## Аннотация

В данном дипломном проекте разрабатывается конструкция блока управления цикла сварки.

Расчетно-пояснительная записка содержит пять частей: исследовательскую, конструкторскую, технологическую, охрана труда и защита окружающей среды, экономическую.

В исследовательской части расчетно-пояснительной записки к дипломному проекту представлено моделирование основных функциональных узлов блока регулятора цикла сварки, произведен анализ выбора элементной базы.

В конструкторской части дается описание назначения устройства и блока, их основные технические характеристики и описание принципа функционирования. Так же приводится расчет надежности, расчет на действие вибраций, тепловой расчет, схемотехнический расчет.

В технологической части расчетно-пояснительной записки приведены: технологический процесс сборки платы блока регулятора цикла сварки, аттестация технологического процесса сборка платы блока, описание технологической оснастки, расчет трафарета для нанесения паяльной пасты на верхнюю сторону платы.

В разделе "Охрана труда и защита окружающей среды" дается характеристика опасных и вредных факторов при производстве блока регулятора цикла сварки, характеризуется экологическая безопасность, приводятся расчеты защитного заземления и фильтра для очистки воздуха.

В экономической части расчетно-пояснительной записки содержится: технико-экономическое обоснование разработки блока регулятора цикла сварки и анализ его технологичности, рассчитана себестоимость блока и приведен интегральный экономический эффект от внедрения в производство данного модуля.

## Введение

В настоящее время все большую актуальность приобретают технологии восстановления деталей. Это происходит потому, что любые действия на предприятиях стараются перенести на автоматические или полуавтоматические машины. И, естественно, все движущиеся детали машин подвержены износу.

Для уменьшения расходов по обслуживанию и ремонту, существует технология восстановления рабочих поверхностей деталей машин путем электроконтактной наварки проволокой (ЭКНП).

Для проведения процесса ЭКНП необходим наварочный станок, частью которого является блок регулятора цикла сварки.

Разработка и применение блока регулятора цикла сварки позволяет получить полный контроль над параметрами сварки. Это позволяет улучшить качество получаемой поверхности, а, следовательно, позволяет увеличить срок службы восстановленной детали.

В связи с этим было принято решение о разработке дипломного проекта «Блок регулятора цикла сварки».

# Исследовательская часть

## Введение

Для обеспечения функционирования блока во всем диапазоне рабочих температур, необходимо промоделировать все основные узлы схемы: узел детектора перехода сетевого напряжения через ноль и узел преобразования сигнала с датчика тока. Необходимо произвести анализ микроконтроллера.

## Анализ микроконтроллера

Для реализации корректной и предусмотренной работы модуля было решено использовать современную элементную базу. В частности, для уменьшения габаритов модуля и повышения надежности, в качестве управляющего устройства схемы было решено использовать микроконтроллер STM32F100CB фирмы ST Microelectronics, т.к. микроконтроллеры данной фирмы обладают высокой производительностью, надежностью, доступны в свободной продаже и имеют самую низкую цену на рынке. В результате поиска был получен список микроконтроллеров в количестве 3 единиц, который представлен в таблице 1:

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Порты  ввода/вывода | Память программ, кбайт | ОЗУ, байт | Тактовая частота, МГц | Цена, руб |
| ATmega16A-AU | 34 | 16 | 1024 | 16 | 85 |
| PIC18F2550-I/SO | 24 | 16 | 2048 | 48 | 165 |
| STM32F100CB | 37 | 64 | 8192 | 24 | 77 |

На первом шаге ставилась задача выбрать микроконтроллер с максимальным количеством портов ввода-вывода, т.к. на подключение дисплея и кнопок необходимо уже 12 выводов. Плюс ко всему, в будущем может возникнуть необходимость подключения к станку датчиков от насоса.

На втором шаге выбора микроконтроллера ставилась задача выбрать микроконтроллер, с наибольшей программной памятью, потому что для синхронной работы всех узлов модуля потребуется достаточно объемная программа. Так же максимальное количество памяти необходимо потому, что разработка управляющей программы велась на языке высокого уровня, в частности, на языке С.

На третьем шаге выбора микроконтроллера ставилась задача выбрать микроконтроллер, с наибольшим ОЗУ, потому что в процессе работы необходимо хранить и обрабатывать большой набор данных

На четвертом шаге выбора микроконтроллера ставилась задача выбрать микроконтроллер, с наибольшей тактовой частотой, потому что для быстродействия работы микроконтроллера требуется высокая тактовая частота для обработки данных.

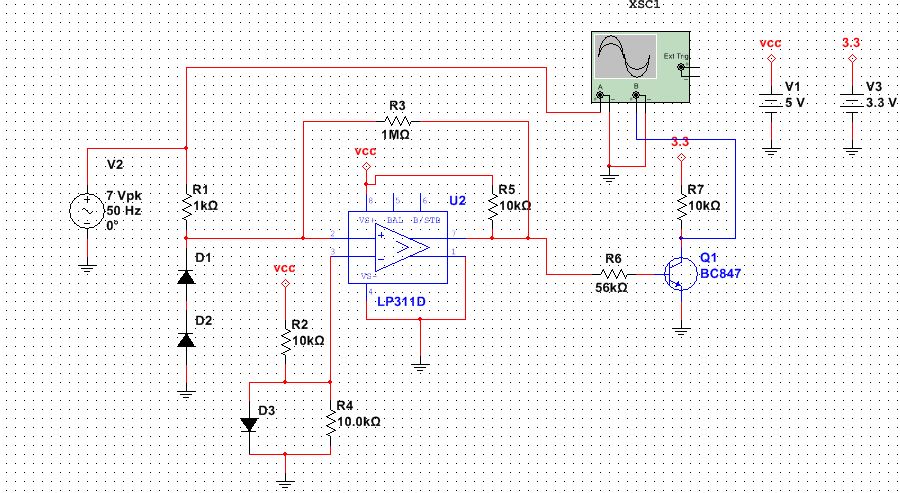
На последнем шаге выбора микроконтроллера ставилась задача выбрать микроконтроллер, имеющий максимально развитую структуру. Поэтому, учитывая, что в контроллер STM32F100CB входит 16-ти канальный аналогово-цифровой преобразователь, контроллер прямого доступа к памяти, 12 таймеров общего назначения, что сильно превосходит возможности остальных контроллеров, плюс его самая низкая цена, было принято решение о использовании в разработке микроконтроллера STM32F100CB производства ST Microelectronics.

## Моделирование

Для анализа работоспособности и правильности функционирования узлов, проведем моделирование частей схемы электрической принципиальной. Так же проведем температурные анализы этих же узлов схемы, т.к. необходима устойчивая работы блока в широком диапазоне температур.

Воспользуемся программой Multisim 12, в которой проведем все виды анализов, чтобы убедиться в работоспособности схемы.

