

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: Вторичный источник питания

Студент гр. 3331506/70401

Преподаватель

Козлов Д. А.

Капустин Д. А.

« » _____ 2021 г.

Санкт-Петербург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

ЗАДАНИЕ	3
1. Описание микросхемы TPS55165-Q1	4
1.1 Конфигурация контактов и их описание	5
1.2 Режимы работы	6
1.2.1 Нормальный режим.....	6
1.2.2 Режим пониженного энергопотребления	7
1.2.3 Функция расширенного спектра	7
1.3 Защита микросхемы	7
1.3.1 Защита от перегрузки по току	8
1.3.2 Защита от перегрева.....	8
1.3.3 Защита от перенапряжения на выходе.....	8
2. Реализация преобразователя.....	9
2.1 Выбор компонентов.....	9
2.2 Компоновка элементов и выполнение трассировки	10
2.3 Расчет стоимости производства платы.....	11
2.3.1 Стоимость текстолита	11
2.3.2 Стоимость компонентов	12
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	13
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	14

ЗАДАНИЕ

Разработать понижающий-повышающий преобразователь напряжения на основе микросхемы TPS55160-Q1 DC/DC 24V/9V. Мощность преобразователя 5Вт. Преобразователь должен обеспечивать работу в диапазоне входных напряжений от 5В до 24В. В устройстве должна присутствовать индикация напряжения питания на выходе. Устройство должно быть защищено от КЗ на выходе источника.

1. Описание микросхемы TPS55165-Q1

Микросхема TPS55165-Q1 [1] является понижающим-повышающим DC/DC преобразователем напряжения. Данный тип преобразователя имеет возможность работать как на повышение, так и на понижение напряжения. Пример применения понижающего-повышающего преобразователя – питание устройств, которым надо 12 В в автомобиле, где напряжение в зависимости от ситуации может меняться от 10 В до 15 В.

Переключение между повышающим режимом и понижающим происходит автоматически с оптимальной эффективностью.

Выходное напряжение данной микросхемы фиксировано и может равняться 5 В или 12 В в зависимости от подключаемых внешних элементов. В данной работе реализована конфигурация, обеспечивающая на выходе 12 В.

Выходные токи могут достигать 1 А для нормального входного напряжения и 0,4 А для более низкого входного напряжения.

Преобразователь основан на широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с фиксированной частотой. Частота переключения – 2 МГц, что позволяет использовать небольшой индуктор, который занимает меньше места на плате.

Основные характеристики микросхемы TPS55165-Q1 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики микросхемы TPS55165-Q1

Характеристика	Значение
Частота переключения f_{sw}	2 МГц
Входное напряжение U_{in}	6-36 В
Выходное напряжение U_{out}	5/12 В
Средний выходной ток I_{out}^{avr}	700 мА
Минимальная индуктивность	3,3 мкГн

1.1 Конфигурация контактов и их описание

В данной работе используется конфигурация микросхемы с 20 контактами и термопадом (см. рисунок 1), который необходим для более быстрого охлаждения преобразователя.

2	L1	*STU	L2	20
3	BST1		BST2	19
4	VINP		PG	15
5	VINL		VOUT	17
			VOUT_SENSE	16
8	IGN_PWRL			
6	IGN		SS_EN	9
7	PS		VOS_FB	14
1	PGND		VREG	12
0	TPAD		VREG_Q	11
18	GND		PG_DLY	10
13	GND			

Рисунок 1 – УГО микросхемы TPS55165-Q1

Ниже приведено краткое описание каждого контакта [1, стр. 3-4]:

- 1-PGND, 18-GND, 13-GND – заземляемые контакты;
- 2-L1, 3-BST1 и 20-L2, 19-BST2 – узлы, отвечающие за переключение в понижающий и повышающий режим соответственно, между L-контактом и BST-контактом необходим конденсатор емкостью 0,1 мкФ;
- 4-VINP – входное напряжение от источника питания;
- 5-VINL – входное напряжение от источника питания, необходимое для внутренней логики преобразователя;
- 6-IGN – включение/выключение микросхемы, включение – когда подается логическая 1, выключение – когда подается логический 0;
- 7-PS – управление режимом пониженного энергопотребления, активно – логическая 1, неактивно – логический 0;

