

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

Водорезов Г. И.

Преподаватель

Капустин Д. А.

« » _____ 2020 г.

Санкт-Петербург

2020

Содержание

Задание.....	3
1 Описание ключевых элементов схемы	4
1.1 Защита от напряжения обратной полярности и перенапряжения	4
1.2 Преобразователь напряжения	6
2 Расчет и выбор элементов обвязки LM76005	8
2.1 Расчет резисторов для входа FB	8
2.2 Расчет частоты переключения f_{sw}	9
2.3 Расчет значения индуктивности	9
2.4 Выбор резистора для входа PGOOD	10
2.5 Выбор конденсаторов на входе микросхемы.....	10
2.6 Расчёт конденсатора на выходе микросхемы	10
2.7 Выбор конденсатора на входе BOOT	11
3 Расчет и выбор элементов обвязки микросхемы TPS1663	13
3.1 Расчет резисторов делителя напряжения	13
3.2 Выбор входного конденсатора.....	13
3.3 Расчет конденсатора для выхода dVdT	14
3.4 Расчет резистора для выхода ILIM.....	14
Заключение.....	16
Список использованных источников	17

Задание

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. В качестве преобразователя напряжения использовать микросхему LM76005.

Предоставить файлы проекта Altium Designer, принципиальную электрическую схему изделия, файлы для производства печатной платы, перечень электронных компонентов и отчет по лабораторной работе.

1 Описание ключевых элементов схемы

Разрабатываемое устройство соответствует схеме, представленной на рисунке 1. На входе устройства установлен разъем SWF 2R, на выходе разъем USB type A. Ключевые элементы схемы – защита от напряжения обратной полярности и перенапряжения, а также преобразователь напряжения. Защита организуется на базе микросхемы TPS1663 и диода Шоттки. Преобразователь – на основе микросхемы LM76005, согласно заданию. Так же устройство имеет 2 светодиода для индикации входного напряжения верной полярности и требуемого напряжения и выходного напряжения.

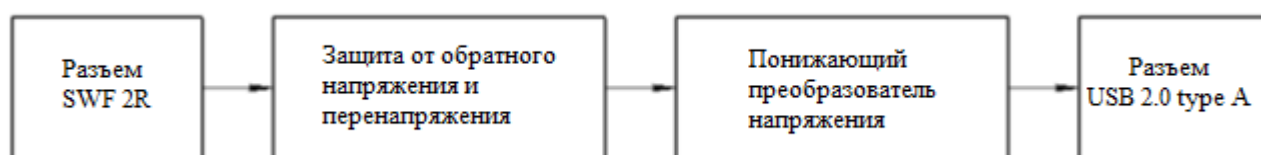


Рисунок 1 – Схема устройства

1.1 Защита от напряжения обратной полярности и перенапряжения

В данной работе используется защитная микросхема TPS1663 [1], которая представляет собой многофункциональный электронный предохранитель и обеспечивает защиту от перегрузки по току, защиту от короткого замыкания, контроль скорости нарастания выходного сигнала, защиту от перенапряжения и блокировку пониженного напряжения.

Основные характеристики данной микросхемы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики микросхемы TPS1663

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	от 4,5 до 60
Номинальный ток, А	до 6
Рабочие температуры, °С	от -40 до 150
Температура теплового отключения, °С	165

На рисунке 2 представлено условное графическое обозначение микросхемы.

1	IN	*ST	OUT	18
2	IN		OUT	19
3	IN		OUT	20
6	P_IN		SHDN	13
7	UVLO		ILIM	11
8	OVP		dVdT	10
4	NC		PGOOD	16
5	NC		FLT	15
17	NC		IMON	14
9	GND		MODE	12
			TP	0

Рисунок 2 – УГО микросхемы TPS1663

- IN и OUT – контакты, подключаемые к источнику питания и нагрузке соответственно.
- P_IN - предназначен для питания микросхемы. Подключается напрямую к контактам IN.
- UVLO - контакт для установки программируемого порога блокировки пониженного напряжения.
- OVP – контакт для установки регулируемого порога защиты от перенапряжения.
- dVdT – данный контакт предназначен для задания скорости нарастания выходного напряжения при подаче питания.
- ILIM - контакт для установки ограничения выходного тока. Значение устанавливается с помощью резистора между выводом и GND.
- MODE - предназначен для выбора режима для реакции на перегрузку и неисправность.
- SHDN - контакт для перехода микросхемы в режим отключения при подаче на него низкого уровня.

