Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт машиностроения, материалов и транспорта

Высшая школа автоматизации и робототехники

Отчёт

по лабораторной работе №2

Дисциплина: Программирование микроконтроллеров для управления роботами

Тема: Преобразователь напряжения

Студент гр. 3331506/70401 Паньков И.С.

Преподаватель Капустин Д.А.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_ 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc61654079)

[1 Цели и задачи 4](#_Toc61654080)

[2 Описание работы устройства 5](#_Toc61654081)

[2.1 Защита от подачи напряжения обратной полярности 5](#_Toc61654082)

[2.2 Индикация подачи напряжения обратной полярности 5](#_Toc61654083)

[2.3 Защита от перенапряжения 5](#_Toc61654084)

[2.4 Преобразование напряжения 6](#_Toc61654085)

[2.5 Защита от короткого замыкания на выходе 6](#_Toc61654086)

[2.6 Индикация напряжения питания на выходе 6](#_Toc61654087)

[3 Выбор элементов обвязки 7](#_Toc61654088)

[3.1 Расчёт резисторов для делителя напряжения 7](#_Toc61654089)

[3.2 Расчёт резистора для настройки частоты 8](#_Toc61654090)

[3.3 Расчёт резистора для ограничения пикового тока 8](#_Toc61654091)

[3.4 Расчёт катушки индуктивности 9](#_Toc61654092)

[3.5 Расчёт выходного конденсатора 12](#_Toc61654093)

[3.6 Расчёт входного конденсатора 13](#_Toc61654094)

[3.7 Стабилизация и компенсация наклона колебательного контура 13](#_Toc61654095)

[3.8 Расчёт пускового конденсатора 13](#_Toc61654096)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 14](#_Toc61654097)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 15](#_Toc61654098)

[Приложение А Схема электрическая функциональная 16](#_Toc61654099)

[Приложение Б Схема электрическая принципиальная 17](#_Toc61654100)

[Приложение В 3D-модель печатной платы 18](#_Toc61654101)

[Приложение Г Список электронных компонентов 19](#_Toc61654102)

# ВВЕДЕНИЕ

Зачастую при построении электрических схем, состоящих из нескольких электронных устройств, возникает задача преобразования постоянного напряжения — его повышение или понижение. Как правило, это связано с тем, что некоторые устройства могут иметь свой индивидуальный уровень питающего напряжения, отличный от других. Обеспечить же для каждого подобного устройства свой источник питания не представляется возможным, в результате чего и решают задачу преобразования напряжения от общего для всей схемы источника. Устройства, применяемые для данных задач, называют вторичными источниками питания, или преобразователями напряжения.

Преобразователи напряжения бывают двух видов — линейные и импульсные. Несмотря на свою простоту и отсутствие помех, линейный стабилизатор напряжения обладает недостатком в виде низкого КПД. В сравнении с линейным импульсный преобразователь напряжения имеет следующие особенности:

Преимущества:

* Высокий КПД, особенно при работе в больших диапазонах входных напряжений;

# Цели и задачи

Целью работы является приобретение основных навыков проектирования преобразователей напряжения: составление функциональной и электрической схемы устройства, подбор и расчёт электронных компонентов, трассировка печатной платы и расчёт стоимости платы.

Задача состоит в разработке импульсного повышающего преобразователя напряжения DC/DC 5 В/12 В на базе интегральной микросхемы TPS61378-Q1. Мощность устройства на выходе — 5 Вт. Преобразователь должен обеспечивать работу в диапазоне входных напряжений от 5 В до 9 В. В устройстве должна присутствовать индикация напряжения питания на выходе. Устройство должно быть защищена от короткого замыкания на выходе источника.

Необходимо создать проект в САПР Altium Designer, состоящий из принципиальной электрической схемы устройства и его печатной платы, подготовить список электронных компонентов и файлы для производства печатной платы, предоставить схему и отчёт по лабораторной работе в формате \*.pdf.

