

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

Архипов А.Е.

Капустин Д.А.

« » _____ 2020 г.

Санкт-Петербург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

Задание	3
1 Описание ключевых элементов схемы	4
1.1 Разъемы	4
1.2 Защита от перенапряжения и переполюсовки	4
1.3 Преобразователь напряжения	5
1.4 Индикация.....	7
2 Расчеты параметров электронных компонентов	8
2.1 Расчет максимальной частоты переключения $f_{SW(max)}$ и резистора $R_{RT/CLK}$	8
2.2 Расчет минимального значения индуктивности	8
2.3 Расчет выходной емкости	10
2.4 Расчет входной емкости	10
2.5 Выбор конденсатора между выводами BOOT и SW	11
2.6 Расчет резисторов делителя напряжения на выводе EN.....	11
2.7 Расчет резисторов делителя напряжения на выводе FB	12
2.8 Расчет резистора на выводе COMP	12
2.9 Расчет конденсаторов на выводе COMP	13
2.10 Резистор для стабилитрона	14
3 Расчет стоимости производства платы	16
3.1 Стоимость текстолита.....	16
3.2 Стоимость компонентов	16
Заключение	18

ЗАДАНИЕ

Вариант задания №1. Микросхема TPS54560B.

Разработать понижающий преобразователь напряжения DC/DC 48В/5В. Мощность преобразователя 5Вт. Преобразователь должен быть защищен от подачи напряжения обратной полярности, подачи напряжения ниже 40В, а также подачи напряжения выше 48В. В устройстве должна присутствовать индикация напряжения питания на выходе. Устройство должно быть защищено от КЗ на выходе источника.

1 Описание ключевых элементов схемы

1.1 Разъемы

Разъемы для печатных плат — это типы соединительных систем, которые монтируются или обрабатываются на печатной плате. Существует множество разъемов для печатных плат, которые лучше всего подходят для конкретных целей. Для конкретной задачи разъемы выбирались исходя из следующих критериев: дешевизна, простота монтажа и различимость между двумя разъемами. Исходя из этих критериев были выбраны два разъема. На входе устройства — коммутационный штыревой разъем 826629-2 компании TE Connectivity с двумя контактами. На выходе устройства — разъем семейства Micro-Fit от фирмы Molex 4-1775099-0, который используется в цепях питания материнских плат по стандарту ATX.

1.2 Защита от перенапряжения и переполюсовки

Для обеспечения напряжения на микросхеме не выше 48В необходимо предусмотреть защиту от перенапряжения. Для этого после разъема установлен дополнительный компонент — стабилитрон BZD17C47P. Его номинальное напряжение 47В. Однако напряжение стабилизации 44-50В. Перенапряжение в 2В является не критичным для данной схемы, поэтому в качестве стабилизатора напряжения оправданно использование данного стабилитрона.

Для защиты от переполюсовки используется полевой транзистор CSD19532Q5B. В случае правильного подключения питания и земли транзистор откроется, в противном случае он будет закрыт.

Напряжение затвор-исток данного транзистора не должно превосходить 20В, а входное напряжение 48В, поэтому для стабилизации напряжения используется стабилитрон BZD17C15P с номинальным напряжением стабилизации 15В. Также для защиты данного стабилитрона в случае переполюсовки предусмотрен диод Шоттки.

1.3 Преобразователь напряжения

TPS54560B — понижающий преобразователь постоянного напряжения (DC-DC) с максимальным током нагрузки до 5А. Преобразователь работает при входном напряжении от 4.5В до 60В. Содержит встроенный мощный ключевой полевой транзистор MOSFET на плюсовой шине и использует минимальное число внешних элементов для работы. В преобразователе реализован токовый режим управления цепью обратной связи, который облегчает требования к выбору элементов цепи компенсации. Используемый метод подавления дрожаний импульсов позволяет снизить ток потребления холостого хода до 146мкА. Имеется защита от снижения входного напряжения ниже 4.3В, при необходимости этот уровень может быть повышен подачей определенного напряжения на вывод EN. Выходное напряжение задается внешними резисторами и в момент запуска управляется так, чтобы не произошла перегрузка по току в нагрузке. Преобразователь позволяет менять частоту коммутации ШИМ в широких пределах для достижения максимального КПД или для выбора индуктивности подходящих размеров. Предусмотрена защита от перегрузки по среднему току, от перегрева и от короткого замыкания. ИС выпускается в 8-выводном корпусе HSOIC с улучшенным теплоотводом. Основные характеристики данной микросхемы приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики микросхемы TPS54560B

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	от 4,5 до 60
Номинальный ток, А	до 5
Частота переключения, МГц	от 0,1 до 2,5
Рабочие температуры, °С	от -40 до 150
Температура теплового отключения, °С	176

На рисунке 1.1 представлено условное графическое обозначение микросхемы.

