

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

Засецкий В. С.

Преподаватель

Капустин Д. А.

« » _____ 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

Содержание

Задание	3
1 Описание ключевых элементов схемы	4
1.1 Защита от напряжения обратной полярности и перенапряжения	4
1.2 Описание микросхемы	4
2 Расчет и выбор элементов обвязки микросхемы LMR36015-Q1	6
2.1 Расчет резисторов для входа FB	6
2.2 Выбор частоты переключения f_{SW}	7
2.3 Расчет значения индуктивности	7
2.4 Выбор конденсаторов на входе микросхемы	7
2.5 Расчёт конденсатора на выходе микросхемы	8
2.6 Расчет конденсатора на входе FB	9
2.7 Выбор конденсатора на входе BOOT	9
2.8 Выбор конденсатора на входе VCC	9
2.9 Расчет резисторов делителя напряжения на выводе EN	9
2.10 Индикация выходного напряжения	10
Заключение	11
Список использованных источников	12

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 LMR36015-Q1.

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

Функциональная схема устройства представлена на рисунке 1. На входе и выходе устройства установлены разъемы ATX PWR CONN 4 POS. Основные элементы схемы – защита от повышенного напряжения, защита от напряжения обратной полярности, а также преобразователь напряжения. Кроме того, устройство имеет 2 светодиода: для индикации входного напряжения обратной полярности и для индикации выходного напряжения.

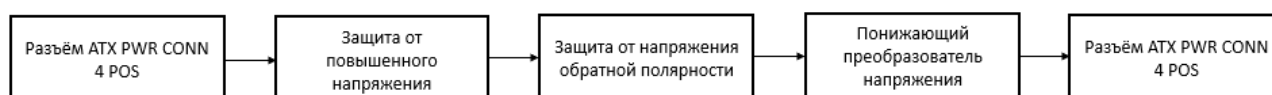


Рисунок 1 – Схема устройства

1.1 Защита от напряжения обратной полярности и перенапряжения

Для защиты от напряжения обратной полярности использован полевой транзистор CSD19532Q5B (VT1), который открывается только при подаче питающего напряжения на затвор.

Для защиты микросхемы от повышенного напряжения применён стабилитрон BZD17C47P с номинальным напряжением стабилизации 47 В (VD2). Для защиты стабилитрона от прямого включения при подаче напряжения обратной полярности выбран диод Шоттки SS36-E3/57T (VD3). Ток ограничивается резистором R2 номиналом 2,2 кОм.

Также выполнена индикация подачи напряжения обратной полярности с помощью синего светодиода VLMB1300-GS08 (HL1), подключенного последовательно с токоограничивающим резистором R1 номиналом 4,3 кОм. Светодиод защищён от обратного включения с помощью диода Шоттки SS36-E3/57T (VD1).

1.2 Описание микросхемы

LMR36015-Q1— это понижающий DC-DC преобразователь напряжения, способный управлять током до 1,5 А и входным напряжением до 60 В [1]. LMR36015-Q1 использует режим управления пиковым током для обеспечения точности выходного напряжения. Частота переключения фиксированная

(зависит от номера детали).

Основные характеристики данной микросхемы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики микросхемы LMR36015-Q1

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	от 4,2 до 60
Номинальный ток, А	до 1,5
Частота переключения	400 кГц или 2,1 МГц
Рабочие температуры, °С	от -40 до 125

На рисунке 2 представлено условное графическое обозначение микросхемы.