# Описание работы устройства

Функциональная электрическая схема устройства приведена в приложении А. Принципиальная электрическая схема устройства приведена в приложении Б.

Представленная схема решает задачу повышения и стабилизации напряжения с 5…9 В до 12 В при поддержании на выходе мощности 5 Вт путём реализации импульсного повышающего преобразователя напряжения на базе интегральной микросхемы TPS61378-Q1.

## Защита от подачи напряжения обратной полярности

Питание схемы осуществляется путём подключения к контактам VIN и GND клеммной колодки 1776275-2 двух проводов с разностью потенциалов от 5 до 9 В. Защита от подачи напряжения обратной полярности осуществляется путём разъединения земель с помощью полевого транзистора CSD19532Q5B, который открывается лишь при подаче питающего напряжения в цепь VIN, к которой подтянут его затвор.

## Индикация подачи напряжения обратной полярности

Для индикации подачи напряжения обратной полярности между цепями GND и VIN установлен светодиод TLMS1000-GS08 с токоограничивающим резистором RC0603FR-07220RL номиналом 220 Ом и дополнительным диодом Шоттки SS36-E3/57T. Необходимость использования диода Шоттки объясняется тем, что при подаче напряжения обратной полярности в случае больших значений этого напряжения рассеиваемая светодиодом мощность может превысить максимальную.

## Защита от перенапряжения

Для защиты от подачи напряжения свыше 9 В между цепями GND и VIN установлен стабилитрон BZD17C9V1P с номинальным напряжением стабилизации 9,1 В при токе 50 мА. Для ограничения тока в цепь также установлен резистор RC0603FR-07220RL номиналом 220 Ом. Для защиты стабилитрона при подаче напряжения обратной полярности также использован диод Шоттки SS36-E3/57T.

## Преобразование напряжения

Преобразование напряжение осуществляется микросхемой TPS61378-Q1, на базе которой реализован импульсный повышающий преобразователь напряжения.

Для настройки режима и обеспечения стабильности функционирования микросхемы, помимо входной и выходной емкостей и катушки индуктивности, необходим ряд вспомогательных конденсаторов и резисторов, расчёт которых приведён в разделе 3.

## Защита от короткого замыкания на выходе

Питание нагрузки от схемы осуществляется с путём подключение проводов, идущих её выводов к контактам VOUT и GND клеммной колодки 1776275-2.

Микросхема TPS61378-Q1 обладает внутренней защитой от короткого замыкания на выходе. При коротком замыкании на выходе в микросхеме срабатывает внутренний таймер, она снижает значение выходного тока и через 1,8 миллисекунды отключается, после чего перезапускается. Через 67 миллисекунд схема перезагружается.

## Индикация напряжения питания на выходе

С помощью вывода PG микросхемы TPS61378-Q1 можно осуществлять индикацию выходного напряжения. Для этих целей между выводами PG и потенциалом земли (GND) установлен светодиод TLMS1000-GS08 с токоограничивающим резистором RC0603FR-07220RL номиналом 220 Ом.

# Расчёт электронных компонентов

## Расчёт резисторов для делителя напряжения

Микросхема TPS61378-Q1 имеет два способа настройки выходного напряжения : фиксированный и регулируемый. В обоих случаях настройка осуществляется с помощью делителя напряжения, состоящего из двух резисторов — верхнего  и нижнего . Делитель напряжения подключается между выводом FB и потенциалом земли (GND).

В случаях, когда сопротивление нижнего резистора  внешнего делителя напряжения меньше 16 кОм, микросхема использует внутренний делитель напряжения и работает в фиксированном режиме, выдавая в зависимости от номинала нижнего резистора  напряжение  равное 5 В ( кОм), 5,25 В ( кОм) или 5,5 В ( кОм).

В случаях, когда сопротивление нижнего резистора  внешнего делителя напряжения больше 16 кОм, микросхема использует внешний делитель напряжения и работает в регулируемом режиме, выдавая выходное напряжение , В, которое вычисляется по формуле



где  — опорное напряжение, В; микросхема TPS61378-Q1 имеет опорное напряжение  В.