- IMON - контакт для наблюдения выходного тока. В данной работе не используется, оставлен неподключенным.
- FLT – индикатор неисправностей. В данной работе не используется, оставлен неподключенным.
- PGOOD – индикатор нормальной работы внутреннего полевого транзистора. В данной работе не используется, оставлен неподключенным.

Для защиты от напряжения обратной полярности был использован диод Шоттки. Диод был выбран с запасом по обратному напряжению $U = 90 \text{ В}$ и максимальному среднему току $I_F = 1.5 \text{ А}$.

1.2 Преобразователь напряжения

LM76005 [2] — это понижающий DC - DC преобразователь напряжения способный управлять током до 5 А и входным напряжением до 60 В. LM76005 использует режим управления пиковым током для обеспечения точности выходного напряжения. Широкий диапазон частот переключения позволяет оптимизировать выбор компонентов выходного фильтра.

Основные характеристики данной микросхемы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики микросхемы LM76005

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	от 3,5 до 60
Номинальный ток, А	до 5
Частота переключения, КГц	от 200 до 500
Рабочие температуры, °C	от -40 до 125

На рисунке 3 представлено условное графическое обозначение микросхемы.

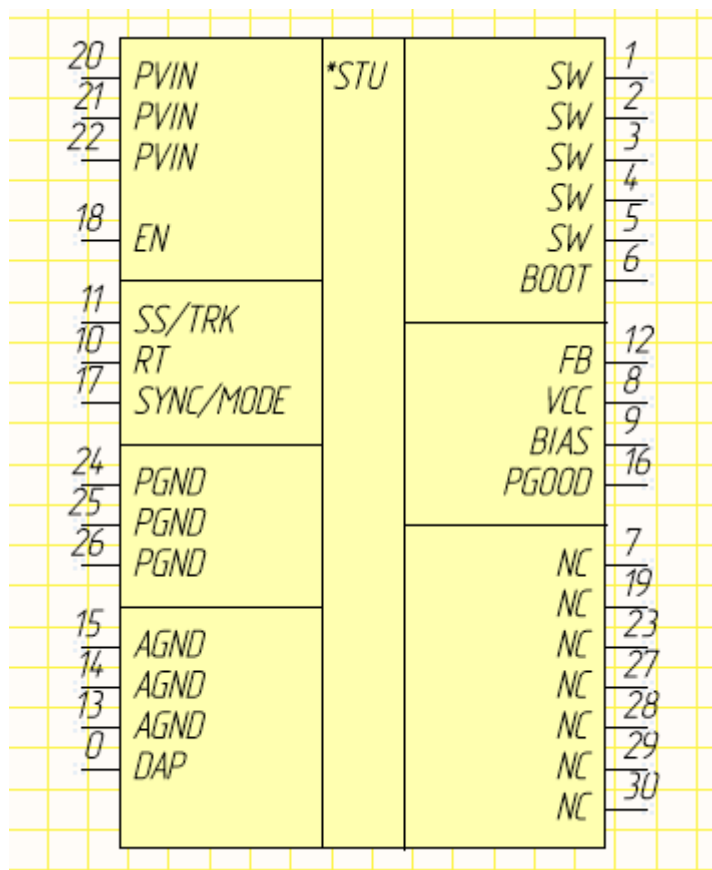


Рисунок 3 – УГО микросхемы LM76005

- SW – выход преобразователя напряжения. Между выводами BOOT и SW требуется нагрузочный конденсатор. Подключается к катушке индуктивности.
- BOOT – контакт для подключения нагрузочного конденсатора.
- VCC – выход питания внутренних цепей управления. Подключается через конденсатор 2.2 мкФ к GND.
- BIAS – дополнительный вход для питания BIAS LDO. В данной работе не используется и подключен к земле.
- RT – контакт для настройки частоты работы преобразователя, подключается к земле через резистор.
- SS/TRK – контакт для настройки мягкого старта преобразователя.
- FB - вход компаратора обратной связи по выходному напряжению. Подключается к делителю напряжения, с помощью которого устанавливается выходное напряжение.

