Б19К на 1 кОм. Характеристики всех перечисленных элементов приведены выше.

3.3.5 Каскад усиления мощности

Силовая часть схемы состоит из усилителя и предусилителя мощности. Силовые части схемы для всех нагрузок идентичны. Схема силовой части для первой нагрузки представлена на рисунке 17.

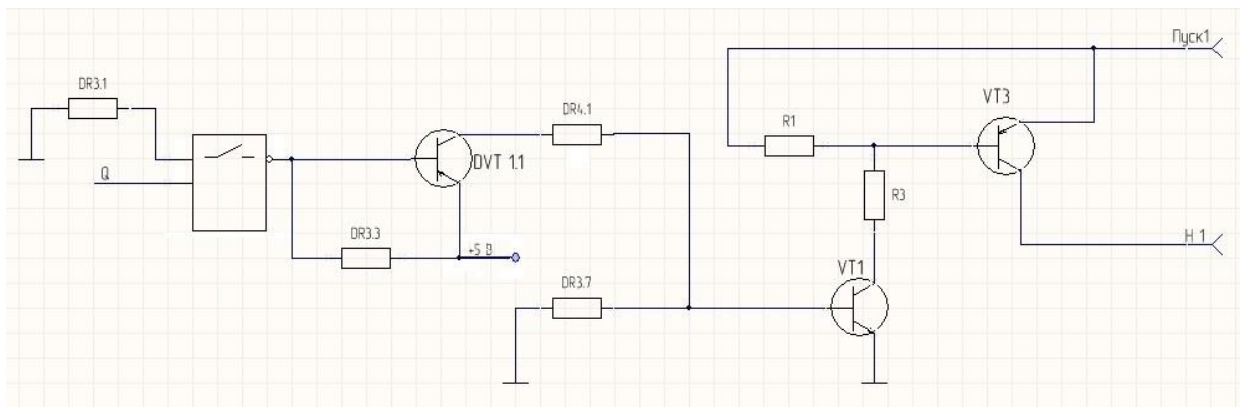


Рисунок 17 – Каскад усиления мощности для первой нагрузки

В качестве предусилителя мощности используется транзистор DVT 1. Для того чтобы транзистор открылся в предыдущей разработке была использована схема с двунаправленным переключателем. При попадании тока на вход переключателя, он замыкает контакт и на базу транзистора начинает течь ток, что позволяет ему открыться. После этого сигнал идет на усилитель мощности, который собран из двух транзисторов VT1 и VT3. При попадании сигнала на VT1, он открывается и, при условии наличия сигнала «Пуск1», между эмиттером и коллектором транзистора VT3 начинает течь ток в сторону нагрузки.

Произведем выбор транзистора DVT1:

1. Максимальный ток коллектора примем 1 мА.
2. Напряжение коллектор-эмиттер принимают большим или равным двум напряжениям питания. Транзистор DVT1 питается напряжением 5 В.

$$U_{КЭDVT1} \geq 2E_{питDVT1}, \quad (2)$$

где $E_{питDVT1}$ – напряжение питания транзистора DVT1, В.

Исходя из формулы (2):

$$U_{КЭDVT1} = 10 \text{ (В)}$$

Выберем транзисторную матрицу 2ТС622А, состоящую из четырех транзисторов, параметры которых указаны в таблице 16.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Таблица 16 – Параметры транзисторов матрицы 2ТС622А

Максимальное напряжение коллектор-эмиттер ($U_{кэ}$)	45 В
Статический коэффициент передачи тока (β_{vt})	500
Максимальная рассеиваемая мощность (P_{kmax})	0,4 Вт
Максимальный ток коллектора (I_{rmax})	0,4 А
Температура окружающей среды (t^0_c)	(-60..+125) 0C
Постоянное напряжение база-эмиттер ($U_{бэ}$)	4 В
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер ($U_{кэ}^{нас}$)	1,3 В

Транзисторы матрицы DVT1 так же имеют резисторы для обеспечения протекания тока базы и для того, чтобы транзисторы не открылись сами по себе. Номиналы резисторов взяты в 1 кОм. Для реализации данных сопротивлений был взят блок резисторов Б19К, описание которого было приведено выше.