### Узел 1: детектор перехода напряжения через ноль

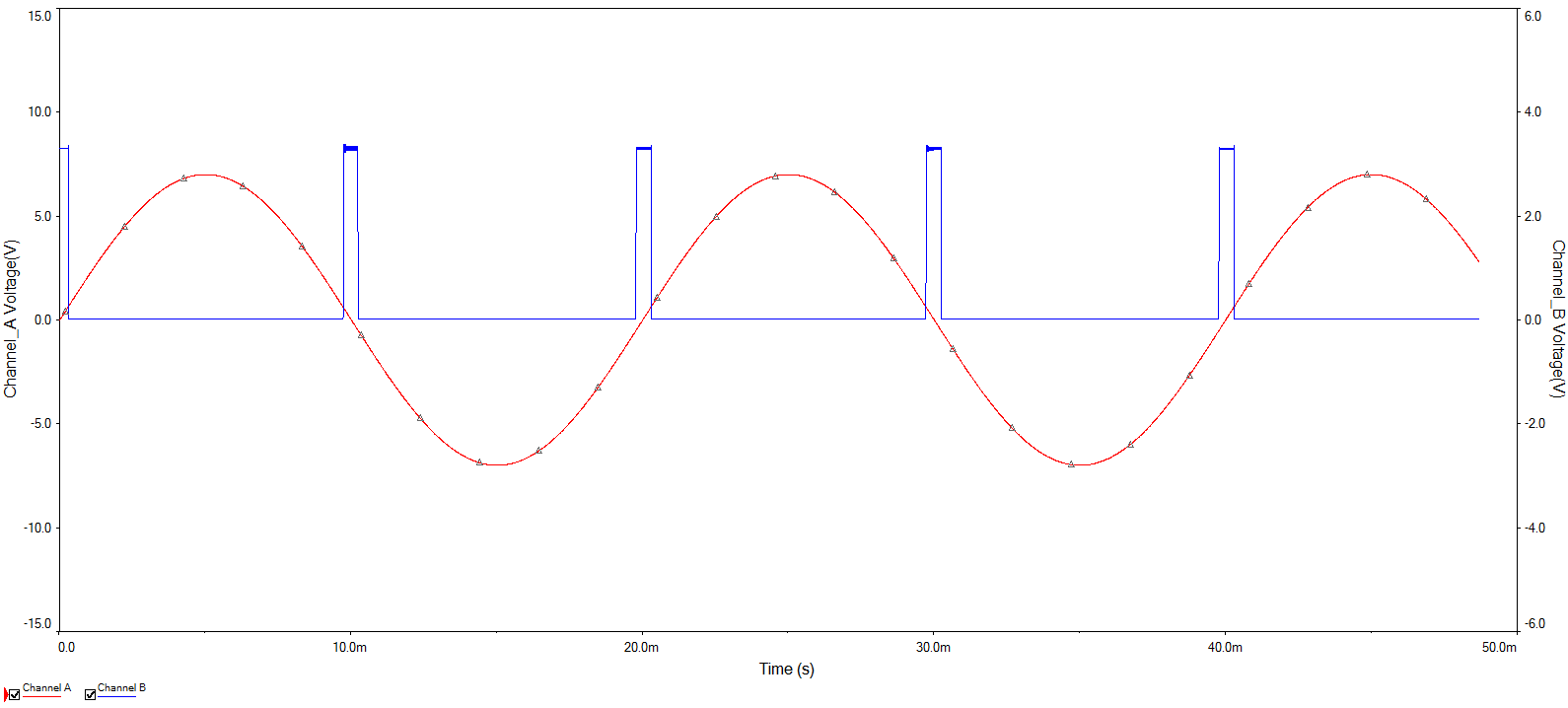


*Рис.1. Детектор перехода сетевого напряжения через ноль.*

Исходные данные представлены на рисунке. Отметим, что вместо компаратора К554СА3, был использован его зарубежный аналог LP311.

На вход схемы поступает эквивалент сетевого напряжения, т.к. фаза сохранена, только амплитуда сигнала составляет 7 В. На выходе микросхемы стоит транзисторный ключ, играющий роль преобразователя амплитуды выходного сигнала с 5 В до 3.3 В, далее этот сигнал подается на вход внешнего прерывания микроконтроллера.

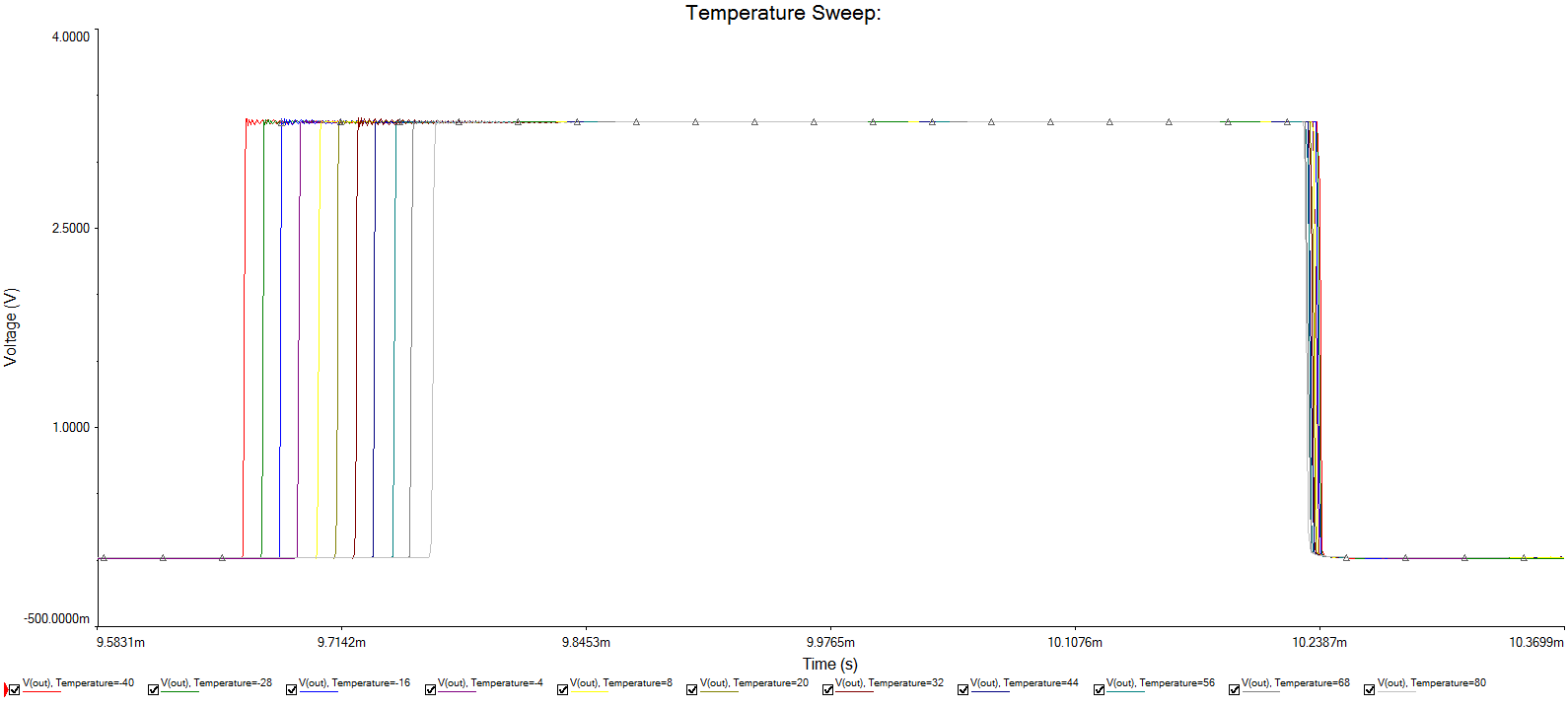
Временные диаграммы, характеризующие работу данного узла, приведены на рис. 2.