Задавшись выходным напряжением  В, путём несложных математических преобразований найдём из формулы соотношение между номиналами резисторов:



Принимая в учёт соотношение , рекомендацию по выбору нижнего резистора  кОм и условие для работы микросхемы в регулируемом режиме  кОм, выберем  кОм и  кОм.

## Расчёт резистора для настройки частоты

Микросхема TSP61378-Q1 осуществляет фиксированный контроль частоты переключения ключа , которая может принимать значения от 200 кГц до 2,2 МГц и настраивается с помощью резистора , подключенного между выводом FREQ и потенциалом земли (GND). Частота переключения связана с номиналом резистора по эмпирической формуле



где  — частота переключения ключа (транзистора), МГц;

 — сопротивление резистора, кОм.

Зададимся частотой переключений  МГц и рассчитаем номинал резистора:



Возьмём ближайший по ряду E24 резистор номиналом  кОм и пересчитаем частоту переключений:



## Расчёт резистора для ограничения пикового тока

Микросхема TSP61378-Q1 осуществляет внутренний контроль пикового тока и переводит ключ в закрытое состояние при достижении током порогового значения . Оно может быть настроен с помощью резистора , подключенного между выводом ILIM и потенциалом земли (GND). Пороговое значение тока связано с номиналом резистора по эмпирической формуле



где  — пороговое значение пикового тока, А;

 — сопротивление резистора, кОм.

Зададимся пороговым значение тока  А и рассчитаем номинал резистора:



Возьмём ближайший по ряду E24 резистор номиналом  кОм.

## Расчёт катушки индуктивности

Для работы импульсному повышающему преобразователю напряжения необходима катушка индуктивности для запасания энергии. Размах пульсации тока в катушке , А может быть вычислен по формуле



где  — входное напряжение питания, В;

 — выходное напряжение преобразователя, В;

 — коэффициент заполнения импульса;

 и  — длительность и период импульса соответственно, с;

 — индуктивность катушки, Гн;

 — частота переключения ключа (транзистора), Гц.

Поскольку мощности на входе и на выходе преобразователя напряжения связаны следующим соотношением:



где  и  — мощности на входе и на выходе преобразователя напряжения соответственно, Вт;

 — коэффициент полезного действия преобразователя напряжения,

можно выразить размах пульсации тока с учётом  как



где  — коэффициент пульсации тока;

 — входной ток, А.

Из формул и можно получить выражение для индуктивности катушки, которое принимает вид



Из формулы также несложно выразить коэффициент заполнения как



Подставив формулу в , получим



Определим зависимость индуктивности катушки от входного напряжения:



откуда ясно, что величина требуемой индуктивности как функция входного напряжения  имеет локальный максимум в точке  В, и, в силу ограниченности входного напряжения, условные минимумы в точках  В и  В. При этом в точке  В индуктивность имеет глобальный максимум на рассматриваемом диапазоне входных напряжений

Задавшись значениями , ,  В,  Вт и  МГц вычислим минимальное и максимальное значения требуемой индуктивности соответственно при  В и  В по формуле :





Возьмём катушку индуктивности номиналом 10 мкГн. Определим другие параметры катушки.

Пиковый ток катушки индуктивности , А вычисляется по формуле



или, с учётом уравнений , и ,



Рассчитаем минимальное и максимальное значения пикового тока соответственно при  В и  В:





Действующее (среднеквадратичное) значение тока катушки индуктивности , А вычисляется по формуле



или, с учётом уравнений , и ,



Рассчитаем минимальное и максимальное действующие значения тока соответственно при  В и  В:





Важно, чтобы пиковые значений тока не превышали ток насыщения катушки индуктивности, а действующие значения тока не превышали её номинального тока. Исходя из этих соображений выберем катушку индуктивности DEM8045Z-100M.