В качестве двунаправленного переключателя выберем микросхему 564КТЗ. Её краткие характеристики приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Характеристики микросхемы 564КТЗ

Диапазон напряжения питаний, В	4,2...15
Предельное напряжение питания, В	18
Время задержки распространения сигнала управления, нс	≤ 125
Время задержки распространения сигнала, нс	≤ 30

Далее рассчитывается транзистор VT3, сигнал «Пуск» выступает в роли питающего сигнала. В техническом задании было сказано, что его напряжение около 10 В. Примерный расчёт транзистора VT3:

1. Примем, что на нагрузку приходит ток величиной 3 А, это значение будет соответствовать максимальному току коллектора.

2. Напряжение коллектор-эмиттер принимают большим или равным двум напряжениям питания:

$$U_{кэ} \geq 2 \cdot E_{питVT3} \quad (3)$$

где $E_{питVT3}$ – напряжение питания транзистора VT3, В.

Исходя из формулы (2):

$$U_{кэVT3} = 20 \text{ (В)}$$

3. Максимальная мощность, вырабатываемая на транзисторе для постоянного тока:

$$P_{к maxVT3} = \frac{E_{питVT3}^2}{2 \cdot R_H} \quad (4)$$

где $E_{питVT3}$ – напряжение питания транзистора VT3, В;

R_H – сопротивление нагрузки, Ом.

Вычислим формулу (4):

$$\text{(Вт)}$$

Выбираем транзистор VT3 по рассчитанным параметрам: $U_{кэ}$, $I_{к maxVT3}$. Подходит транзистор 2Т825А, параметры которого указаны в таблице 18.

Таблица 18 – Параметры транзистора 2Т825А

Максимальное напряжение коллектор-эмиттер ($U_{кэ}$)	100 В
Статический коэффициент передачи тока (β_{vt})	500
Максимальная рассеиваемая мощность ($P_{к max}$)	125 Вт

Продолжение таблицы 18

Максимальный ток коллектора (I_{Tmax})	20 А
Граничная частота	4МГц
Температура окружающей среды (t^0_c)	(-60..+125) 0C
Постоянное напряжение база-эмиттер ($U_{бэ}$)	5В
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер ($U_{кэ}^{нас}$)	2В

Для того чтобы транзистор VT3 не открылся сам, ставят резистор R1. Возьмем для этого резистор номиналом 1 кОм. А для того чтобы обеспечить путь протекания тока базы ставят резистор R3. Возьмем для этого резистор номиналом 56 Ом.

Осуществим выбор транзистора VT1:

Ток базы транзистора VT3 можно вычислить по формуле:

$$I_{кVT3} = \beta I_{бVT3} \quad (5)$$

где $I_{кVT3}$ – ток коллектора транзистора VT3, мА;

β – коэффициент усиления транзистора VT3.

Вычислим формулу (5):

$$I_{кVT3} = 5.08 \text{ (мА)}$$

При этом ток базы транзистора VT3 является током коллектора транзистора VT1.

Максимальное напряжение коллектор-эмиттер составляет сумму напряжений питания и выхода с предусилителя и составляет 11 В.

Выбираем транзистор VT1 по рассчитанным параметрам: $I_{кmaxVT1}$. Подходит транзистор 2Т630Б, параметры которого указаны в таблице 19.

Таблица 19 - Параметры транзистора 2Т630Б

Статический коэффициент передачи тока ($h_{21э}$)	80-240
Максимальная рассеиваемая мощность ($P_{кmax}$)	0,8 Вт
Постоянный ток коллектора (I_k)	1 А
Граничная частота	50 МГц
Температура окружающей среды (t^0)	(233...358) К
Постоянное напряжение база-эмиттер ($U_{бэ}$)	7 В
Максимальное напряжение коллектор-эмиттер ($U_{кэmax}$)	120 В
Обратный ток коллектора ($I_{к10}$)	1 мкА

Для имитации 4 нагрузок понадобится четыре идентичные схемы каскада усиления мощности. Для этого потребуется одна микросхема 564КТ3, три блока резисторов Б19К с номиналами резисторов 1 кОм, один блок резисторов Б19К с номиналами резисторов 220 Ом, 4 резистора номиналом 1 кОм и 4 резистора номиналом 56 Ом, одна транзисторная матрица 2ТС622А, четыре транзистора 2ТС630Б и четыре транзистора 2Т825А.

3.3.6 Схема чтения

Сигнал «Пуск», который поступает на нагрузку, необходимо обработать для того чтобы он дошел до триггера и сбросил его состояние. В этом случае применяют схему чтения. Схема чтения приведена на рисунке 18.