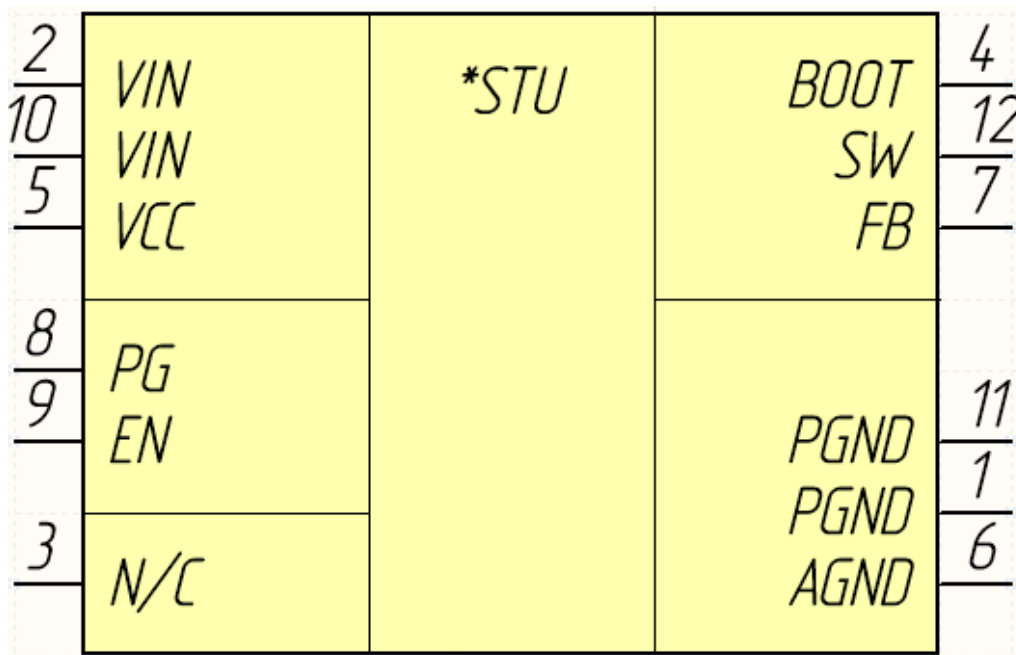


Рисунок 2 – УГО микросхемы LMR36015-Q1

Назначения контактов приведены далее.

- SW – коммутационный узел преобразователя. Подключается к катушке индуктивности. Между выводами BOOT и SW требуется нагрузочный конденсатор. Рекомендуется подсоединить к контакту N/C для удобства подключения нагрузочного конденсатора.
- BOOT – контакт для подключения нагрузочного конденсатора (рекомендован конденсатор 100 нФ).

- VCC – выход питания внутренних цепей управления. Не подключается к внешним нагрузкам. Подключается через конденсатор 1 мкФ к GND.
- FB - вход компаратора обратной связи по выходному напряжению. Подключается к делителю напряжения, с помощью которого устанавливается выходное напряжение.
- PG – подключается к напряжению питания через токоограничивающий резистор (рекомендуется 100 кОм). Высокий уровень – питание есть, низкий уровень – питания нет.
- EN – подключается к входному напряжению.
- VIN – контакты для подключения входного источника питания и конденсаторов (должны располагаться максимально близко к контакту).

На чертеже преобразователь обозначен DD1.

2 Расчет и выбор элементов обвязки микросхемы LMR36015-Q1

Используя документацию [1] на микросхему LMR36015-Q1, произведем расчет и выбор элементов, подключаемых к микросхеме. Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные

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.

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. 10.2.1.2.3.1 документации [1]:

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

где $V_{REF} = 1$ В.

Назначено $R_{FBT} = R_7 = 100$ кОм. Тогда

$$R_{FBB} = \frac{100000}{\frac{5}{1} - 1} = 25 \text{ кОм.}$$

Представим R_{FBB} в виде двух последовательно подключенных резисторов $R_{FBB1} = R_8 = 12$ кОм и $R_{FBB2} = R_9 = 13$ кОм.

2.2 Выбор частоты переключения f_{sw}

Частота переключения преобразователя фиксированная, 400 кГц или 2,1 МГц, и определяется номером детали (part number). Выбран преобразователь LMR36015FSCQRNXRQ1, частота переключения которого $f_{sw} = 2,1$ МГц.

2.3 Расчет значения индуктивности

Для расчета значения индуктивности согласно п. 10.2.1.2.4 документации [1] используем формулу (2).

$$L = \frac{V_{in} - V_{out}}{f_{sw} \cdot K \cdot I_{out(max)}} \cdot \frac{V_{out}}{V_{in}}, \quad (2)$$

где $K = 0,3$ — доля амплитуды пульсаций тока катушки относительно максимального значения выходного тока,

$f_{sw} = 2,1$ МГц — частота переключения контроллера

Тогда

$$L = \frac{48 - 5}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \cdot 1} \cdot \frac{5}{48} = 7,1 \text{ мкГн.}$$

Во избежание субгармонических колебаний значение индуктивности не должно быть меньше

$$L_{min} \geq 0,28 \cdot \frac{V_{out}}{f_{sw}} = 0,28 \cdot \frac{48}{2,1 \cdot 10^6} = 6,4 \text{ мкГн.} \quad (3)$$

Выбрана катушка индуктивности с $L = 6,8$ мкГн (L_1 на чертеже).

2.4 Выбор конденсаторов на входе микросхемы

Согласно рекомендациям из п. 10.2.1.2.6 даташита [1] выбраны керамические конденсаторы: два номиналом 4,7 мкФ (C_1 и C_2) с номинальным напряжением 100 В и два номиналом 220 нФ (C_3 и C_4) с номинальным напряжением 100 В.

2.5 Расчёт конденсатора на выходе микросхемы

Нижнюю границу выходной емкости можно оценить с помощью формулы из п. 10.2.1.2.5 даташита [1]:

$$C_{OUT} \geq \frac{\Delta I_{OUT}}{f_{SW} \cdot \Delta V_{OUT} \cdot K} \cdot \left[(1 - D) \cdot (1 + K) + \frac{K^2}{12} \cdot (2 - D) \right] \quad (4)$$

где $D = V_{out}/V_{in} = 5/48 = 0,104$;

ΔI_{OUT} – пульсация выходного тока; найдём по формуле (исходя из (3))

$$\Delta I_{OUT} = \frac{V_{in} - V_{out}}{f_{sw} \cdot L} \cdot \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{48 - 5}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 6,8 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{5}{48} = 0,31 \text{ А};$$

ΔV_{OUT} – пульсация выходного напряжения,

K – коэффициент из расчёта индуктивности.

