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 4](#_Toc61795769)

[1 Цели и задачи 5](#_Toc61795770)

[2 Описание интегральной микросхемы TPS61378-Q1 6](#_Toc61795771)

[2.1 Основные особенности 6](#_Toc61795772)

[2.2 Предназначение выводов микросхемы 7](#_Toc61795773)

[3 Описание работы устройства 10](#_Toc61795774)

[3.1 Защита от подачи напряжения обратной полярности 10](#_Toc61795775)

[3.2 Индикация подачи напряжения обратной полярности 10](#_Toc61795776)

[3.3 Преобразование напряжения 11](#_Toc61795777)

[3.4 Защита от короткого замыкания на выходе 11](#_Toc61795778)

[3.5 Индикация напряжения питания на выходе 11](#_Toc61795779)

[4 Расчёт электронных компонентов 12](#_Toc61795780)

[4.1 Расчёт резисторов для делителя напряжения 12](#_Toc61795781)

[4.2 Расчёт резистора для настройки частоты 13](#_Toc61795782)

[4.3 Расчёт резистора для ограничения пикового тока 13](#_Toc61795783)

[4.4 Расчёт катушки индуктивности 14](#_Toc61795784)

[4.5 Расчёт выходного конденсатора 17](#_Toc61795785)

[4.6 Расчёт входного конденсатора 18](#_Toc61795786)

[4.7 Стабилизация и компенсация наклона колебательного контура 18](#_Toc61795787)

[4.8 Расчёт конденсатора накачки 19](#_Toc61795788)

[4.9 Расчёт конденсатора регулятора VCC 19](#_Toc61795789)

[4.10 Выбор подтягивающих резисторов 19](#_Toc61795790)

[4.11 Выбор прочих компонентов 20](#_Toc61795791)

[5 Расчёт стоимости производства устройства 21](#_Toc61795792)

[5.1 Стоимость производства печатной платы 21](#_Toc61795793)

[5.2 Стоимость закупки компонентов 21](#_Toc61795794)

[Заключение 23](#_Toc61795795)

[Список использованных источников 24](#_Toc61795796)

[Приложение А Схема электрическая функциональная 25](#_Toc61795797)

[Приложение Б Схема электрическая принципиальная 26](#_Toc61795798)

[Приложение В 3D-модель печатной платы 27](#_Toc61795799)

[Приложение Г Список электронных компонентов 28](#_Toc61795800)

# 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 преимущества

* Высокий КПД, особенно при работе в больших диапазонах входных напряжений;
* Малые габариты и масса (высокая удельная мощность);
* Принципиальная возможность гальванической развязки входных и выходных цепей.

Несмотря на все преимущества, импульсный преобразователь напряжения имеет также ряд недостатков:

* Импульсные помехи во входных и выходных цепях;
* Нестабильность выходного напряжения при изменении входного напряжения или тока;
* Длительные переходные процессы;

Тем не менее, его достоинства покрывают эти недостатки. В данной работе будет разрабатываться и рассчитываться именно импульсный преобразователь напряжения.

# 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 интегральной микросхемы TPS61378-Q1

## Основные особенности

Интегральная микросхема TPS61378-Q1 — это синхронный повышающий преобразователь напряжения с интегрированной функцией отключения нагрузки. Входное напряжение составляет от 2,3 В до 14 В, а максимальная выходное напряжение — до 18,5 В. Пороговое значение тока программируется от 1 А до 4,8 А. Микросхема потребляет ток величиной в 25 мкА с вывода VIN.

Микросхема TPS61378-Q1 осуществляет управляет пиковым тока с программируемой частотой переключения ключа от 200 кГц до 2,2 МГц. Устройство работает в режиме широтно-импульсной модуляции фиксированной частоты при средней и большой нагрузке. Также возможны два дополнительных режима при легкой нагрузке путем настройки вывода MODE: режим автоматической частотно-импульсной модуляции и режим принудительной широтно-импульсной модуляции для балансировки эффективности и помехоустойчивости. Частота переключения может быть синхронизирована с внешним кварцевым резонатором. Кроме того, в микросхеме используется режим плавного пуска для ограничения пускового тока.