*Рис.2. Показания осциллографа*

Как видно, на выходе компаратора возникает импульс длительностью около 1 мс в момент перехода напряжения через ноль.

Т.к. блок эксплуатируется в широком диапазоне температур, необходимо удостовериться в его работоспособности при всех температурах из этого диапазона. Для проведения этого анализа воспользуемся встроенным в Multisim 12 модулем Temperature sweep.

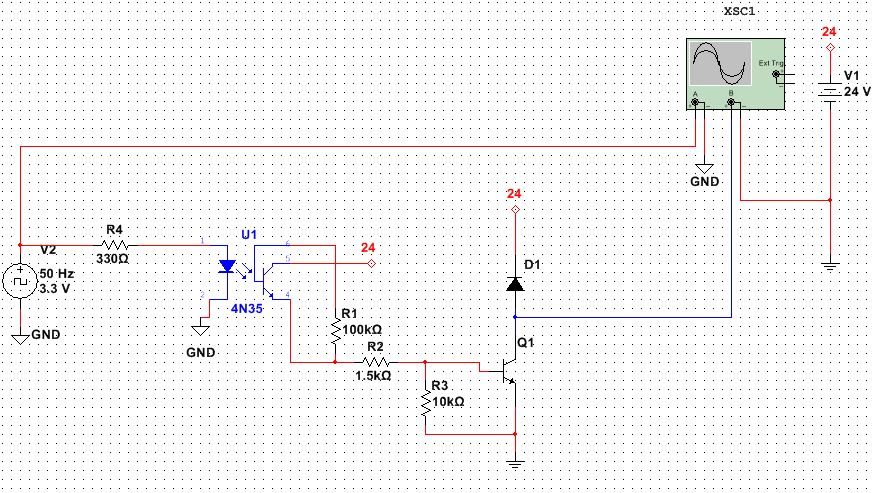


*Рис.3. Результаты температурного анализа*

Как видно, с повышение температуры изменяется только положение переднего фронта выходного сигнала. Т.к. алгоритм работы построен на обработку заднего фронта сигнала с детектора нуля, а он, как видно, с изменением температуры окружающей среды не изменяется, то можно говорить о устойчивой работе данного узла в заданном диапазоне температур.

### Узел 2: выходной силовой каскад

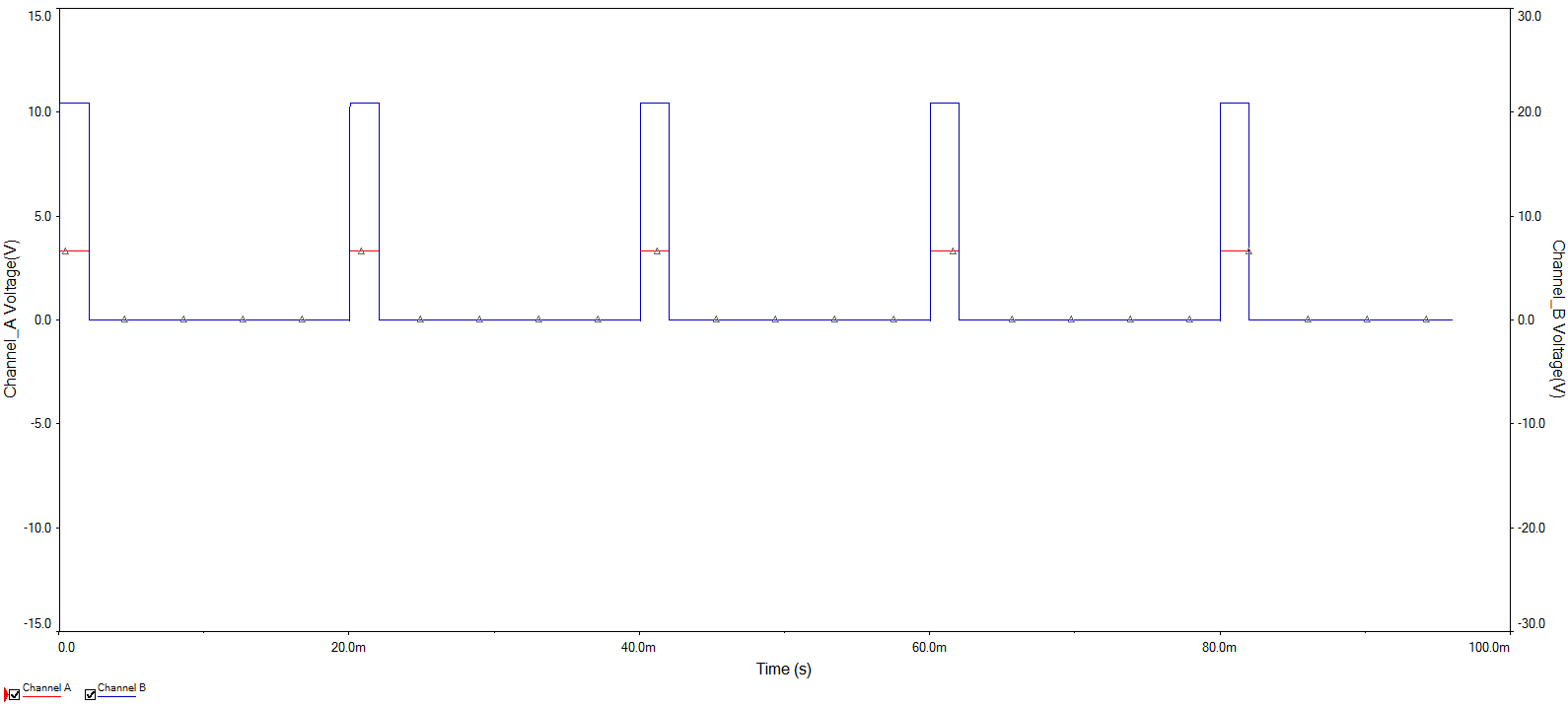
Т.к. для открытия тиристорного контактора, передающий мощность в восстанавливаемую деталь, для открытия необходим импульс длительностью 100-300 мкс и амплитудой 18-24 В, было принято использование в выходном каскаде силового ключа на транзисторе D633. Это составной транзистор по схеме Дарлингтона. Схема выходного каскада представлена на рис. 4.



*Рис.4. Схема выходного каскада*

Для развязки силовой и логической части применена оптопара 4N35. Входом узла является вход оптопары, на который через токоограничивающий резистор подается сигнал с микроконтроллера.

Временные диаграммы, характеризующие работу данного узла, приведены на рис. 5.