— 8-IGN_PWRL – блокировка питания, активна – логическая 1, неактивна – логический 0, в активном состоянии данная функция игнорирует выключение микросхемы через контакт IGN;

— 9-SS_EN – режим расширенного спектра частоты, активен – логическая 1, неактивен – логический 0;

— 15-PG – состояние выходного напряжения, логическая 1 – выходное напряжение соответствует номинальному значению, логическая 0 – не соответствует, open-drain контакт, поэтому требуется доопределение до какого-либо уровня;

— 10-PG_DLY – управление временем задержки для 15-PG, если соединить с резистором, сопротивление которого 10-100 кОм, то время задержки составит 0,5-40 мс, если заземлить, то время задержки составит 2 мс;

— 11-VREG_Q – контакт, отвечающий за обратную связь преобразователя, заземляется через емкость 4,7 мкФ;

— 12-VREG – контакт, отвечающий за питание преобразователя, заземляется вместе с 11-VREG_Q через емкость 4,7 мкФ;

— 14-VOS_FB – устанавливает значение выходного напряжения, заземлен - $U_{out} = 5$ В, подключен к 12-VREG - $U_{out} = 12$ В;

— 17-VOUT – выходное напряжение;

— 16-VOUT_SENSE – контакт, подключаемый к 17-VOUT;

1.2 Режимы работы

Режим работы микросхемы TPS55165-Q1 устанавливается через PS-контакт. Когда уровень низкий, преобразователь работает в нормальном режиме [1, стр. 20] с постоянным значение частоты переключения f_{sw} . Когда уровень высокий, преобразователь работает в режиме пониженного энергопотребления [1, стр. 20] с частотно-импульсной модуляцией.

Также данная микросхема обладает функцией расширенного спектра [1, стр. 17], которая включается и отключается через контакт SS_EN.

1.2.1 Нормальный режим

Для регулирования выходного напряжения при всех возможных значения входного напряжения, преобразователь автоматически переключается с понижающего режима на повышающий и обратно в соответствии с конфигурацией микросхемы. Регулятор работает как понижающий преобразователь, когда входное напряжение выше выходного и как повышающий, когда входное напряжение ниже выходного. Ток через контур индуктора поддерживается на минимальном уровне, чтобы минимизировать коммутационные и проводящие потери.

В нормальном режиме преобразователь работает непрерывно с частотой переключения $f_{sw} = 2$ МГц для всего диапазона токов нагрузки и даже при отсутствии нагрузки на выходе и при напряжении питания U_{in} от 2 В до 27 В.

1.2.2 Режим пониженного энергопотребления

В маломощном режиме преобразователь временно прекращает работу и выходное напряжение U_{out} падает. Падение выходного напряжения зависит от нагрузки и выходной емкости. Когда U_{out} падает до значения меньшего, чем целевое, устройство увеличивает U_{out} , подавая один или несколько импульсов до тех пор, пока U_{out} не превысит пороговое значение. При переходе в режим пониженного энергопотребления внутренний генератор импульсов отключается.

1.2.3 Функция расширенного спектра

Данный режим работы позволяет модулировать частоту переключения f_{sw} с помощью псевдослучайного алгоритма. Эта функция может быть включена только в том случае, если устройство находится в нормальном понижающем режиме работы, и не может быть включена в режиме пониженного энергопотребления.

1.3 Защита микросхемы

Микросхема TPS55165-Q1 обладает защитой от перегрузки по току [1, стр. 17], от перегрева [1, стр. 17], от перенапряжения на выходе [1, стр. 18].

1.3.1 Защита от перегрузки по току

Преобразователь имеет два способа защиты от перегрузки по току.

Существует средний предел тока, который обеспечивает защиту от перегрузки по току. При достижении данного предела тока в цепи индуктора выходное напряжение постепенно уменьшается, но контур управления все равно пытается поддерживать целевое выходное напряжение, поэтому при уменьшении тока выходное напряжение постепенно снова достигнет своего целевого значения.