Микросхема TPS61378-Q1 способна поддерживать различные значения выходного напряжения с помощью внешнего делителя напряжения. Она поддерживает внешнюю компенсацию колебательного контура, так что устойчивость и характер переходного процесса могут быть оптимизированы в более широком диапазоне входных и выходных напряжений. Также микросхема сочетает в себе надёжные функции защиты, включая защиту от короткого замыкания на выходе, защиту от перенапряжения на выходе и защиту от теплового отключения. Микросхема TPS61378-Q1 выпускается в единственном варианте поставки TPS61378-QWRTER1 в 16-контактном корпусе WQFN-16 размером  мм ([1], p. 1). Условно-графическое обозначение микросхемы TPS61378-QWRTER1 представлено на рисунке Рисунок 2.1. Основные характеристики микросхемы TPS61378-QWRTER1 приведены в таблице Таблица 2.1.

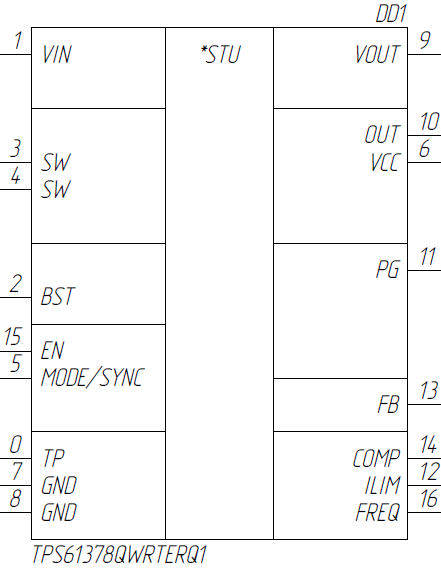


Рисунок 2.1 — Условно-графическое обозначение микросхемы TPS61378-QWRTER1

Таблица 2.1 — Основные харакетристики микросхемы TPS61378-QWRTER1

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика | Значение |
| Диапазон входных напряжений | от 2,3 В до 14,0 В |
| Диапазон выходных напряжений | от 4,0 В до 18,5 В |
| Потребляемый ток | 25 мкА |
| Диапазон частот переключения ключа | от 200 кГц до 2,2 МГц |
| Диапазон рабочих температур | от –40 °C до +125 °C |

## Предназначение выводов микросхемы

Микросхемы TPS61378-QWRTER1 имеет следующие выводы:

* VIN — вход питания интегральной микросхемы. К этому выводу подводится входное напряжения ;
* BST — вход для обеспечения питанием драйверов затвора верхнего внутреннего N-канального МДП-транзистора. К этому выводу подключается конденсатор накачки ;
* SW — силовой вход коммутационного узла преобразователя напряжения. Этот вывод подключён к стоку нижнего внутреннего N-канального МДП-транзистора и истоку верхнего внутреннего N-канального МДП-транзистора. К этому выводу подключается катушка индуктивности;
* MODE/SYNC — вход настройки режима модуляции импульсов. При подаче на этот вывод высокого уровня напряжения преобразователь напряжения работает в режиме принудительной широтно-импульсной модуляции, при подаче низкого уровня напряжения или при подвешенном состоянии вывода — автоматическая частотно-импульсная модуляция. К этому выводу также может быть подключен внешний кварцевый резонатор;
* VCC — выход внутреннего регулятора напряжения. К этому выводу подключается конденсатор ;
* GND — силовой выход с нулевым потенциалом (земля) интегральной микросхемы. Этот вывод подключён к истоку нижнего внутреннего N-канального МДП-транзистора. Этот вывод должен быть подключен к цепи с потенциалом земли.
* VOUT — силовой выход внутреннего развязывающего МДП-транзистора. С этого вывода снимается выходное напряжение  при необходимости получения гальванической развязки между входом и выходом;
* OUT — силовой выход верхнего внутреннего N-канального МДП-транзистора. С этого вывода снимается выходное напряжение  (либо он закорачивается с выводом VOUT) при отсутствии необходимости гальванической развязки между входом и выходом и для отключения возможностей отключения нагрузки и защиты от короткого замыкания на выходе;
* PG — выход в режиме «открытый коллектор» (англ. open drain). Этот вывод используется для индикации напряжения на выходе;
* ILIM — вход для настройки порогового значения тока. К этому выводу подключается резистор ;
* FB — вход цепи обратной связи. К этому выводу подключается внешний делитель напряжения для настройки выходного напряжения ;
* COMP — вход внутреннего усилителя ошибки наклона частотных характеристик колебательного контура. К этому выводу подключается внешняя RC-цепочка для оптимизации устойчивости и времени отклика;
* EN — логический вход включения/отключения преобразователя напряжения;
* FREQ — вход для настройки частоты переключения ключа. К этому выводу подключается резистор ;
* TP — вывод для отвода тепла. Этот вывод должен быть подключен к цепи с потенциалом земли для рассеяния тепловой энергии.