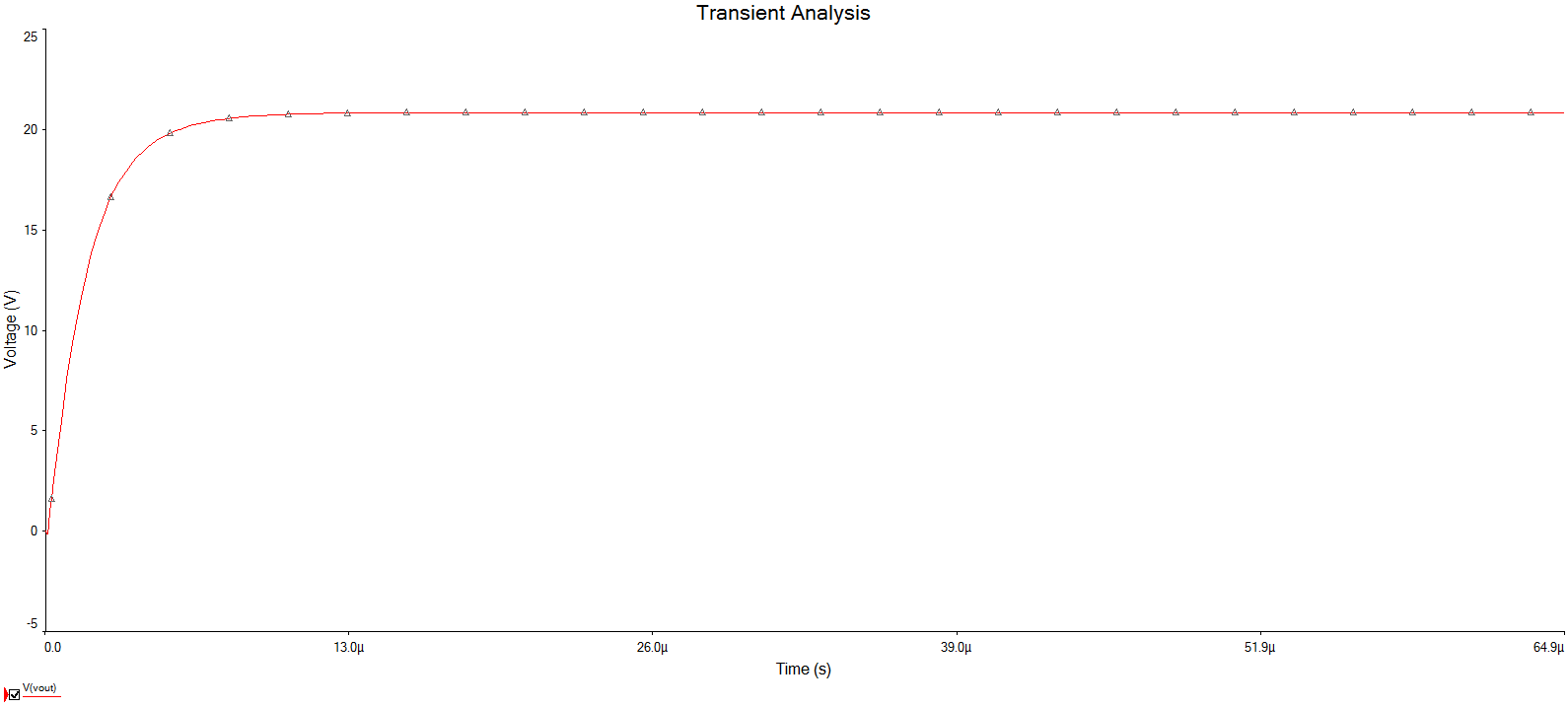


*Рис.5. Работа выходного каскада*

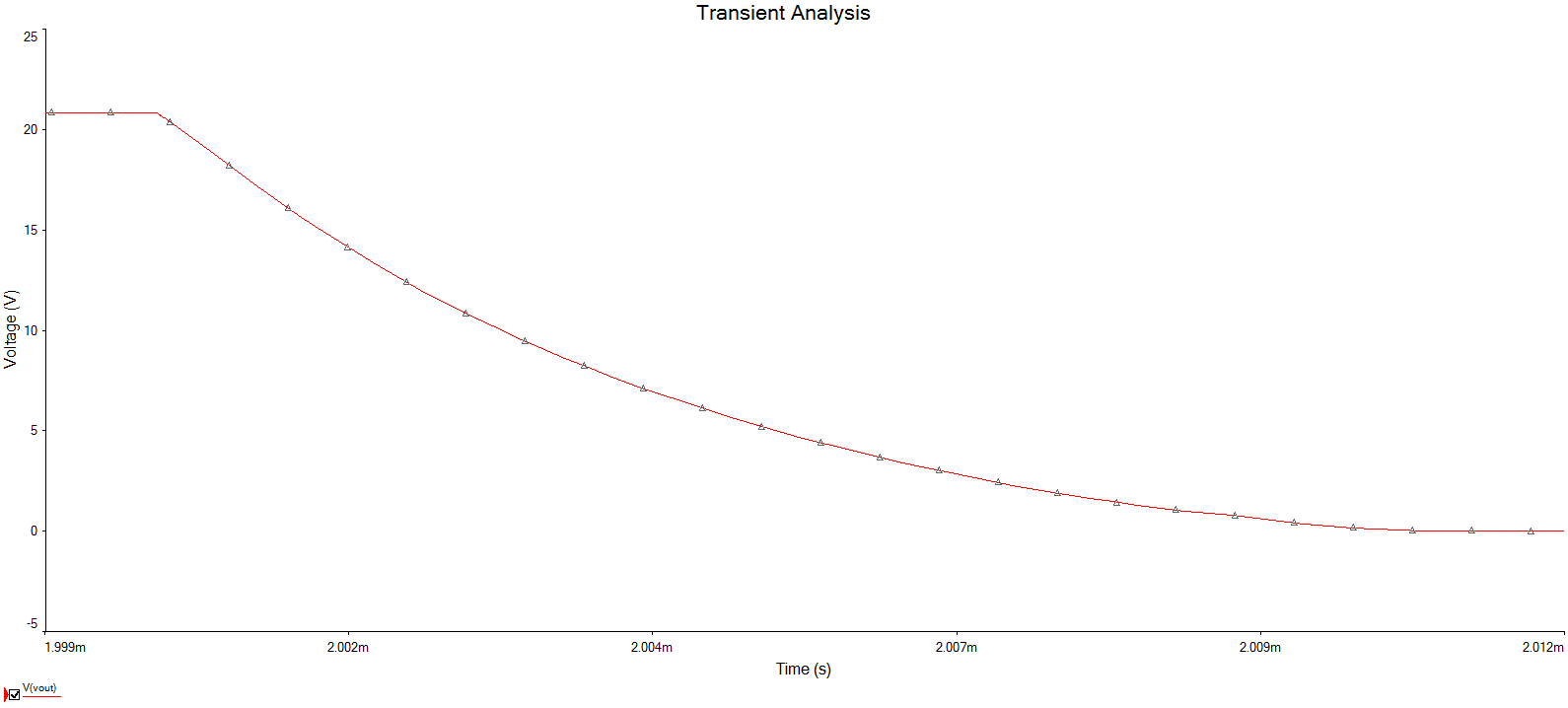
Как видно, узел преобразует выходной сигнал амплитудой 3.3 В в сигнал с амплитудой 24 В.