- PGOOD – подключается к выходному напряжению через токоограничивающий резистор.
- SYNK/MODE – контакт для настройки режима работы преобразователя или подключения к внешнему таймеру. В данной работе не используется и подключен к земле
- PVIN – контакты для подключения входного источника питания и конденсаторов C_{in} .

2 Расчет и выбор элементов обвязки LM76005

Проведем расчет и выбор элементов для микросхемы LM76005 согласно документации [2]. Исходные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для LM76005

Параметр	Значение	Размерность
Номинальное входное напряжение	48	В
Диапазон входного напряжения	от 40 до 48	В
Выходное напряжение	5	В
Ток нагрузки	1	А

Данная микросхема имеет встроенную защиту от короткого замыкания на выходе, вследствие чего специализированных средств защиты не требуется. Так же данная микросхема имеет функцию плавного старта с $t_{SS} = 6.3$ мс, для этого контакт SS/TRK оставлен не подключенным.

2.1 Расчет резисторов для входа FB

Выходное напряжение зависит от выбора резисторов R_{FBB} и R_{FBT} , которые рассчитываются по формуле (1) представленной в п. 8.2.2.2 документации [2]

$$R_{FBB} = \frac{V_{FB}}{V_{OUT} - V_{FB}} * R_{FBT} \quad (1)$$

где $V_{FB} = 1.006$ В.

Производитель рекомендует выбрать R_{FBT} в диапазоне 10 – 100 кОм, выберем

$R_{FBB} = 100$ кОм и рассчитаем R_{FBB}

$$R_{FBB} = \frac{1.006}{5 - 1.006} * 100000 = 25187 \text{ Ом}$$

Примем $R_{FBB} = 25$ кОм и заменим его на 2 последовательно подключенных резистора $R_{FBB1} = 12$ кОм и $R_{FBB2} = 13$ кОм.

2.2 Расчет частоты переключения f_{sw}

Частота переключения преобразователя зависит от выбора резистора R_T , номинал которого вычисляется по формуле (2) представленной в п. 8.2.2.3 документации [2].

$$R_T [\text{кОм}] = \frac{38400}{f_{sw} [\text{кГц}] - 14.33} \quad (2)$$

Выберем резистор R_T номиналом 97,6 кОм и из формулы (2) найдем частоту переключения

$$f_{sw} = \frac{38400}{R_T} - 14.33 = \frac{38400}{97,6} - 14.33 = 379 \text{ кГц}$$

Получим частоту пульсаций выходного напряжения $f_{sw} = 379$ кГц

2.3 Расчет значения индуктивности

Для расчета значения индуктивности согласно п. 8.2.2.6 документации [2] используем формулу (3).

$$\frac{(V_{IN} - V_{OUT}) * D}{0.4 * f_{sw} * I_{MAX}} \leq L \leq \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) * D}{0.2 * f_{sw} * I_{MAX}} \quad (3)$$

где D - это рабочий цикл преобразователя, который в понижающем преобразователе может быть вычислен по формуле (4)

$$D = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{5}{48} = 0.104 \quad (4)$$

Подставим в формулу все известные данные и получим

$$\begin{aligned} \frac{(48 - 5) * 0.104}{0.4 * 379000 * 1} &\leq L \leq \frac{(48 - 5) * 0.104}{0.2 * 379000 * 1} \\ 29 * 10^{-6} &\leq L \leq 58 * 10^{-6} \end{aligned}$$

Выберем катушку индуктивности с $L = 33$ мкГн.

2.4 Выбор резистора для входа PGOOD

Согласно п. 8.2.2.13 документации [2] если выходное напряжение не превышает 18 В, то подтянем контакт PGOOD к выходу дросселя через резистор $R_{PGOOD} = 100$ кОм.

2.5 Выбор конденсаторов на входе микросхемы

Согласно рекомендациям из п. 8.2.2.4 даташита [2] выберем $C_{IN1} = 4.7$ мкФ и $C_{IN2} = 0.47$ мкФ с напряжением 100В.