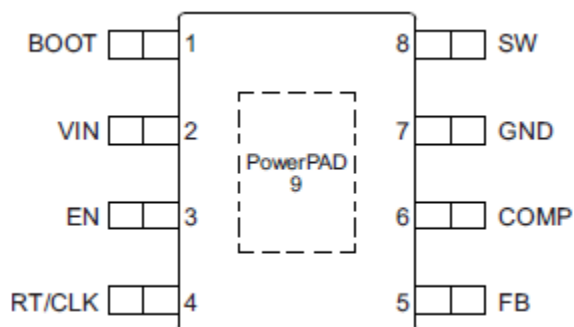


Рисунок 1.1 – УГО микросхемы TPS54560B

Контакт VIN предназначен для подключения входного напряжения питания с рабочим диапазоном от 4,5 В до 60 В.

Контакт EN предназначен для защиты от подачи пониженного напряжения. С помощью резистора можно регулировать напряжение, с которого микросхема начинает работать.

Контакт RT/CLK предназначен для установки частоты переключения. С помощью внешнего резистора можно регулировать значение частоты переключения.

Контакт FB – вход компаратора обратной связи по выходному напряжению. Подключается к делителю напряжения, с помощью которого устанавливается выходное напряжение.

Контакт COMP предназначен для подключения компонентов частотной компенсации. Выход для подключения внешней цепи частотной коррекции. Является выходом усилителя ошибки

Контакт SW – коммутационный узел преобразователя. Между выводами BOOT и SW требуется нагрузочный конденсатор. Если напряжение на этом конденсаторе ниже минимума, необходимого для работы высокочастотного МОП-транзистора, выход выключается до тех пор, пока конденсатор не будет обновлен.

1.4 Индикация

Для получения обратной связи от устройства предусмотрены два светодиода. Первый светодиод будет сигнализировать о неправильном подключении питания. Второй — о нормальной работе устройства.

2 Расчеты параметров электронных компонентов

2.1 Расчет максимальной частоты переключения $f_{SW(max)}$ и резистора

$R_{RT/CLK}$

Вычислим максимальную частоту переключения $f_{SW(max)}$ по формуле (1.1).

$$f_{SW(max)} = \frac{1}{t_{ON}} \cdot \left(\frac{I_{OUT} \cdot R_{dc} + V_{OUT} + V_d}{V_{IN} - I_{OUT} \cdot R_{DS(on)} + V_d} \right), \quad (1.1)$$

где t_{ON} – минимальное время включения, с; I_{OUT} – выходной ток, А; R_{dc} – сопротивление катушки, Ом; V_{OUT} – выходное напряжение, В; V_d – падение напряжения на диоде, В; V_{IN} – входное напряжение, В; $R_{DS(on)}$ – сопротивление внутреннего переключателя, Ом.

Выберем диод SS36-E3/57T ($V_d = 0,75$ В) и катушку SRP7028A-220M ($L = 22$ мкГн, $R_{dc} = 0,165$ Ом).

Из документации на микросхему: $t_{ON} = 135$ нс, $R_{DS(on)} = 92$ мОм.

Из задания $V_{IN} = 48$ В, $V_{OUT} = 5$ В, $I_{OUT} = 1$ А,

Подставив значения в формулу (1.1), получим

$$f_{SW(max)} = \frac{1}{135 \cdot 10^{-9}} \cdot \left(\frac{1 \cdot 0,165 + 5 + 0,75}{48 - 1 \cdot 0,092 + 0,75} \right) = 901 \text{ Гц}$$

Вычислим сопротивления резистора между контактом RT/CLK и GND по формуле (1.2).

$$R_{RT/CLK} = \frac{101756}{f_{SW}^{1,008}} = \frac{101756}{800^{1,008}} = 96,5 \text{ кОм} \quad (1.2)$$

Выбираем $f_{SW} = 800$ Гц и $R_{RT/CLK} = 97,6$ кОм.

2.2 Расчет минимального значения индуктивности

Для расчета минимального значения индуктивности используем формулу (1.3).

$$L_{min} = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{I_{OUT} \cdot K_{IND}} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{IN} \cdot f_{SW}}, \quad (1.3)$$

где K_{IND} – коэффициент, рекомендуемое значение которого равно $K_{IND} = 0,3$.