# Описание работы устройства

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

Представленная схема решает задачу повышения напряжения с 5…9 В до 12 В и его стабилизации при поддержании на выходе мощности 5 Вт путём построения схемы импульсного повышающего преобразователя напряжения на базе интегральной микросхемы TPS61378-QWRTER1.

## 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 разделения земель с помощью полевого транзистора CSD19532Q5B, который открывается лишь при подаче питающего напряжения в цепь VIN, к которой подтянут его затвор.

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

## 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.

## Преобразование напряжения

Преобразование напряжение осуществляется микросхемой TPS61378-QWRTER1, на базе которой построена схема импульсного повышающего преобразователя напряжения.

Для настройки режима работы и обеспечения стабильности функционирования микросхемы, помимо входной и выходной емкостей и катушки индуктивности, необходим ряд вспомогательных конденсаторов и резисторов, расчёт которых приведён в разделе 4.

## 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 ([1], p. 14). 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 ([1], p. 14). 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 ([1], pp. 16 – 17).

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 ([1], eq. 3)



где  — опорное напряжение, В; для TPS61378-Q1  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 резисторы RC0603FR-07470KL номиналом  кОм и RC0603FR-0733KL номиналом  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 ([1], p. 13). Частота переключения связана с номиналом резистора по эмпирической формуле ([1], eq. 1)



где  — частота переключения ключа (транзистора), МГц;

 — сопротивление резистора, кОм.

Зададимся частотой переключения  МГц и рассчитаем номинал резистора:



Возьмём ближайший по ряду E24 резистор RC0603FR-0739KL 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 порога . Он может быть настроено с помощью резистора , подключенного между выводом ILIM и потенциалом земли GND ([1], p. 13). Пороговое значение тока связано с номиналом резистора по эмпирической формуле ([1], eq. 2)



где  — пороговое значение пикового тока, А;

 — сопротивление резистора, кОм.

Зададимся пороговым значение тока  А и рассчитаем номинал резистора:



Возьмём ближайший по ряду E24 резистор RC0603FR-0727KL номиналом  кОм.

## Расчёт катушки индуктивности

Для работы импульсному повышающему преобразователю напряжения необходима катушка индуктивности для запасания энергии ([1], p. 17). Размах пульсации тока в катушке , А может быть вычислен по формуле ([1], eq. 4)



где  и  — входное и выходное напряжения 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 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 ([1], eq. 5)



где  — коэффициент пульсации тока;

 — входной ток, А.

Из формул и можно получить выражение для индуктивности катушки, которое принимает вид ([1], eq. 6)



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 :





Определим другие параметры катушки.

Пиковый ток катушки индуктивности , А вычисляется по формуле ([1], eq. 7)



или, с учётом уравнений , и ([1], eq. 9),



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





Действующее (среднеквадратичное) значение тока катушки индуктивности , А вычисляется по формуле ([1], eq. 10)



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 номиналом 10 мкГн.

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 ([1], p. 19). Требуемая ёмкость выходного конденсатора , Ф может быть вычислена по формуле ([1], eq. 11)



или, с учётом ,



где  и — входное и выходное напряжения 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

Для фильтрации импульсных помех на входе импульсному преобразователю напряжения необходим входной конденсатор. Притом, чем больше номинал входного конденсатора, тем больший размах пульсаций этот конденсатор способен отфильтровать ([1], p. 20).