2.6 Расчёт конденсатора на выходе микросхемы

Перед расчётом ёмкости выходного конденсатора необходима найти некоторые параметры преобразователя. Далее будут использованы формулы и рекомендации из п. 8.2.2.6 документации [2]

Пульсация тока в катушке индуктивности Δi_L рассчитывается по формуле (5).

$$\Delta i_L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) * D}{L * f_{sw}} \quad (5)$$

$$\Delta i_L = \frac{(48 - 5) * 0.104}{33 * 10^{-6} * 379000} = 0.357$$

Коэффициент пульсации тока индуктора r рассчитывается по формуле (6).

$$r = \frac{\Delta i_L}{I_{OUT}} \quad (6)$$

$$r = \frac{0.357}{1} = 0.357$$

Номинал ёмкости выходного конденсатора рассчитывается по формуле (7).

$$C_{OUT} > \frac{1}{\left(f_{sw} * r * \frac{\Delta V_{OUT}}{I_{OUT}}\right)} * \left[\left(\frac{r^2}{12} * (1 + D') \right) + (D' * (1 + r)) \right] \quad (7)$$

где $D' = 1 - D = 1 - 0.104 = 0.896$.

Рассчитаем минимальную ёмкость выходного конденсатора

$$C_{OUT} > \frac{1}{(37900 * 0.357 * 5/1)} * \left[\left(\frac{0.357^2}{12} * (0.357 + 0.896) \right) + (0.896 * (1 + 0.357)) \right] = 18 * 10^{-6} \text{ Ф}$$

Выберем $C_{out1} = 150 \text{ мкФ}$ с запасом по номинальному напряжению в 2 раза $V_{out1} = 10 \text{ В}$. Так же добавим конденсатор $C_{out2} = 0.47 \text{ мкФ}$ для подавления высокочастотных помех.

2.7 Расчет конденсатора на входе FB

Для расчёта конденсатора C_{FF} воспользуемся формулой (8).

$$C_{FF} = \frac{1}{2 * \pi * f_x} * \frac{1}{\sqrt{R_{FBT} * \left(\frac{R_{FBT}}{R_{FBB}} \right)}} \quad (8)$$

Где f_x – частота переключения преобразователя без конденсатора C_{FF} и рассчитывается по формуле (9).

$$f_x = \frac{15.46}{V_{OUT} * C_{OUT}} = \frac{15.46}{5 * 150 * 10^{-6}} = 2 * 10^4 \text{ Гц} \quad (9)$$

$$C_{FF} = \frac{1}{2 * 3.14 * 2 * 10^4} * \frac{1}{\sqrt{100 * 10^3 * \left(\frac{100 * 10^3}{25 * 10^3} \right)}} = 12 * 10^{-9} \text{ Ф}$$

Согласно расчетам и рекомендациям из п. 8.2.2.7 документации [2] выберем $C_{FF} = 27 \text{ пФ}$.

2.8 Выбор конденсатора на входе BOOT

Согласно рекомендациям п. 8.2.2.8 из даташита [2] выберем конденсатор $C_{BOOT} = 0.47 \text{ мкФ}$ и номинальным напряжением выше 6.3В.

2.9 Выбор конденсатора на входе VCC

Согласно рекомендациям п. 8.2.2.9 из даташита [2] выберем конденсатор $C_{VCC} = 0.47 \text{ мкФ}$.

2.10 Индикация выходного напряжения

В качестве индикации выходного напряжения микросхемы параллельно выходу установим индикаторный светодиод красного цвета. Светодиод TLMS1000-GS08 имеет параметр падения напряжения $V_F = 1.8$ В и номинальный прямой ток $I_F = 15$ мА. Ток, протекающий через резистор, рассчитывается по формуле (10).

$$I_{LED} = \frac{V_{OUT} - V_F}{R_{LED}} \quad (10)$$

Из условия $I_{LED} \leq I_F$ найдем R_{LED} .

$$R_{LED} \geq \frac{V_{OUT} - V_F}{I_F} = \frac{5 - 1.8}{0.015} = 213 \text{ Ом}$$

Выберем резистор $R_{LED} = 220$ Ом.

3 Расчет и выбор элементов обвязки микросхемы TPS1663

Проведем расчет и выбор элементов, необходимых для работы микросхемы TPS1663 согласно документации [1]. Исходные данные для расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные

Нижний порог входного напряжения, V_{UV}	40 В
Верхний порог входного напряжения, V_{OV}	48 В

3.1 Расчет резисторов делителя напряжения

Произведем расчёт резисторов для делителя напряжения происходит по формулам (11) и (12) из п. 10.2.2.2 документации [1].

$$V_{OVPR} = \frac{R3}{R1 + R2 + R3} * V_{OV} \quad (11)$$

$$V_{UVLOR} = \frac{R2 + R3}{R1 + R2 + R3} * V_{UV} \quad (12)$$

Из документации [1] $V_{OVPR} = V_{UVLOR} = 1.2$ В.