Подставив значения в формулу (1.3), получим

$$L_{min} = \frac{48 - 5}{1 \cdot 0,3} \cdot \frac{5}{48 \cdot 800 \cdot 10^3} = 18,7 \text{ мкГн}$$

Для расчета тока пульсации используем формулу (1.4).

$$I_{RIPPLE} = \frac{V_{OUT} \cdot (V_{IN} - V_{OUT})}{V_{IN} \cdot L \cdot f_{SW}} = \frac{5 \cdot (48 - 5)}{48 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3} = 0,254 \text{ A} \quad (1.4)$$

Для расчета пикового тока индуктивности используем формулу (1.5).

$$I_{L(peak)} = I_{OUT} + \frac{I_{RIPPLE}}{2} = 1 + \frac{0,254}{2} = 1,127 \text{ A} \quad (1.5)$$

Оставляем выбранную катушку индуктивности SRP7028A-220M ($L = 22 \text{ мкГн}$, $R_{dc} = 0,165 \text{ Ом}$, $I_{sat} = 3,5 \text{ A}$).

2.3 Расчет выходной емкости

Расчет выходной емкости C_{OUT} по току пульсации выполняется по формуле (1.6).

$$C_{OUT} > \frac{1}{8 \cdot f_{SW}} \cdot \frac{I_{RIPPLE}}{V_{OUT(RIPPLE)}}, \quad (1.6)$$

где $V_{OUT(RIPPLE)} = 25$ мВ – максимально допустимая пульсация выходного напряжения.

Подставив значения в формулу (1.6), получим

$$C_{OUT} > \frac{1}{8 \cdot f_{SW}} \cdot \frac{I_{RIPPLE}}{V_{OUT(RIPPLE)}} = \frac{1}{8 \cdot 800 \cdot 10^3} \cdot \frac{0,254}{25 \cdot 10^{-3}} = 1,59 \text{ мкФ}$$

Эквивалентное последовательное сопротивление конденсатора должно быть меньше значения, которое рассчитывается по формуле (1.7).

$$R_{ESR} < \frac{V_{OUT(RIPPLE)}}{I_{RIPPLE}} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{0,254} = 98 \text{ мОм} \quad (1.7)$$

Используем керамический конденсатор 22 мкФ, 10 В, X5R.

2.4 Расчет входной емкости

Найдем номинал входного конденсатора. Номинальное напряжение входного конденсатора должно быть больше максимального входного напряжения. Конденсатор также должен иметь номинальный пульсационный ток, превышающий максимальную пульсацию входного тока.

Расчет входного тока пульсации выполняется по формуле (1.8).

$$I_{CI} = I_{OUT} \cdot \sqrt{\frac{V_{OUT}}{V_{IN(min)}} \cdot \frac{(V_{IN(min)} - V_{OUT})}{V_{IN(min)}}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{5}{40} \cdot \frac{(40 - 5)}{40}} = 0,331 \text{ А} \quad (1.8)$$

Выбираем два параллельно соединенных керамических конденсатора 2,2 мкФ, 100 В, X7R.

2.5 Выбор конденсатора между выводами BOOT и SW

Для правильной работы между выводами BOOT и SW рекомендуется использовать керамический конденсатор емкостью 0,1 мкФ с диэлектриком X5R или лучше и номинальным напряжением не менее 10 В.

Используем керамический конденсатор 0,1 мкФ, 50 В, X7R.

2.6 Расчет резисторов делителя напряжения на выводе EN

Расчет резисторов делителя напряжения на выводе EN выполняется по формулам (1.19) и (1.10). Напряжение остановки V_{STOP} должно быть равно минимальному входному напряжению, следовательно, $V_{STOP} = 40$ В. Напряжение старта V_{START} обычно выбирают больше V_{STOP} на 0,5 В, следовательно, $V_{START} = 40,5$ В.

$$R_{UVLO1} = \frac{V_{START} - V_{STOP}}{I_{HYS}}, \quad (1.9)$$

$$R_{UVLO2} = \frac{V_{ENA}}{\frac{V_{START} - V_{ENA}}{R_{UVLO1}} + I_1}, \quad (1.10)$$

где V_{START} – напряжение включения, В; V_{STOP} – напряжение остановки работы, В; I_{HYS} – ток гистерезиса, А; V_{ENA} – пороговое напряжение, В; I_1 – входной ток вывода EN, А;

Напряжение остановки V_{STOP} должно быть равно минимальному входному напряжению, следовательно, $V_{STOP} = 40$ В. Напряжение старта V_{START} обычно выбирают больше V_{STOP} на 0,5 В, следовательно, $V_{START} = 40,5$ В.

Из документации: $I_{HYS} = 3,4$ мкА, $V_{ENA} = 1,2$ В, $I_1 = 1,2$ мкА.