С целью обеспечения размаха пульсаций входного напряжения равным мкФ в качестве входной ёмкости 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 фазо-частотной (ФЧХ) характеристик колебательного контура при номинальном входном напряжении ([1], pp. 20 – 23).

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 RC0603FR-07100KL номиналом  кОм и конденсатор CC0603KRX7R9BB222 номиналом  нФ.

## Расчёт конденсатора накачки

Для накачки затвора МДП-транзистора, расположенного внутри микросхемы TPS61378-Q1, используется конденсатор накачки конденсатор , который подключается между выводами BST и SW. На его роль рекомендуются высококачественные керамические конденсаторы с низким эквивалентным последовательным сопротивлением номиналом от 0,1 мкФ до 1 мкФ ([1], p. 23).

В качестве конденсатора накачки выберем конденсатор CC0603KPX5R9BB224 номиналом  мкФ.

## Расчёт конденсатора регулятора VCC

Для обеспечения питанием драйвера и нагрузочного конденсатора и поддержания стабильности работы регулятора VCC микросхемы TPS61378-Q1 используется конденсатор  между выводом VCC и потенциалом земли GND. На его роль рекомендуются высококачественные керамические конденсаторы с низким эквивалентным последовательным сопротивлением номиналом, превышающим номинал конденсатора накачки  хотя бы в 10 раз ([1], p. 23).

В качестве конденсатора регулятора VCC выберем конденсатор CC0603KPX5R9BB225 номиналом  мкФ.

## Выбор подтягивающих резисторов

Для работы преобразователя напряжения на базе микросхемы TPS61378-Q1 на её вывод EN необходимо подать высокий уровень напряжения ([1], p. 12). Для этого необходимо выполнить подтяжку к питанию VCC. Также выполнить подтяжку к питанию необходимо для вывода PG, так как работает в режиме «открытый коллектор» (англ. open drain в случае использования МДП-транзисторов) ([1], p. 14).

В качестве подтягивающих резисторов, как правило, выбирают резисторы номиналом от 10 кОм и выше. Выберем резисторы RC0603FR-0710KL номиналом 10 кОм.

## Выбор прочих компонентов

Для включения/выключения преобразователя напряжения между выводом EN и потенциалом земли GND установлен двухпозиционный движковый переключатель SDA01H1SBD. Этот переключатель является нормально закрытым ключом, что соответствует замыканию вывода EN на потенциал земли GND и подачу на него низкого уровня напряжения, то есть отключению преобразователя напряжения.

Также для работы микросхемы необходимо подключить конденсатор номиналом от 0,22 мкФ до 1 мкФ между выводом OUT и потенциалом земли GND ([1], p. 20). В качестве него выбран конденсатор CC0603KPX5R9BB224 номиналом 0,22 мкФ.

# Расчёт стоимости производства устройства

## Стоимость производства печатной платы

Произведём оценку стоимости производства печатной платы. Спроектированная плата имеет два проводящих слоя толщиной 35 мкм и размеры  мм. Диаметр переходных отверстий — 0,3 мм. Маска и маркировка (шелкография) нанесены с обоих сторон платы.

При заказе производства серии из 10 плат с указанными выше параметрами в компании «Резонит» стоимость партии оценивается в 3362 руб. 52 коп. (см. рисунок Рисунок 5.1).