Теперь проверим, что во всех локальных экстремумах значение коэффициента пульсации тока не превышает допустимых значений, то есть удовлетворяет условию

:

;

;

Как видно, условие не нарушается, а значит, выбранная катушка индуктивности удовлетворяет поставленным требованиям.

## Расчёт выходного конденсатора

Также импульсному преобразователю напряжения необходим выходной конденсатор для запасания энергии, обеспечения стабильности колебательного контура и уменьшения выбросов напряжения при переходных процессах. Требуемая ёмкость выходного конденсатора , Ф может быть вычислена по формуле



или, с учётом ,



где  — входное напряжение питания, В;

 — выходное напряжение преобразователя, В;

 — выходная мощность преобразователя, Вт;

 — выходной ток преобразователя, А;

 — частота переключения ключа (транзистора), Гц;

 — требуемый размах пульсаций выходного напряжения, В.

Задавшись размахом пульсаций выходного напряжения  мВ, рассчитаем требуемую ёмкость выходного конденсатора по формуле :



В качестве выходной ёмкости будем использовать несколько конденсаторов CC0805KRX5R9BB106 номиналом 10 мкФ. Вследствие температурного изменения ёмкости в ±15 % от номинальной и собственного отклонения ёмкости в ±10 % от номинальной используем не три, а четыре таких конденсатора, получив выходную ёмкость  мкФ.

## Расчёт входного конденсатора

С целью обеспечения размаха пульсаций входного напряжения равным мкФ также используем набор из четырёх конденсаторов CC0805KRX5R9BB106 суммарной ёмкостью  мкФ.

## Стабилизация и компенсация наклона колебательного контура

Микросхема TSP61378-Q1 осуществляет управление пиковым током с фиксированной частотой. Для подавления субгармонических колебаний в ней используется внутренняя адаптивная компенсация наклона амплитудно-частотной (АЧХ) и фазочастотной (ФЧХ) характеристик колебательного контура при номинальном входном напряжении.

Не вдаваясь в подробности осуществления компенсации наклона, заметим, что она осуществляется путём подключения к выводу COMP RC-цепочки, состоящей, собственно, из резистора и конденсатора. Номиналы этих компонентов подбираются таким образом, чтобы наклон ФЧХ колебательного контура при номинальном входном напряжении был более /дек, а АЧХ при тех же условиях — более 10 дБ/дек.

Для стабилизации и компенсации колебательного контура выберем резистор номиналом  кОм и конденсатор номиналом  нФ.

## Расчёт конденсатора накачки

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы был изучен принцип функционирования импульсного повышающего преобразователя напряжения. Также были изучены основы расчёта электрических компонентов преобразователя.

Был произведён расчёт электрических компонентов, необходимых для функционирования преобразователя напряжения в требуемом режиме — с заданными значениями выходных тока и напряжения, а также диапазона входных напряжений.

Была рассчитана стоимость производства печатной платы и закупки электронных компонентов для поверхностного монтажа.

Были представлены принципиальная электрическая схема, файлы для производства печатной платы, список электронных компонентов и файлы проекта САПР Altium Designer.

В результате выполнения работы были получены навыки расчёта и проектирования импульсных преобразователей напряжения.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. TPS61378-Q1 25-µA Quiescent Current Synchronous Boost Converter with Load Disconnect [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61378-q1.pdf> (дата обращения: 01.01.2021).
2. Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/an/slva372c/slva372c.pdf> (дата обращения: 01.01.2021).
3. Working with Boost Converters [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/an/snva731/snva731.pdf> (дата обращения: 01.01.2021).