Рассчитаем нижнюю границу выходной емкости, приняв $\Delta V_{OUT} = 20$ мВ:

$$C_{OUT} > \frac{0,31}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3} \cdot \left[(1 - 0,104) \cdot (1 + 0,3) + \frac{0,3^2}{12} \cdot (2 - 0,104) \right] \\ = 29 \text{ мкФ}.$$

Верхнюю границу эквивалентного последовательного сопротивления (ESR) конденсатора можно оценить с помощью формулы из п. 10.2.1.2.5 даташита [1]:

$$ESR \leq \frac{(2 + K) \cdot \Delta V_{OUT}}{2 \cdot \Delta I_{OUT} \cdot \left[1 + K + \frac{K^2}{12} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 - D} \right) \right]}. \quad (5)$$

Рассчитаем верхнюю границу эквивалентного последовательного сопротивления:

$$ESR \leq \frac{(2 + 0,3) \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,31 \cdot \left[1 + 0,3 + \frac{0,3^2}{12} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 - 0,104} \right) \right]} = 0,056 \text{ Ом}.$$

Выбраны 2 керамических конденсатора C_8 и C_9 22 мкФ, 10 В, X7R.

2.6 Расчет конденсатора на входе FB

Для улучшения качества переходной характеристики применяют конденсатор C_{FF} в цепи обратной связи. Оценим значение C_{FF} с помощью формулы из документации [1] п. 10.2.1.2.9:

$$C_{FF} < \frac{V_{OUT} \cdot C_{OUT}}{120 \cdot R_{FBT} \cdot \sqrt{\left(\frac{V_{REF}}{V_{OUT}}\right)}} = \frac{5 \cdot 44 \cdot 10^{-6}}{120 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{5}\right)}} = 4,1 \cdot 10^{-11} \text{Ф}. \quad (6)$$

Выбран конденсатор ёмкостью $C_{FF} = C_7 = 27$ пФ с номинальным напряжением 50 В.

2.7 Выбор конденсатора на входе BOOT

Согласно рекомендациям п. 10.2.1.2.7 из даташита [1] выберем конденсатор $C_{BOOT} = C_6 = 0,1$ мкФ номинальным напряжением 25 В.

2.8 Выбор конденсатора на входе VCC

Согласно рекомендациям п. 10.2.1.2.8 даташита [1] выбран конденсатор $C_{VCC} = C_5 = 1$ мкФ номинальным напряжением 16 В.

2.9 Расчет резисторов делителя напряжения на выводе EN

Нижний порог напряжения, при котором микросхема преобразователя включается в работу может быть настроен с помощью функции UVLO контакта EN [1, п. 10.2.1.2.9.1]. Для этого нужно подключить делитель напряжения. Номинал нижнего резистора $R_{ENB} = R_4$ выбирается в пределах от 10 до 100 кОм (выбран $R_{ENB} = 10,2$ кОм), номинал верхнего резистора $R_{ENT} = R_3$ рассчитывается по формуле (7).

$$R_{ENT} = \left(\frac{V_{ON}}{V_{EN-H}} - 1 \right) \cdot R_{ENB}, \quad (7)$$

где $V_{ON} = 40$ В – напряжение включения,

$V_{EN-H} = 1,231$ В – напряжение на контакте EN, соответствующее переключению микросхемы в рабочий режим.

Тогда сопротивление верхнего резистора

$$R_{ENT} = \left(\frac{40}{1,231} - 1 \right) \cdot 10,2 = 321 \text{ кОм}.$$

Выберем $R_{ENT} = R_3 = 330 \text{ кОм}$.

2.10 Индикация выходного напряжения

В качестве индикации выходного напряжения микросхемы к контакту PGOOD, подтянутому к входному питанию через резистор $R_5 = 100 \text{ кОм}$, подключен светодиод TLMG1100-GS08 красного цвета (HL_2). Светодиод имеет параметр падения напряжения $V_F = 2,1 \text{ В}$ и номинальный прямой ток $I_F = 20 \text{ мА}$. Ток, протекающий через токоограничивающий резистор $R_{LED} = R_6$, рассчитывается по формуле (8).

$$I_{LED} = \frac{V_{OUT} - V_F}{R_{LED}} \quad (8)$$

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

$$R_{LED} \geq \frac{V_{OUT} - V_F}{I_F} = \frac{48 - 2,1}{0,02} = 2295 \text{ Ом}$$

Выбран резистор $R_{LED} = R_6 = 2400 \text{ Ом}$.

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 (Gerber-файл и сверловка), перечень электронных компонентов и файлы проекта Altium Designer.

Список использованных источников

1. LMR36015-Q1 4.2-V to 60-V, 1.5-A Ultra-Small Synchronous Step-Down Converter [Электронный ресурс] – URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmr36015-q1.pdf?ts=1605706736340> (дата обращения: 17.01.2021).