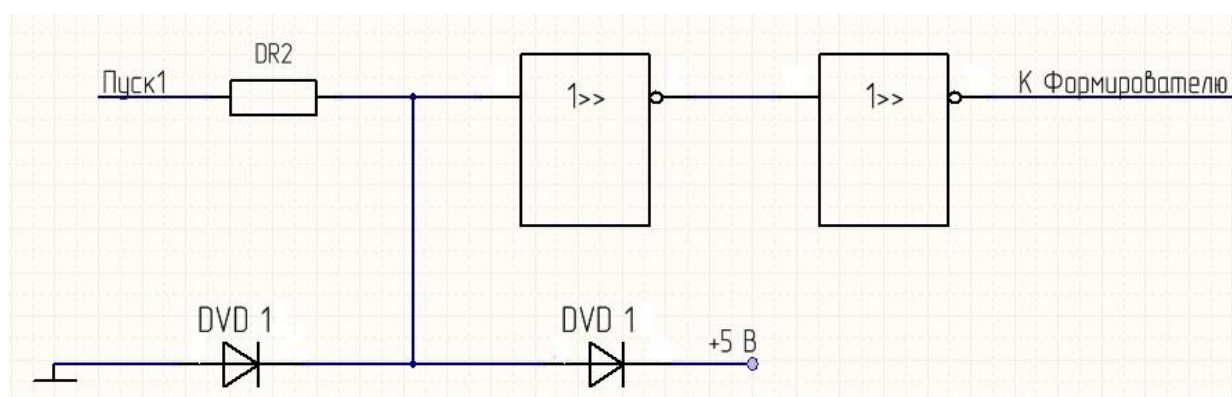


Рисунок 18 – Схема чтения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

В данной схеме резистор необходим для ограничения тока. Выбирается блок резисторов Б19К номиналом 10 кОм. Далее с помощью схемы с диодами устанавливается напряжение от 0 до 5 В. Для этих целей выбраны диодные матрицы 2ДС627А, выбраны они, потому что поддерживают необходимые диапазоны токов, напряжений и температур. В конечном итоге сигнал проходит через 2 инвертора. Первый инвертор служит для преобразования сигнала к нужному уровню, а второй для восстановления не инвертированного сигнала. Для этого используются описанные выше микросхемы 564ЛН2.

В конечном счёте, для схем чтения всей платы понадобится две диодные матрицы 2ДС627А, один блок резисторов Б19К и одна микросхема 564ЛН2.

3.3.7 Схема питания

Как было сказано ранее, разрабатываемая плата управления модуля нагрузок должна иметь контактные соединения для обеспечения питания микросхем, входящих в её состав. Уровни напряжений, потребляемые микросхемами, должны быть 5 и 12В. Так же в техническом задании одним из условий проектирования платы является помехозащищенность изделия.

При работе микросхем могут наблюдаться помехи. При эксплуатации происходит кратковременное изменение тока потребления микросхем за короткий промежуток времени (сравнимый с длительностью фронта сигнала). Во избежание проблем с работоспособностью микросхем используют блокировочный конденсатор. Выберем стандартную ёмкость для микросхем $C_3=C_4=0,1$ мкФ.

Блокировочные конденсаторы сглаживают пульсации, но их основная задача это обеспечение запаса энергии [41]. Для сглаживания пульсаций принято использовать фильтры. Следуя руководству [4] рассчитаем емкость фильтра. Наибольший ток, потребляемый среди микросхем выбранных для проектирования, имеет микросхема 564ПУ8. Её ток потребления составляет 6000 мкА. Выбор емкости фильтра осуществляется по формуле (6):

(6)

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

где);

= 6000 (мкА).

Вычислим формулу (6):

Выбираем из стандартного ряда номиналов: $C_1 = C_2 = 3300$ мкФ.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выпускной квалификационной работы разработана плата управления модуля нагрузок стенда проверки параметров. Данная плата является частью стенда проверки параметров, который служит для испытаний блока управления, производимого на предприятии АО «НПО «Электромашина».

В ходе работы был проведен анализ стендового оборудования, в частности, платы управления модуля нагрузок. По результатам анализа были выявлены недостатки, требующие решения.