# Приложение А Схема электрическая функциональная

# Приложение Б Схема электрическая принципиальная

# Приложение В 3D-модель печатной платы

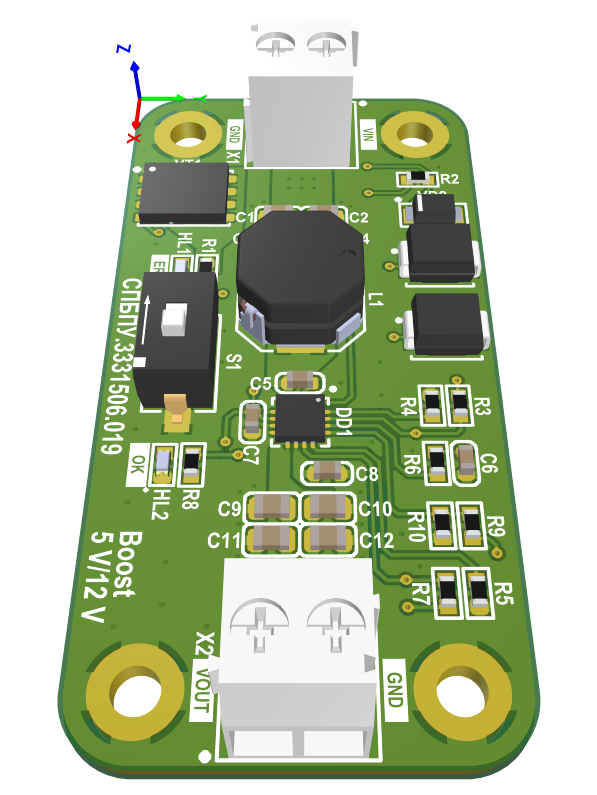


Рисунок В.1 — 3D-модель печатной платы

# Приложение Г Список электронных компонентов

Таблица Г.1 — Список электронных компонентов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Описание | Наименование | Производитель | Количество |
| Конденсатор чип 0805  10 мкФ 50 В ±10 % | CC0805KRX5R9BB106 | YAGEO Corp. | 8 |
| Конденсатор чип 0603  1 мкФ 50 В ±10 % | CC0603KPX5R9BB105 | YAGEO Corp. | 2 |
| Конденсатор чип 0603  2,2 нФ 50 В ±10 % | CC0603KRX7R9BB222 | YAGEO Corp. | 1 |
| Конденсатор чип 0603  2,2 мкФ 50 В ±10 % | CC0603KRX5R9BB225 | YAGEO Corp. | 1 |
| Повышающий преобразователь напряжения 18,5 В и 4,8 А | TPS61378QWRTERQ1 | Texas Instruments | 1 |
| Светодиод чип 0603 красный | TLMS1000-GS08 | Vishay Intertechnology, Inc. | 1 |
| Светодиод чип 0603 зеленый | TLMG1100-GS08 | Vishay Intertechnology, Inc. | 1 |
| Катушка индуктивности  10 мкГн ±20 % | DEM8045Z-100M | Murata Manufacturing Co., Ltd. | 1 |
| Резистор чип 0603  220 Ом ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-07220RL | YAGEO Corp. | 3 |
| Резистор чип 0603  10 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-0710KL | YAGEO Corp. | 2 |
| Резистор чип 0603  27 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-0727KL | YAGEO Corp. | 1 |
| Резистор чип 0603  39 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-0739KL | YAGEO Corp. | 1 |
| Резистор чип 0603  100 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-07100KL | YAGEO Corp. | 1 |
| Резистор чип 0603  470 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-07470KL | YAGEO Corp. | 1 |
| Резистор чип 0603  33 кОм ±1 % 0,1 Вт | RC0603FR-0733KL | YAGEO Corp. | 1 |
| 2-х позиционный движковый переключатель | SDA01H1SBD | C&K | 1 |
| Диод Шоттки 60 В 3 А | SS36-E3/57T | Vishay Intertechnology, Inc. | 2 |
| Стабилитрон 9,1 В | BZD17C9V1P | Vishay Intertechnology, Inc. | 1 |
| Транзистор полевой  N-канальный 100 В 17 А | CSD19532Q5B | Texas Instruments | 1 |
| Клеммная колодка с 2 выводами с шагом 3,5 мм | 1776275-2 | TE Connectivity | 2 |