Подставив значения в формулы (1.9) и (1.10), получим

$$R_{UVLO1} = \frac{V_{START} - V_{STOP}}{I_{HYS}} = \frac{40,5 - 40}{3,4 \cdot 10^{-6}} = 147 \text{ кОм}$$

$$R_{UVLO2} = \frac{1,2}{\frac{40,5 - 1,2}{147 \cdot 10^3} + 1,2 \cdot 10^{-6}} = 4,47 \text{ кОм}$$

Используем резисторы 147 кОм и 4,42 кОм.

2.7 Расчет резисторов делителя напряжения на выводе FB

Расчет резисторов R_{HS} и R_{LS} делителя напряжения на выводе FB выполняется по формуле (1.11).

$$R_{HS} = R_{LS} \cdot \frac{V_{OUT} - 0,8}{0,8} \quad (1.11)$$

Рекомендованное значение $R_{LS} = 10,2 \text{ кОм}$. Подставив значения в формулу (1.11), получим

$$R_{HS} = 10,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{5 - 0,8}{0,8} = 53,6 \text{ кОм}$$

Используем резисторы 10,2 кОм и 53,6 кОм.

2.8 Расчет резистора на выводе COMP

Расчет резистора на выводе COMP выполняется по формуле (1.12).

$$R_{COMP} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{c0} \cdot C_{OUT}}{gmps} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{REF} \cdot gmea}, \quad (1.12)$$

где $gmps = 17 \text{ А/В}$; $V_{REF} = 0,8 \text{ В}$; $gmea = 350 \text{ мкА/В}$; f_{c0} рассчитывается по формуле (1.13).

$$f_{c0} = \sqrt{f_{p(mod)} \cdot \frac{f_{SW}}{2}}, \quad (1.13)$$

где $f_{p(mod)}$ рассчитывается по формуле (1.14).

$$f_{p(mod)} = \frac{I_{OUT}}{2 \cdot \pi \cdot V_{OUT} \cdot C_{OUT}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 22 \cdot 10^{-6}} = 1450 \text{ Гц} \quad (1.14)$$

Подставив значения в формулу (1.13), получим

$$f_{c0} = \sqrt{f_{p(mod)} \cdot \frac{f_{SW}}{2}} = \sqrt{1450 \cdot \frac{800 \cdot 10^3}{2}} = 24,1 \text{ кГц}$$

Подставив значения в формулу (1.12), получим

$$\begin{aligned} R_{COMP} &= \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{c0} \cdot C_{OUT}}{g_{mps}} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{REF} \cdot g_{mea}} = \\ &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 24,1 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-6}}{17} \cdot \frac{5}{0,8 \cdot 350 \cdot 10^{-6}} = 3,5 \text{ кОм} \end{aligned}$$

Используем резистор на 3,6 кОм.

2.9 Расчет конденсаторов на выводе COMP

Расчет конденсаторов на выводе COMP выполняется по формулам (1.15) и (1.16).

$$\begin{aligned} C_{COMP1} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{COMP} \cdot f_{p(mod)}} = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 10^3 \cdot 1450} = 30,5 \text{ нФ} \end{aligned} \quad (1.15)$$

$$\begin{aligned} C_{COMP2} &= \frac{1}{R_{COMP} \cdot f_{SW} \cdot \pi} = \\ &= \frac{1}{4,95 \cdot 10^3 \cdot 800 \cdot 10^3 \cdot 3,14} = 100 \text{ пФ} \end{aligned} \quad (1.16)$$

Используем конденсатор 0,033 мкФ, 50 В, NPO, и конденсатор 100 пФ, 50 В, NPO.

2.10 Резистор для стабилитрона

Выбираем стабилитрон BZD17C15P с напряжением стабилизации $U_{\text{стаб}} = 15 \text{ В}$ при силе тока стабилизации $I_{\text{стаб}} = 50 \text{ мА}$.

Расчет сопротивления резистора выполняется по формуле (1.17)

$$R = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{стаб}} - U_{\text{д}}}{I_{\text{стаб}}}, \quad (1.17)$$

где $U_{\text{вх}}$ – входное напряжение, $U_{\text{д}}$ – падение напряжения на диоде Шоттки SS36-E3/57T.

Чтобы найти падение напряжение на диоде Шоттки, необходимо из документации на компонент найти зависимость прямого падения напряжения от тока и температуры. График, приведенный на рисунке 2.1, отражает данную зависимость. При температуре $T_J = 25^\circ\text{C}$ и токе $I = 0,05\text{А}$ падение напряжения на диоде Шоттки $U_{\text{д}} = 0,25 \text{ В}$.

