

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

Куликов М.М.

Преподаватель

Капустин Д.А.

« » _____ 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ЗАДАНИЕ | 3 |
| 1 Описание ключевых элементов схемы..... | 4 |
| 1.1 Разъемы | 4 |
| 1.2 Защита от перенапряжения и переполюсовки | 4 |
| 1.3 Преобразователь напряжений..... | 6 |
| 1.4 Индикация..... | 8 |
| 2 Расчет и выбор элементов обвязки LMR16020 | 9 |
| 2.1 Расчет резисторов для входа FB | 9 |
| 2.2 Расчет частоты переключения f_{sw} | 9 |
| 2.3 Расчет значения индуктивности | 10 |
| 2.7 Выбор диода Шоттки..... | 11 |
| 2.8 Выбор конденсатора для выхода BOOT | 11 |
| 2.9 Индикация выходного напряжения | 11 |
| 3 Расчет и выбор элементов обвязки микросхемы TPS1663 | 12 |
| 3.1 Расчет резисторов делителя напряжения | 12 |
| 3.2 Выбор входного конденсатора | 12 |
| 3.3 Расчет конденсатора для выхода dVdT | 13 |
| 3.4 Расчет резистора для выхода ILIM | 13 |
| 3.5 Режим низкого энергопотребления..... | 13 |
| Заключение | 14 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 15 |

ЗАДАНИЕ

Разработать понижающий преобразователь напряжения DC/DC 12В/5В на основе микросхемы LMR16020. Мощность преобразователя 10Вт. Преобразователь должен обеспечивать работу в диапазоне входных напряжений от 10В до 16В. Преобразователь должен быть защищен от подачи напряжения обратной полярности, а также от подачи напряжения больше 16В. В устройстве должно присутствовать индикация напряжения питания на выходе. Выход преобразователя должен быть защищен предохранителем.

Предоставить файлы проекта Altium Designer, перечень электронных компонентов, файлы для производства печатной платы, принципиальную электрическую схему изделия в формате pdf, отчет о лабораторной работе в формате pdf.

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 — разъем семейства Micro-Fit от фирмы Molex 4-1775099-0, который используется в цепях питания материнских плат по стандарту ATX. На выходе устройства — разъем USB 2.0 Type A.

1.2 Защита от перенапряжения и переполюсовки

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, °C | от -40 до 150 |
| Температура теплового отключения, °C | 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 $I_F = 1.5 \text{ А}$.

1.3 Преобразователь напряжений

LMR16020 — это понижающий DC-DC преобразователь на 60В, 2А со встроенным полевым МОП-транзистором высокого напряжения. Обладая широким диапазоном входного напряжения от 4,3 В до 60 В, он подходит для различных применений для регулирования мощности от нерегулируемых источников. Ток покоя регулятора составляет 40 мкА в спящем режиме, что подходит для систем с батарейным питанием. Сверхнизкий ток 1 мкА в режиме отключения может еще больше продлить срок службы батареи. Широкий регулируемый диапазон частот коммутации позволяет оптимизировать выбор компонентов выходного фильтра. Устройство имеет встроенные функции защиты, такие как поцикловое ограничение тока, определение температуры и отключение из-за чрезмерного рассеивания мощности, а также защиту от перенапряжения на выходе.

Основные характеристики данной микросхемы приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 — Характеристики микросхемы LMR16020

| Параметр | Значение |
|--------------------------------------|---------------|
| Номинальное напряжение, В | от 4,3 до 60 |
| Номинальный ток, А | до 2 |
| Частота переключения, МГц | от 0,2 до 2,5 |
| Рабочие температуры, °С | от -40 до 125 |
| Температура теплового отключения, °С | 170 |

На рисунке 1.1 представлено условное графическое обозначение микросхемы.

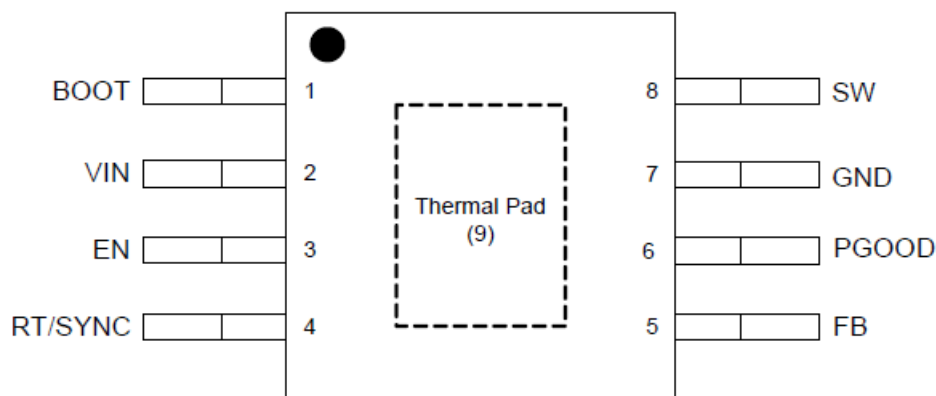


Рисунок 1.1 — УГО микросхемы LMR16020

- Контакт VIN предназначен для подключения входного напряжения питания с рабочим диапазоном от 4,3 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/SYNK 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 PGOOD подключается к выходному напряжению через токоограничивающий резистор.
- 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 предусмотрен светодиод для индикации напряжения питания на выходе.

2 Расчет и выбор элементов обвязки LMR16020

Проведем расчет и выбор элементов для микросхемы LMR16020 согласно документации [2]. Исходные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Исходные данные для LMR16020

| Параметр | Значение |
|-----------------------------------|-------------|
| Номинальное входное напряжение, В | 12 |
| Диапазон входного напряжения, В | от 10 до 16 |
| Выходное напряжение, В | 5 |
| Ток нагрузки, А | 2 |

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. 8.2.2.2 документации [2]

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

где $V_{FB} = 0,75$ В.