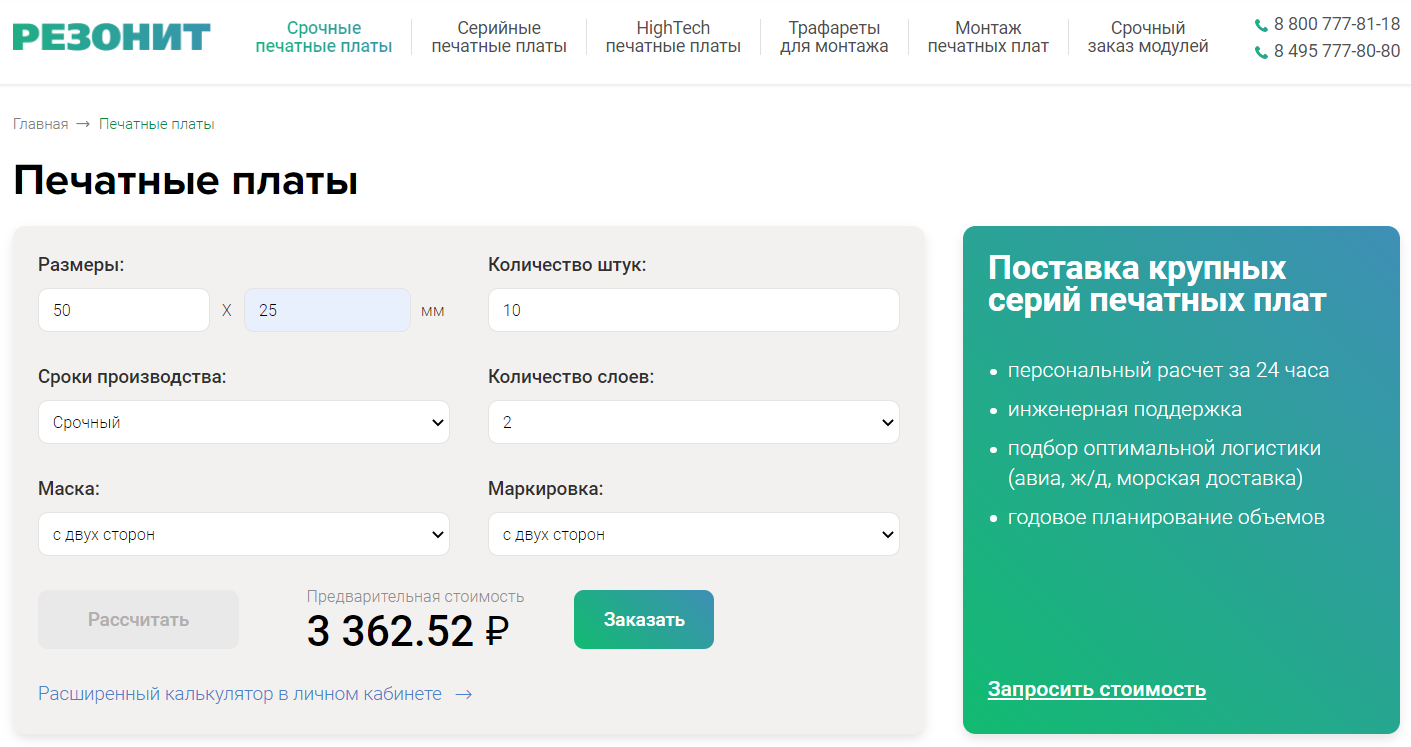


Рисунок 5.1 — Калькулятор заказов на сайте компании «Резонит» (<https://www.rezonit.ru/>)

## Стоимость закупки компонентов

Список электронных компонентов приведён в приложении В.

Произведём оценку стоимости закупки компонентов. С помощью инструмента Price and Availability Assistant выполним расчёт стоимости компонентов. Информация о стоимости компонентов приведена в таблице Таблица 5.1.

В соответствии с таблицей Таблица 5.1, суммарная стоимость компонентов составляет $26,567, что по курсу $1 = 73,54 руб. соответствует 1953 руб. 74 коп.

Таким образом, стоимость производства платы и закупки компонентов (то есть стоимость устройства) составляет величину порядка 2289 руб. 00 коп.