На этапе конструкторской разработки была синтезирована структурная схема платы управления модуля нагрузок. По данной схеме и решениям предыдущей разработки был осуществлен подбор элементов. Было проведено сравнение серии отечественных и зарубежных элементов. После чего был сделан выбор в пользу отечественной серии. В ходе подбора элементов была смоделирована самая важная часть схемы, отвечающая за выполнение её основной функции. Графические зависимости показали её корректную работу.

Результатом работы является созданная принципиальная электрическая схема платы с перечнем элементов, входящих в её состав.

В дальнейшем стенд проверки параметров подлежит модернизации, в частности спроектированной платы. В будущем стоят вопросы о продолжении анализа и последующей разработке.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 АО «НПО «Электромашина»: О компании [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.npoelm.ru/company/npoelectromashina/nponow/>. – (дата обращения 23.05.2018).

2 Белоус, А.И. Основы схемотехники микроэлектронных устройств: учебное пособие / А.И. Белоус, В.А. Емельянов, А.С. Турцевич. – М.: Техносфера, 2012. – 472 с.

3 Бельков, В.Н. Автоматизированное проектирование технических систем: учебное пособие / В.Н. Бельков, В.Л. Ланшаков. – М.: Акад. Естествознания, 2009. – 143 с.

4 Блог об электронике: Как рассчитать ёмкость гасящего конденсатора простого блока питания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kirich.blog/stati/informaciya-dlya-nachinayuschih/244-kak-raschitat-emkost-gasyaschego-kondensatora-prostogo-bloka-pitaniya.html>. – (дата обращения 30.05.2018).

5 Борисов Ю.И. Динамика радиоэлектроники / Ю.И. Борисов. – М.: Техносфера, 2007. – 400 с. ISBN 978-5-94836-142-0.

6 Википедия – свободная энциклопедия: Структурная схема [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Структурная_схема. – (дата обращения 23.05.2018).

7 Википедия – свободная энциклопедия: Proteus (система автоматизированного проектирования) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Proteus_\(система_автоматизированного_проектирования\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Proteus_(система_автоматизированного_проектирования)). (дата обращения 27.05.2018)

8 Википедия – свободная энциклопедия: Altium Designer [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Altium_Designer. – (дата обращения 23.05.2018).

9 Вайсбурд, Ф.И. Электронные приборы и усилители: учебное пособие / Ф.И. Вайсбурд, Г.А. Панаев, Б.Н. Савельев. – М.: КомКнига, 2007. – 480 с.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

10 ГОСТ 2.102-2013. ЕСКД. Виды и комплектность конструкторской документации. – М.: Изд-во стандартов, 1971. – 20 с.

11 ГОСТ 2.106-96. ЕСКД. Текстовые документы. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 25 с.

12 ГОСТ 2.109-1973. ЕСКД. Основные требования к чертежам. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 38 с.

13 ГОСТ 2.316-68. ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований, таблиц. – М.: Изд-во стандартов, 1971. – 15 с.

14 ГОСТ 2.417-91. ЕСКД. Платы печатные. Правила выполнения чертежей. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 4 с.

15 ГОСТ 2.701-2008. ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 16 с.

16 ГОСТ 2.702–1975. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем. – М. Изд-во стандартов, 1975. – 45 с.;

17 ГОСТ 2.709–1989. ЕСКД. Правило выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники. – М. Изд-во стандартов, 1989. – 34 с.

18 ГОСТ 2.710–1981. ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. – М. Изд-во стандартов, 1981. – 15 с.

19 ГОСТ 2.721–1974. ЕСКД. Обозначения общего применения. – М. Изд-во стандартов, 1974. – 23 с.

20 ГОСТ 2.728–1974. ЕСКД. Резисторы. Конденсаторы. – М. Изд-во стандартов, 1974. – 38 с.

21 ГОСТ 2.729–1968. ЕСКД. Электроизмерительные приборы. – М. Изд-во стандартов, 1968. – 47 с.

22 ГОСТ 2.730–1973. ЕСКД. Полупроводниковые приборы. – М. Изд-во стандартов, 1973. – 12 с.

23 ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2011. – 26 с.

24 ГОСТ 2.701-2008. Правила выполнения схем. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 16 с.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

25 ГОСТ РВ 15.210-2001. Военная техника. Испытания опытных образцов изделий и опытных ремонтных образцов. Основные положения. – М.: Госстандарт России, 2002. – 41 с.