Т.к. в выходном каскаде использован составной транзистор, основным недостатком которого является низкое быстродействие, убедимся, что скорость его работы достаточна для применения в данном узле. Для этого промоделируем фронты выходного сигнала, снятого с коллектора этого транзистора.

Результаты моделирования восходящего и спадающего фронтов представлены на рис. 6 и 7 соответственно.



*Рис.6. Восходящий фронт выходного сигнала*

**

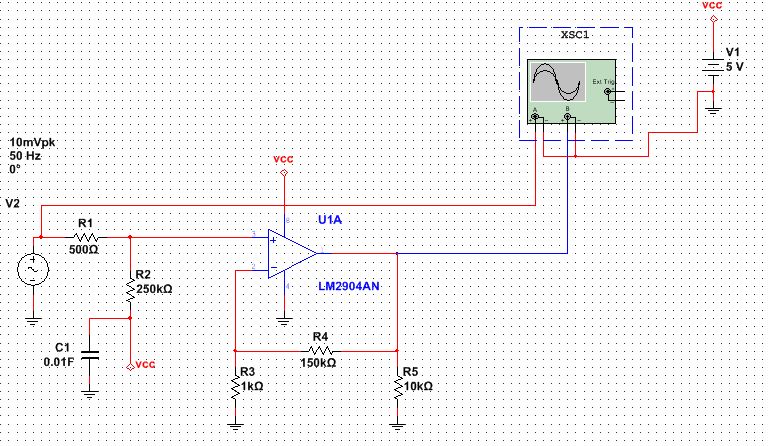
*Рис.7. Спадающий фронт выходного сигнала*

В результате моделирование, получили значение 12 мкс для восходящего фронта и 14 мкс для спадающего фронтов. Учитывая частоту выходного сигнала и особенности тиристорного контактора, а в частности его время релаксации, можно сделать вывод о допустимости применения такого транзистора в схеме выходного каскада.

### Узел 3: преобразователь сигнала с датчика тока

Так как на станке присутствует пассивный индуктивный датчик тока, то для его подключения к АЦП микроконтроллера необходим каскад преобразователя сигнала датчика тока. Он преобразовывает сигнал с датчика амплитудой ±10 мВ в сигнал с амплитудой от 0 до 3 В. Расчет данного узла приведен в конструкторской части дипломного проекта.

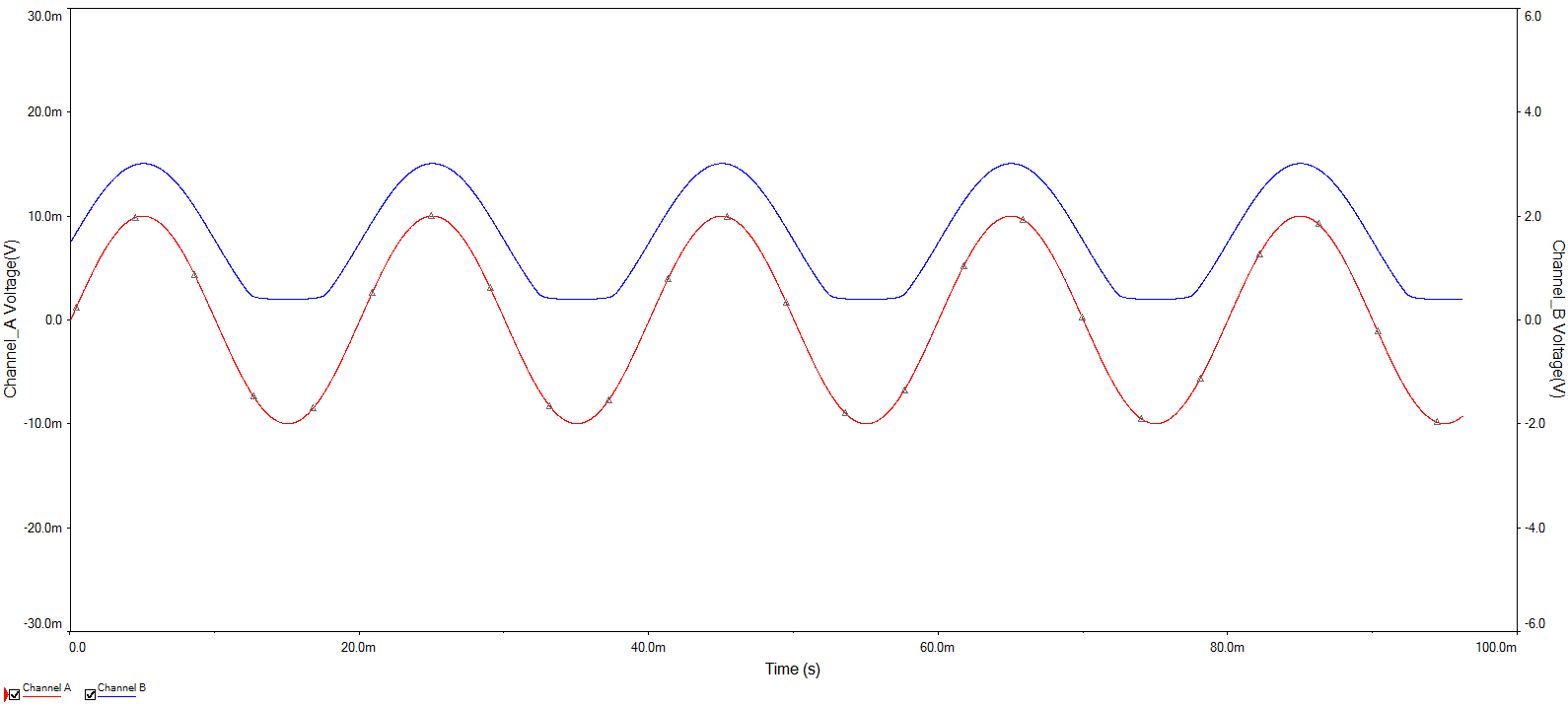
Схема представляет собой каскад на ОУ LM2904, она представлена на рис. 8.