Также имеется пиковое значение тока в силовых транзисторах. При достижении данного значения преобразователь выключается и перезапускается через 5,5 мкс. Если происходит 3 события перегрузки по току подряд, то запускается тайм-аут в 12 мс. По истечению тайм-аута микросхема снова перезапускается.

При работе преобразователя в маломощном режиме обе функции защиты отключаются.

1.3.2 Защита от перегрева

Внутренние силовые транзисторы защищены от перегрева при помощи отключения устройства, т. е. в случае обнаружения состояния перегрева микросхема отключается и запускается тайм-аут длительностью 12 мс. По истечению тайм-аута, если состояние перегрева исчезло, преобразователь продолжает работать. При работе преобразователя в маломощном режиме данная функция защиты отключается.

1.3.3 Защита от перенапряжения на выходе

При достижении выходного напряжения предельного значения микросхема отключается и запускается тайм-аут длительностью 12 мс. По истечению тайм-аута, если состояние перенапряжения исчезло, преобразователь продолжает работать. При работе преобразователя в маломощном режиме данная функция защиты отключается.

2. Реализация преобразователя

В данном разделе описывается выбор компонентов для микросхемы TPS55165-Q1, компоновка элементов и выполнение трассировки, а также расчет стоимости производства платы.

2.1 Выбор компонентов

В таблице 2 представлены номинальные значения входного конденсатора C_{in} , выходного конденсатора C_{out} и катушки индуктивности L , которые рекомендованы производителем [1, стр. 31].

Таблица 2 – Рекомендации производителя

Компонент	Номинал
C_{in}	>8,2 мкФ
C_{out}	18-47 мкФ
L	3,3-6,2 мкГн

Для входного конденсатора C_{in} напряжение должно превышать максимальное входное напряжение U_{in} [1, стр. 32], поэтому выбираем конденсатор емкостью 10 мкФ, рассчитанный на напряжение 50 В.

Также для лучшей фильтрации шумов рекомендуется параллельно со входным конденсатором поставить конденсатор емкостью 0,470 мкФ [1, стр. 32].

В качестве выходной емкости C_{out} в соответствии с рекомендациями производителя [1, стр. 32] был выбран конденсатор емкостью 22 мкФ, рассчитанный на 25 В.

Аналогично со входной емкостью, на выходе параллельно C_{out} необходимо поставить конденсатор емкостью 0,100 мкФ [1, стр. 32].

Между контактами L1 и BST1 необходим конденсатор емкостью 0,1 мкФ [1, стр. 3]. Между контактами L2 и BST2 так же необходим конденсатор емкостью 0,1 мкФ [1, стр. 4].

Между контактами L1 и L2 необходим индуктор с номиналом 4,7 мкГн [1, стр. 4].

Выводы VREG_Q и VREG необходимо заземлить через конденсатор емкостью 4,7 мкФ [1, стр. 4].

Так как PG является open-drain выводом, то его необходимо подтянуть к питанию при помощи резистора сопротивлением 100 кОм. Также данный контакт используется для индикации питания при помощи зеленого светодиода.

Режимы работы и функции микросхемы управляются при помощи 3 двухпозиционных переключателей типа jumper (выводы IGN_PWRL, IGN, PS) и 1 обычного двухпозиционного переключателя (вывод SS_EN). Для SS_EN не нужен переключатель типа jumper, так как он управляется двумя состояниями – открытое и низкий уровень. Остальные же контакты управляются высоким и низким уровнем.

Для подключения источника питания и нагрузки к плате было выбрано два разных двухконтактных разъема. Разные для того, чтобы было сложнее перепутать вход и выход при использовании преобразователя.

2.2 Компоновка элементов и выполнение трассировки

Компоновка элементов и выполнение трассировки производились согласно рекомендациям производителя микросхемы [1, стр. 35-36].