26 Демина, Л.Н. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учебное пособие / Л.Н. Демина. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 292 с.

27 Зельдин Е.А. Триггеры. – М.: ООО «Изд-во Энергоатомиздат», 1983. – 96 с.

28 Компания электроника и связь: РЭС47 – герметичное, двухпозиционное, одностабильное реле [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eandc.ru/pdf/rele/res47.pdf>. – (дата обращения 27.05.2018).

29 Компания электроника и связь: 564ЛА7 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eandc.ru/upload/iblock/d06/d0643e8e65f2d98378369daf72621612.pdf>. – (дата обращения 27.05.2018).

30 Компания Бэтком: 564ПУ8 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://batcom.ru/products/mikroskhemy/mikroskhemy-serii-564/564pu8v>. – (дата обращения 29.05.2018).

31 Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб. для ву- зов. 6-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2000. – 542 с.

32 Каплан, Д. Практические основы аналоговых и цифровых схем / Д. Каплан, К. Уайт; пер. с англ. А.А. Кузьмичевой. – М.: Техносфера, 2006. – 176 с.

33 Корячко, В.П. Теоретические основы САПР: учебное пособие / В.П. Корячко, В.М. Курейчик, И.П. Норенков. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.

34 ООО «Радиотесткомплект»: Аналоги МС564 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rtccom.ru/pdf/importozam/аналоги%20мс564.pdf>. – (дата обращения 25.05.2018).

35 ООО «Радиотесткомплект»: Б19К [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rtkt.ru/files/b19k.pdf>. – (дата обращения 27.05.2018).

36 Студопедия: Показатели качества по характеризующим свойствам [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studopedia.ru/2_120627_pokazateli-kachestva-po-harakterizuemim-svoystvam.html. – (дата обращения 23.05.2018).

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

37 Сайт поиска спецификаций электронных компонентов и полупроводников: Спецификация CD4000 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/66389/INTERSIL/CD4000.html>. –

(дата обращения 25.05.2018).

38 Справочник по схемотехнике для радиолюбителя/ В.П. Боровский, В.И. Костенко, В.М. Михайленко, О.Н. Партала; под ред. В.П. Боровского – Киев: Техника, 1987. – 432 с.

39 Тюленев, Л.Н. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учебное пособие / Л.Н. Тюленев, В.В. Шушерин, А.Ю. Кузнецов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ УПИ, 2005. – 80 с.

40 Титце, У. Полупроводниковая схемотехника: справочное руководство / Ульрих Титце, Кристоф Шенк; пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 832 с.

41 Хабстап Портал о науке и технике: Использование конденсатора в электронике [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hubstub.ru/circuit-design/86-ispolzovanie-kondensatora-v-elektronike.html>. – (дата обращения 30.05.2018).

42 Харламова, Т.Е. История науки и техники. Электроэнергетика: учебное пособие/ Т.Е. Харламова. -Санкт-Петербург: СЗТУ, 2006. - 126 с.

43 Чип и Дип – электронные компоненты и приборы: 564ЛА10 ЭП [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://lib.chipdip.ru/031/DOC001031932.pdf>. – (дата обращения 29.05.2018).

44 Шило, В.Л. Популярные цифровые микросхемы: справочник / В.Л. Шило. – М.: Радио и связь, 1987. – 354 с.

45 Шкляр, В.Н. Надежность систем управления: учебное пособие / В.Н. Шкляр. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 126 с.

46 Элект – комплексная поставка электронных компонентов: Микросхема 564ЛН2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ielekt.ru/datasheet/564ln2v>. – (дата обращения 27.05.2018).

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

47 Элект – комплексная поставка электронных компонентов: Микросхема 564ИЕ10 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ielekt.ru/datasheet/564ie10.pdf>. – (дата обращения 27.05.2018).

48 Элект – комплексная поставка электронных компонентов: Микросхема 564ТМ2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ielekt.ru/datasheet/564tm2.pdf>. – (дата обращения 27.05.2018).

49 Элект – комплексная поставка электронных компонентов: Микросхема 564ЛА8 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ielekt.ru/datasheet/564la8.pdf>. – (дата обращения 27.05.2018).

50 Электротехника: учеб. пособие: в 3 кн. / под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафия-туллина, А.Л. Шестакова. – М.; Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – Кн. 3. – 639 с.

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Перечень элементов

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Принципиальная электрическая схем

					270304.2018.022.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8