*Рис.8. Преобразователь сигнала с датчика тока*

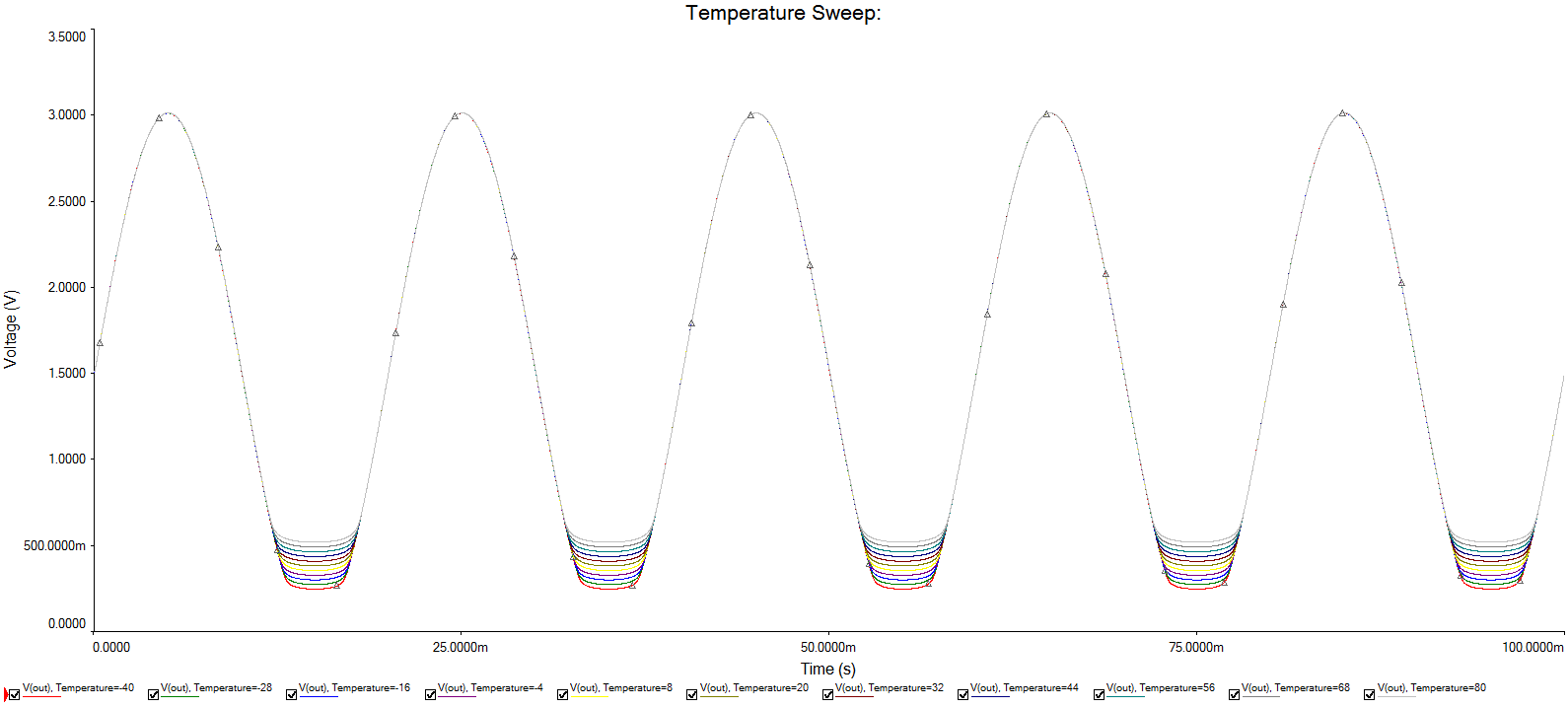
На вход схемы поступает сигнал непосредственно с датчика тока, выход схемы соединен с АЦП микроконтроллера.

Временные диаграммы, характеризующие работу данного узла, приведены на рис 9.



*Рис.9. Работа преобразователя сигнала с датчика тока*

Так же, как и для узла детектора перехода сетевого напряжения через ноль, необходимо провести температурный анализ, чтобы убедиться в работоспособности преобразователя во всем требуемом диапазоне температур.



*Рис.10. Температурный анализ преобразователя сигнала с датчика тока*

Как видно из результатов моделирования, изменяется только нижний порог выходного напряжения, что не существенно, т.к. прибор позволяет вычислять только среднее значение тока за 10 с наварки. Т.о., данный узел может работать во всем диапазоне заданных температур.

## Вывод

В результате выполнения исследовательской части дипломного проекта были выполнены следующие пункты:

1. Проведено исследования ряда микроконтроллеров.
2. Выполнено моделирование основных узлов схемы электрической принципиальной.

# Конструкторская часть

## Введение

Для выполнения конструкторской части необходимо: разработать оптимальную конструкцию прибора, выполнить расчет преобразователя сигнала с датчика тока, выполнить расчет на виброустойчивость, тепловой расчет и расчет надежности конструкции.

## Назначение устройства

Блок регулятора цикла сварки входит в состав наплавочного станка. Наплавочный станок предназначен для восстановления поверхностей цилиндрических и конических деталей методом электроконтактной наварки проволоки (ЭКНП). Станок с разработанным блоком используется только в научной работе сотрудников предприятия.

Основными функциями блока регулятора цикла сварки являются:

* установка режима сварки, включающий такие составляющие как: сила сварочного тока, длительность сварочных импульсов, длительность паузы между импульсами;
* контроль значения сварочного тока и его индикация на дисплее;
* регулирование сварочного тока, при уходе его за установленные границы.

Блок регулятора цикла сварки применяется только в том случае, когда необходимо обеспечить высокую стабильность сварочного тока. Обычно, такие режимы сварки используются только для исследования деформаций, напряжений в деталях. Поэтому, как уже отмечалось, прибор используется только для проведения НИР.