Выберем $R3 = 40.2$ кОм и из (11) найдем $R1 + R2$

$$R1 + R2 = \frac{R3 * V_{OV}}{V_{OVPR}} - R3 = \frac{40200 * 48}{1.2} - 40200 = 1567800 \text{ Ом}$$

Подставим полученное выражение в формулу (12) и выразим $R2$

$$R2 = \frac{V_{UVLOR}(R1 + R2 + R3)}{V_{UV}} - R3 = \frac{1.2(1567800 + 40200)}{40} - 40200 = 8040 \text{ Ом}$$

Выберем $R2 = 8$ кОм и рассчитаем $R1$

$$R1 = 1567800 - R2 = 1567800 - 8000 = 1559800 \text{ Ом}$$

Выберем ближайшее значения для $R1 = 1.54$ МОм.

3.2 Выбор входного конденсатора

Согласно рекомендациям из п. 10.2.2.3.1 даташита [1] выберем входной конденсатор $C_{IN} = 1$ мкФ и двойным запасом по входному напряжению

$$V_{CIN} = 100 \text{ В.}$$

3.3 Расчет конденсатора для выхода dVdT

Расчет конденсатора для выхода dVdT происходит по формуле (13) из п. 9.3.1 даташита [1]

$$C_{dVdT} = \frac{t_{dVdT}}{20.3 * 10^3 * V_{IN}} \quad (13)$$

где t_{dVdT} находится по формуле (14).

$$t_{dVdT} = \frac{V_{IN} * C_{OUT}}{I_{INRUSH}} = \frac{48 * 47 * 10^{-6}}{300 * 10^{-3}} = 0.007 \text{ с} \quad (14)$$

Подставим найденное t_{dVdT} в формулу (13) и получим

$$C_{dVdT} = \frac{0.007}{20.3 * 10^3 * 48} = 0.007 \text{ мкФ}$$

Выбираем конденсатор $C_{dVdT} = 6800 \text{ пФ}$

3.4 Расчет резистора для выхода ILIM

Произведем расчёт резистора R_{ILIM} согласно формуле (15) п.10.2.2.1 документации [1].

$$R_{ILIM} = \frac{18}{I_{OL}} = \frac{18}{3.5} = 5.14 \text{ кОм} \quad (15)$$

Выберем резистор $R_{ILIM} = 5.1 \text{ кОм}$

3.5 Режим низкого энергопотребления

При необходимости микросхема может быть переведена в режим низкого электропотребления. Так же переводом в данный режим можно сбросить состояние микросхемы в случае какой-либо ошибки.

Для реализации данного функционала была установлена тактовая кнопка и параллельно ей конденсатор $C_{BUTTON} = 0.1 \text{ мкФ}$ для защиты от дребезга контактов.

3.6 Индикация входного напряжения

В качестве индикации входного напряжения в пределах требуемого диапазона параллельно выходу микросхемы защиты установим индикаторный светодиод красного цвета. Светодиод TLMS1000-GS08 имеет параметр падения напряжения $V_F = 1.8 \text{ В}$ и номинальный прямой ток $I_F = 15 \text{ мА}$. Ток, протекающий

через резистор, рассчитывается по формуле (16).

$$I_{LED} = \frac{V_{OUT} - V_F}{R_{LED}} \quad (16)$$

Из условия $I_{LED} \leq I_F$ найдем R_{LED} .

$$R_{LED} \geq \frac{V_{OUT} - V_F}{I_F} = \frac{48 - 1.8}{0.015} = 2980 \text{ Ом}$$

Выберем резистор $R_{LED} = 3 \text{ кОм}$.

Заключение

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

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

Список использованных источников

1. TPS1663x 60-V, 6-A eFuse with Adjustable Output Power Limiting datasheet (Rev. E), URL:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps1663.pdf?ts=1610697891920&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

2. LM76005 3.5-V to 60-V, 5-A Synchronous Step-Down Voltage Regulator datasheet (Rev. A), URL:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm76005.pdf?ts=1610640937466&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM76005