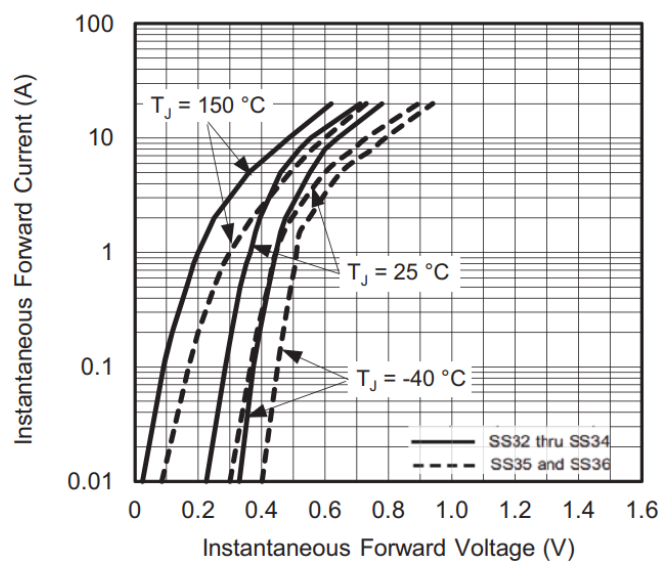


Рисунок 2.1 – Зависимость прямого падения напряжения от тока и температуры диода Шоттки.

Рассчитаем сопротивления резистора для максимально возможного входного напряжения $U_{\text{вх}} = 48 \text{ В}$.

$$R = \frac{48 - 15 - 0,25}{0,05} = 655 \text{ Ом}$$

Используем резистор 680 Ом.

3 Расчет стоимости производства платы

3.1 Стоимость текстолита

Спроектированная четырехслойная плата имеет размеры $63 \times 26 \times 1,5$ мм и толщину проводящих слоев 0,035 мм. Минимальная ширина проводников равна 0,3 мм, минимальный диаметр отверстий также 0,3 мм. Расчет стоимости текстолита производился на сайте pcbway.com. Стоимость, без учета доставки, составила 9,8 \$.

3.2 Стоимость компонентов

Расчет стоимости электронных компонентов производился на сайте mouser.com. Стоимости конденсатора CL05B682JB5NNNC и резистора RC0603BR-0753K6L взяты с сайта digkey.com, так как на mouser.com информации о них не нашлось. На рисунке 3.1 представлен список компонентов, их стоимость и общая стоимость заказа.

1	№ произв.	Производитель	Заказанное кол-во	Цена (USD)
2	826629-2	TE Connectivity	1	\$0,649
3	4-1775099-0	TE Connectivity	1	\$0,39
4	CSD19532Q5B	Texas Instruments	1	\$4,08
5	SS36-E3/57T	Vishay	3	\$0,827
6	RC0603FR-07220RL	Yageo	1	\$0,163
7	RC0603FR-0710K2L	Yageo	1	\$0,163
8	RC0603FR-073K6L	Yageo	1	\$0,163
9	RC0603FR-0797K6L	Yageo	1	\$0,163
10	RC0603FR-074K42L	Yageo	1	\$0,163
11	RC0603FR-07147KL	Yageo	1	\$0,163
12	RC0603FR-07750RL	Yageo	1	\$0,163
13	RC0603FR-073K3L	Yageo	1	\$0,163
14	SRP7028A-220M	Bourns	1	\$2,14
15	TLMS1000-GS08	Vishay	2	\$0,682
16	TPS54560BDDA	Texas Instruments	1	\$9,56
17	CC0603MPX5R6BB226	Yageo	4	\$1,43
18	CC0603JRX7R9BB104	Yageo	1	\$0,178
19	CC1206KKX7R0BB225	Yageo	4	\$1,57
20	CL05C101FB5NNNC	Samsung	1	\$0,1
21	GRM3195C1H333JA01D	Murata	1	\$0,827
22	RC0603BR-0753K6L	Yageo	1	\$0,11
23	BZD17C15P-E3-08	Vishay	1	\$0,827
24				\$36,01

Рисунок 3.1 – Стоимость компонентов

Общая стоимость компонентов составила 36,01\$.

Таким образом, общая стоимость платы составляет 45,81\$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе лабораторной работы был разработан понижающий преобразователь напряжения, обеспечивающий все необходимые требования. Дано описание ключевых компонентов, выполнен расчет электронных компонентов схемы, рассчитана стоимость изготовления печатной платы.

В результате выполнения работы были предоставлены принципиальная электрическая схема, файлы производства, перечень электронных компонентов и файлы проекта Altium Designer.