## Основные технические характеристики

Сведем все технические характеристики в таблицу 2

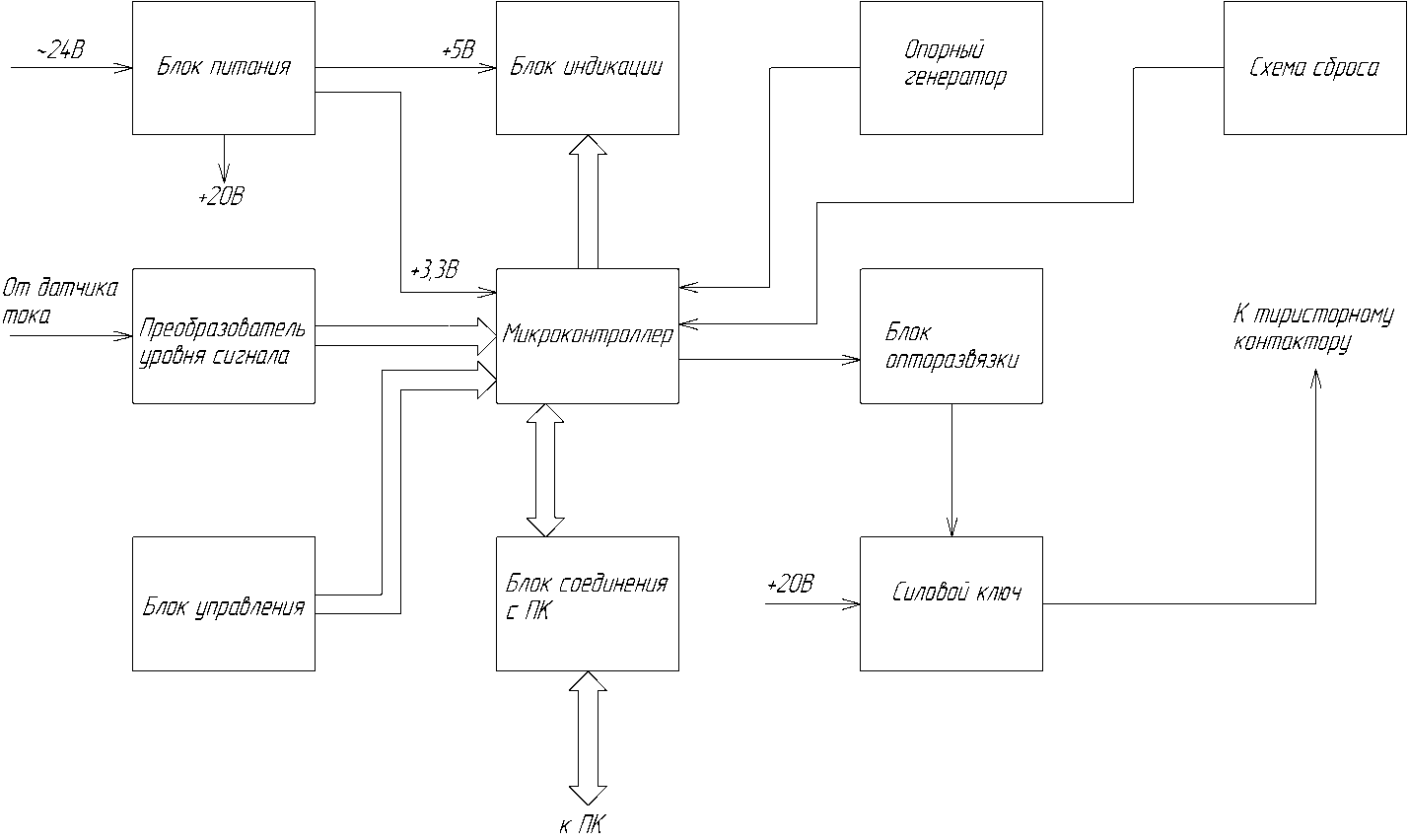
Таблица 2

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Напряжение питания, В | 220/380(в зависимости от модификации) |
| Потребляемая мощность, ВА | не более 60 |
| Рабочий диапазон температур, ºС | -30..+70 |
| Допустимый уровень вибраций при эксплуатации, Гц | 16 |
| Пределы регулирования выдержек времени сварочного  цикла: - импульс  - пауза | 2-99  2-99 |
| Допустимая влажность, % | 90..98 |
| Масса, не более, кг | 2 |

Блок регулятора цикла сварки обеспечивает также следующий диапазон установки передаваемой в точку наварки мощности: 0,25..10% с шагом 0,25%, далее шаг по 10%. Возможен перенос начального шага более точного диапазона на другую позицию.

## Описание принципа функционирования

Структурная схема блока регулятора цикла сварки представлена на рис. 11. Можно выделить следующие блоки: микроконтроллер, преобразователь уровня сигнала, блок индикации, блок питания, опорный генератор, схема сброса, блок опторазвязки, силовой ключ, блок соединения с ПК и блок управления.



*Рис.11. Структурная схема блока регулятора цикла сварки*

Микроконтроллер (далее МК) является основой всего устройства, выполняющих основные функциональные задачи по заданному алгоритму.

Блок соединения с ПК представляет собой разъем XP6 для внешнего программатора и вспомогательные цепи, позволяющие ввести микроконтроллер в режим прошивки для загрузки новой версии управляющего ПО.

Блок управления на кнопках SB1-SB5 используется для задания параметров сварочного цикла, для запуска и остановки процесса наварки. Резисторы R19, R20, R23, R24, R26 предназначены для подтяжки входа микроконтроллера к потенциалу земли. Так же к блоку управления относится компаратор DA3 и вход для сигнала разрешения сварки XP4, который защищен от помех цепью на VD7, VD8, VD10, R3, R7, C7. Сигнал с компаратора DA3 попадает на вход внешнего прерывания микроконтроллера, которое имеет максимальный приоритет. Микроконтроллер, войдя в прерывание включает таймер отсчета, ждем когда случится прерывание от этого таймера. Войдя в прерывание по переполнению таймера, контроллер отправляет импульс длительностью 150 мкс в выходной каскад, который коммутирует тиристорный контактор.

Для получения уровня сигнала с пассивного индуктивного датчика тока, необходимого для правильной работы АЦП, используется преобразователь уровня сигнала, построенного на ОУ DA1-DA5. Его расчет будет представлен далее. Значение с АЦП автоматически попадает в память контроллера. Микроконтроллер, в момент ожидания прерывания по переполнению таймера, считывает показания АЦП с помощью DMA доступа в свою память, обрабатывает полученное число по заданному алгоритму и выводит на дисплей.

Для питания всех узлов схемы используется блок питания. На его вход поступает переменное напряжение амплитудой 24 В, снятое с внешнего силового трансформатора. В блоке на стабилизаторах DA2, DA4 и электролитическом конденсаторе С3 построены три линии питающих напряжений: силовая +20 В, и, для питании остальных элементов схемы, 3.3 В, 5 В.

Блок индикации представляет собой дисплей и необходимую схемотехническую обвязку. Дисплей подключается к разъему XP7. Подстроечный резистор R27 необходим для настройки комфортной контрастности дисплея. Блок предназначен для контроля среднего значения сварочного тока во время ЭКНП. В остальное время он позволяет в интерактивном режиме установить все параметры сварочного цикла.

Для создания опорной частоты, необходимой для нормального функционирования микроконтроллера, использован опорный генератор. Он представляет собой кварцевый резонатор BQ1 с двумя балластными конденсаторами С16 и С17.

Схема сброса на конденсаторе С22 служит для аварийной перезагрузки микроконтроллера при его зависании. В штатном режиме она вводит микроконтроллер в нормальный режим, а не в режим программирования.

Для развязки силовой части схемы от аналого-цифровой применен блок опторазвязки, построенный на оптопаре U1.

Выходом схемы является силовой ключ VT2, коммутирующий тиристорный контактор в нужные моменты времени напряжением с амплитудой 19-24 В.

## Обоснование выбора элементной базы

Для изготовления блока регулятора цикла сварки было решено использовать SMD-компоненты, что объясняет стремление к миниатюризации изделия и упрощение технологического процесса сборки платы. Кроме того, была необходимость использовать элементы, освоенные на предприятии, а это отечественные микросхемы логики в DIP корпусах. Введение других типов элементов привело бы к неоправданным затратам на поиск других поставщиков, а так же возможному увеличению затрат на закупку ЭРЭ. Временные и экономические затраты, связанные с переходом на другую элементную базу, а так же связанный с этим риск нецелесообразны.

Выбор элементной базы проводится на основе схемы электрической принципиальной с учетом изложенных в ТЗ условий и требований. Эксплуатационная надежность элементной базы в основном определяется правильным выбором типа элементов при проектировании и при использовании в режимах, которые не превышают предельно допустимые.

Для правильного выбора типа элементов необходимо на основе требований по установке в частности климатических, механических и др. влияний проанализировать условия работы каждого элемента и определить:

* эксплуатационные факторы (интервал рабочих температур, относительную влажность окружающей среды, атмосферное давление, механические нагрузки и др.);
* значения параметров и их разрешенные изменения в процессе эксплуатации (номинальное значение, допуск, сопротивление изоляции, шумы, вид функциональной характеристики и др.);
* разрешенные режимы и рабочие электрические нагрузки (мощность, напряжение, частота и др.);
* показатели надежности, долговечности и срока сохранения.