Компоновка элементов была выполнена следующим образом:

- для уменьшения площади высокочастотного контура катушка индуктивности размещена максимально близко к микросхеме;
- входные и выходные фильтрующие конденсаторы размещены максимально близко к микросхеме, чтобы контуры переменного тока были короткими, а пространственные области, заключенные в контуры, были минимизированы;
- развязывающий конденсатор размещен близко к контакту VREG, чтобы ограничить шумы;
- светодиод, сигнализирующий напряжение питания на выходе, помещен в правый верхний угол платы;

— переключатели размещены в нижней части платы и подписаны при помощи шелкографии для более удобного использования преобразователя;

— для крепления платы в углах сделаны 4 отверстия диаметром 1,6 мм;

— разъемы размещены по краям платы.

Основные моменты трассировки платы:

— силовые цепи созданы при помощи полигонов для лучшего теплообмена;

— логические цепи созданы дорожками шириной 0,2 мм, такая ширина выбрана исходя из того, что дорожка не должна быть шире, чем контакт микросхемы;

— для лучшего рассеивания тепла в термопаде сделано 9 сквозных отверстий, вскрытых с обратной стороны, диаметром 0,3 мм, вокруг термопада также сделаны сквозные отверстия, чтобы еще больше увеличить тепловыделение;

— для минимизации импеданса печатной платы для потоков силового тока вокруг входных и выходных конденсаторов выполнено не менее 10 сквозных отверстий диаметром 0,3 мм.

2.3 Расчет стоимости производства платы

2.3.1 Стоимость текстолита

Параметры разработанной печатной платы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры печатной платы

Параметр	Значение
Число слоев	2
Размеры	39 × 26 × 1,5 мм
Толщина проводящих слоев	0,035 мм
Минимальная ширина проводников	0,2 мм
Минимальный диаметр отверстий	0,3 мм

Расчет стоимости текстолита производился с помощью калькулятора на сайте pcbway.com [2].

Без учета доставки примерная стоимость текстолита равна 26 \$.

2.3.2 Стоимость компонентов

Расчет стоимости компонентов производился на сайте mouser.com [3].
Список компонентов и их стоимость представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Стоимость компонентов

Наименование	Производитель	Количество	Стоимость, \$
CC0805KRX5R9BB106	Yageo	1	0,25
CC0603KRX5R9BB474	Yageo	1	0,45
CC0603JRX7R9BB104	Yageo	2	0,22
CC0603KRX5R8BB475	Yageo	1	0,25
CC0402KRX5R8BB104	Yageo	1	0,10
CC1206KRX7R8BB224	Yageo	1	0,25
TPS55165QPWPRQ1	Texas Instruments	1	4,59
TLMG1100-GS08	Vishay	1	0,44
SRP7028A-4R7M	Bourns	1	1,07
RC0603FR-07100KL	Yageo	1	0,10
TDD01H0SB1R	C&K Switches	3	6,00
SDA01H1SBD	C&K Switches	1	1,24
1776275-2	TE Connectivity	1	0,71
DS1029-2-MRW6XB	Connfly Electronic Co. LTD.	1	0,10

Стоимость компонентов составила 16,12 \$.

Общая стоимость текстолита и компонентов составляет 42,12 \$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе лабораторной работы был разработан понижающий-повышающий преобразователь напряжения DC/DC 24В/12В на базе микросхемы TPS55165-Q1. Процесс разработки состоял из следующих этапов:

- 1) изучение микросхемы TPS55165-Q1;
- 2) выбор внешних электронных компонентов;
- 3) создание принципиальной электрической схемы преобразователя;
- 4) компоновка элементов;
- 5) трассировка.

Результатами выполнения лабораторной работы являются принципиальная электрическая схема, файлы проекта Altium Designer, файлы производства, перечень электронных компонентов, стоимость производства платы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. TPS5516X-Q1 datasheet. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps55165-q1.pdf?ts=1609835456740&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTPS55165-Q1 , свободный – (16.01.2021)
2. PCB price calculator. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.pcbway.com/orderonline.aspx> , свободный – (16.01.2021)
3. Mouser Electronics. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eu.mouser.com/> , свободный – (16.01.2021)