Таблица 5.1 — Стоимость компонентов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Part Number Mouser | Part Number  производителя | Производитель | Количество | Цена за штуку | Стоимость |
| 603-CC805KRX5R9BB106 | CC805KRX5R9BB106 | Yageo | 8 | $0.682 | $5.46 |
| 603-CC0603KRX5R9BB22 | CC0603KRX5R9BB224 | Yageo | 2 | $0.291 | $0.58 |
| 603-C0603KRX7R9BB222 | CC0603KRX7R9BB222 | Yageo | 1 | $0.163 | $0.16 |
| 603-CC0603KRX59BB225 | CC0603KRX5R9BB225 | Yageo | 1 | $0.567 | $0.57 |
| 595-TPS61378QWRTERQ1 | TPS61378QWRTERQ1 | Texas  Instruments | 1 | $5.15 | $5.15 |
| 78-TLMS1000 | TLMS1000-GS08 | Vishay | 1 | $0.649 | $0.65 |
| 78-TLMG1100 | TLMG1100-GS08 | Vishay | 1 | $0.714 | $0.71 |
| 81-DEM8045Z-100M=P3 | DEM8045Z-100M=P3 | Murata | 1 | $1.46 | $1.46 |
| 603-RC0603FR-07220RL | RC0603FR-07220RL | Yageo | 3 | $0.163 | $0.49 |
| 603-RC0603FR-0710KL | RC0603FR-0710KL | Yageo | 2 | $0.163 | $0.33 |
| 603-RC0603FR-0727KL | RC0603FR-0727KL | Yageo | 1 | $0.163 | $0.16 |
| 603-RC0603FR-0739KL | RC0603FR-0739KL | Yageo | 1 | $0.163 | $0.16 |
| 603-RC0603FR-07100KL | RC0603FR-07100KL | Yageo | 1 | $0.163 | $0.16 |
| 603-RC0603FR-07470KL | RC0603FR-07470KL | Yageo | 1 | $0.163 | $0.16 |
| 603-RC0603FR-0733KL | RC0603FR-0733KL | Yageo | 1 | $0.163 | $0.16 |
| 611-SDA01H1SBD | SDA01H1SBD | C&K Switches | 1 | $1.99 | $1.99 |
| 625-SS36-E3 | SS36-E3/57T | Vishay | 2 | $0.827 | $1.65 |
| 78-BZD17C9V1P | BZD17C9V1P-E3-08 | Vishay | 1 | $0.207 | $0.207 |
| 595-CSD19532Q5B | CSD19532Q5B | Texas  Instruments | 1 | $4.08 | $4.08 |
| 571-1776275-2 | 1776275-2 | TE Connectivity | 2 | $1.14 | $2.28 |
|  |  |  |  | Итого: | $26.567 |

# 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

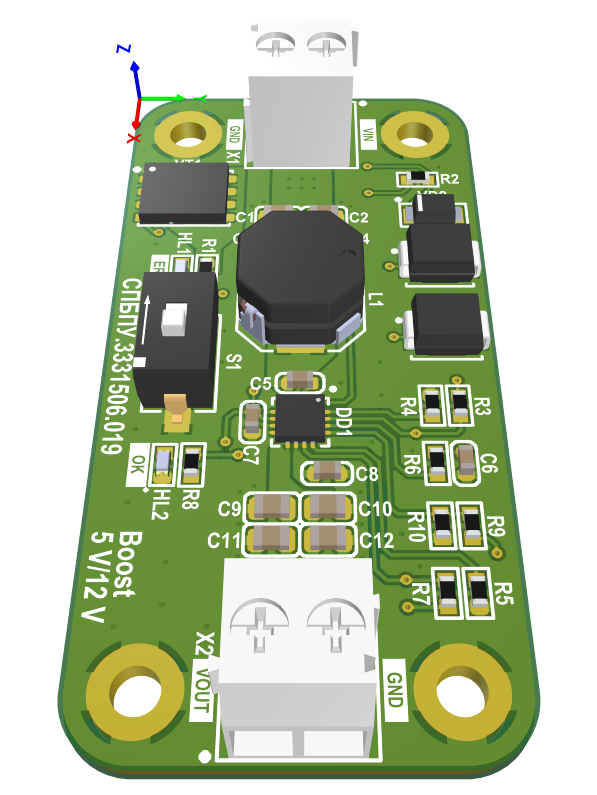


Рисунок В.1 — 3D-модель печатной платы

# 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  220 нФ 50 В ±10 % | CC0603KPX5R9BB224 | 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 |