Критерием выбора в устройстве электрорадиоэлементов (ЭРЭ) является соответствие технологических и эксплуатационных характеристик ЭРЭ, заданных условиями работы и эксплуатации.

Основными параметрами при выборе ЭРЭ является:

* технические параметры:
* номинальное значение параметров ЭРЭ согласно принципиальной электрической схемы;
* допустимые отклонения величины ЭРЭ от их номинального значения;
* допустимое рабочее напряжение ЭРЭ;
* допустимая мощность рассеивания ЭРЭ;
* диапазон рабочих частот ЭРЭ;
* коэффициент электрической нагрузки ЭРЭ.
* эксплуатационные параметры:
  + диапазон рабочих температур;
  + относительная влажность воздуха;
  + атмосферное давление;
  + вибрационные нагрузки;

Учитывая сказанное, сделаем выбор элементной базы для разрабатываемых таймер-часов.

В устройстве применены:

* микросхемы STM32F100CB, LM2904, LM317, LM1117, OPA364, К554СА3;
* чип резисторы 0805;
* чип конденсаторы 0805;
* транзисторы BC847 и В633;
* диод 1N4007;
* резонатор кварцевый HC-49;

Проведем сравнительный анализ, вышеуказанных элементов с их аналогами, диапазон эксплуатационных характеристик которых отвечает требованиям ТЗ. За цель ставим выбор ЭРЭ наиболее дешевых, распространенных, которые поставляются многими организациями – поставщиками электронных компонентов, при условии соблюдения принципа наименьших габаритов и размеров.

### Выбор микросхем

Анализ выбора микроконтроллера приведен в исследовательской части дипломного проекта (см. раздел 1.2).

ОУ LM2904 имеет несколько полных аналогов. Например, это OP221, LM358.

Приведем их характеристики:

Скорость нарастания выходного напряжения (lm 338): 0,6V/ms

Диапазон частот: 1,1MHz

Смещение ввода: 45nA

Смещённое напряжение входа: 3000mv

Ток питания: 700ma

Ток выходного канала: 40ma

Двойное напряжение питания: 3v ~26v, ±1,5v ~ 12v

Диапазон рабочих температур: -40°C ~ +105°C

Т.к. это полные аналоги, т.е. они имеют полную совместимость по выводам и аналогичные характеристики, то был сделан выбор в пользу самого доступного и дешевого из них – LM2904.

ОУ OPA364 не имеет аналогов, т.к. это прецизионный ОУ с размахом выходного напряжения равным напряжению питания. Плюс ко всему ОУ поставляется в корпусе SOT23-5, что соответствует требованию наименьшего размера компонента.

Приведем характеристики OPA364:

* Тип ОУ: Прецизионный
* Техническая особенность ОУ: Low Offset Voltage
* Кол-во каналов ОУ: 1
* Напряжение питания: 1.8...5.5 В
* Ток собственного потребления: 750 мкА
* Rail-to-Rail выводы: In, Out
* Программируемый коэффициент усиления: Нет
* Частота единичного усиления: 7 МГц
* Максимальная скорость нарастания выходного сигнала: 5 В/мкс
* Уровень шума: 17 нВ/√Гц

LM1117 имеет огромную массу полных аналогов как по выводам, так и по характеристикам. Например, LD1117, REG1117 и т.д. Приведем основные характеристики этого стабилизатора:

* Номинальный выходной ток, А: 0.8
* Максимальное входное напряжение, В: 15
* Выходное напряжение, В: 3.3
* Особенности: LDO

Т.о. можно использовать любой из доступных аналогов, но были применены микросхемы LM1117 из-за их повсеместной доступности и низкой цены.

Регулируемый стабилизатор LM317 имеет полные аналоги: 142ЕН12, SG317, 1157ЕН1 и т.д.

Основные технические характеристики:

* Корпус: TO220
* Номинальный выходной ток, А: 1.5
* Максимальное входное напряжение, В: 40
* Выходное напряжение, В: 1.2…37

Т.о. можно использовать любой из доступных аналогов, но были применены микросхемы LM317 из-за их повсеместной доступности и низкой цены, в отличие от отечественных компонентов.

Компаратор К554СА3 имеет следующие характеристики:

|  |  |
| --- | --- |
| Uип1.номинальное | +15В±10% |
| Uип2.номинальное | -15В±10% |
| Ток потребления от Uип1, не более | 6мА |
| Ток потребления от Uип2, не более | 5мА |
| Напряжение смещения, не более | 3В |
| Средний входной ток, не более | 100нА |
| Разность входных токов, не более | 10нА |
| Коэффициент усиления, не менее | 1,5\*105 |
| Падение напряжения на выходе в открытом состоянии, не более | 1,5В |
| Время задержки переключения выходного сигнала, не более | 300нС (200нС) |

Его аналогами являются LP311, IL311ANM, LM311N(P). Рассмотрим характеристики аналога:

* Количество каналов: 1
* Напряжение питания,В: ±15
* Время задержки, нс: 200
* Ток потребления, мА: 7.5
* Температурный диапазон, С: 0…70

Как видно по характеристикам, LM311 является полным аналогом К554СА3. Но, т.к. на складе предприятия есть огромный запас отечественных компараторов, было принято решение использовать К554СА3 для удешевления конструкции.

### Пассивные компоненты

Т.к. отечественная промышленность не выпускает резисторы и конденсаторы в SMD-исполнении, то используются компоненты зарубежного производства.

Конденсаторы фирмы Murata:

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Номинальное напряжение, В | 50 |
| Номинальная емкость, нФ | 22 |
| Допустимое отклонение емкости, % | 20 |
| Диапазон рабочих температур, ºС | -55..+125 |

Данные конденсаторы выбраны из-за величины их номинальной емкости, которая удовлетворяет требованиям схемы, а так же хорошим соотношением цена-качество.

При выборе резисторов руководствуемся такими характеристиками как требуемое электрическое сопротивление и стоимость. Нас интересует возможность работы при повышенных температурах (работа в автомобиле) и огромный запас надежности. Исходя из выше указанных требований выбираем SMD резисторы типоразмера 0805 фирмы Master Chip.

### Транзисторы

Выбираем силовой транзистор с минимальной мощностью рассеивания и максимальным током коллектора. По стоимости, подходящие зарубежные транзисторы имеют практически одинаковую цену, поэтому оптимальным является D633, он наиболее подходит по параметрам и преимущественно имеет стоимость ниже импортных аналогов.

Выбираем транзистор для ключа с минимальной ценой и в корпусе SOT23. По стоимости, подходящие транзисторы почти не отличаются, поэтому оптимальным является выбор BC847 из-за своей повсеместной доступности.

### Диод

В схеме в использован низковольтный диод 1N4007 ф.Philips аналогом, которого являются диоды отечественного производства КД521, КД522. По показателям надежности стоимости и распространенности 1N4007 лучший выбор, чем отечественный образец.

### Кварцевый резонатор

Был выбран импортный резонатор HC-49, в отличие от отечественного образца РК169, он имеет более привлекательные параметры надежности и меньшую стоимость.

Остальные компоненты выбираются исходя из соображений применения элементной базы, освоенной на предприятии.