Производитель рекомендует выбрать R_{FBT} в диапазоне 10 — 100 кОм, выберем $R_{FBT} = 68$ кОм и рассчитаем R_{FBB}

$$R_{FBB} = \frac{0,75}{5 - 0,75} * 68000 = 12000 \text{ Ом}$$

Используем резисторы 6,8 кОм и 12кОм.

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].

$$R_T[\text{кОм}] = 42904 \times f_{sw}[\text{кГц}]^{-1,088} \quad (2)$$

Выберем частоту 522,36 кГц, тогда

$$R_T[\text{кОм}] = 42904 \times 522,36^{-1,088} = 47,353 \text{ кОм}$$

Выбираем ближайшее значение $R_T = 47$ кОм и используем резистор 47 кОм.

2.3 Расчет значения индуктивности

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

$$L_{MIN} = \frac{V_{IN_MAX} - V_{OUT}}{I_{OUT} \times K_{IND}} \times \frac{V_{OUT}}{V_{IN_MAX} \times f_{SW}} \quad (3)$$

Подставив значения, получим:

$$L_{MIN} = \frac{60 - 5}{2 \times 0,4} \times \frac{5}{60 \times 522,36} = 10,4$$

Выбираем ближайшее значение 10 мкГн и выбираем катушку индуктивности с $L = 10$ мкГн.

2.4 Выбор конденсаторов на входе микросхемы

Согласно рекомендациям из п. 8.2.2.4 даташита [2] выберем $C_{IN} = 4.7$ мкФ с напряжением 25 В.

2.5 Расчёт конденсатора на выходе микросхемы

Для расчета значения конденсатора на выходе микросхемы, согласно п. 8.2.2.6 документации [2], используем формулы (4) и (5).

$$C_{OUT} > \frac{3 \times (V_{IN_MAX} - V_{OUT})}{f_{SW} \times V_{US}} \quad (4)$$

$$C_{OUT} > \frac{I_{OH}^2 - I_{OL}^2}{(V_{OUT} + V_{OS})^2 - V_{OUT}^2} \times L \quad (5)$$

Подставив значения, получим:

$$C_{OUT} > \frac{3 \times (2 - 0,2)}{522,36 \times 0,25} = 41.35 \text{ мкФ} \quad (4)$$

$$C_{OUT} > \frac{2^2 - 0,2^2}{(5 + 0.25)^2 - 25} \times 10 = 14,98 \text{ мкФ} \quad (5)$$

Согласно документации, необходимо поставить конденсаторы емкостью не ниже суммы полученных значений. Выбираем, с запасом по номинальному напряжению в 2 раза, 2 конденсатора 100 мкФ, 10 В.

2.6 Выбор резистора для входа PGOOD

Согласно п. 8.2.2.13 документации [2] если выходное напряжение не превышает 7 В, то подтянем контакт PGOOD к выходу дросселя через резистор $R_{PGOOD} = 100 \text{ кОм}$.

2.7 Выбор диода Шоттки

Согласно п. 8.2.2.5 документации [2], номинальный пиковый ток должен быть выше, чем максимальный ток нагрузки. Выбираем диод Шоттки 60 В, 3 А.

2.8 Выбор конденсатора для выхода BOOT

Согласно рекомендациям п. 8.2.2.8 из даташита [2] выберем конденсатор $C_{BOOT} = 0.1 \text{ мкФ}$ и номинальным напряжением выше 10 В.

2.9 Индикация выходного напряжения

В качестве индикации выходного напряжения микросхемы параллельно выходу установим индикаторный светодиод красного цвета. Светодиод TLMS1000-GS08 имеет параметр падения напряжения $V_F = 1.8 \text{ В}$ и номинальный прямой ток $I_F = 15 \text{ мА}$. 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 $R_{LED} = 220 \text{ Ом}$.

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} | 10 В |
| Верхний порог входного напряжения, V_{OV} | 16 В |

3.1 Расчет резисторов делителя напряжения

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 $R3 = 20$ кОм и из (11) найдем $R1 + R2$

$$R1 + R2 = \frac{R3 * V_{OV}}{V_{OVPR}} - R3 = \frac{20000 * 16}{1.2} - 20000 = 246666 \text{ Ом}$$

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

$$\begin{aligned} R2 &= \frac{V_{UVLOR}(R1 + R2 + R3)}{V_{UV}} - R3 = \frac{1.2(246666 + 20000)}{10} - 20000 \\ &= 11999 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Выберем $R2 = 12$ кОм и рассчитаем $R1$

$$R1 = 246666 - R2 = 246666 - 12000 = 234666 \text{ Ом}$$

Выберем ближайшее значения для $R1 = 240$ кОм.

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 $V_{CIN} = 100$ В.

3.3 Расчет конденсатора для выхода dVdT

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

$$C_{dVdT} = \frac{t_{dVdT}}{20.8 * 10^3 * V_{IN}} \quad (13)$$

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

$$t_{dVdT} = \frac{V_{IN} * C_{OUT}}{I_{INRUSH}} = \frac{16 * 4,7 * 10^{-6}}{300 * 10^{-3}} = 0.0002 \text{ с} \quad (14)$$

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

$$C_{dVdT} = \frac{0.0002}{20.8 * 10^3 * 16} = 0.0006 \text{ мкФ}$$

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].

$$R_{ILIM} = \frac{18}{I_{LIM}} = \frac{18}{2} = 9 \text{ кОм} \quad (15)$$

Выберем резистор $R_{ILIM} = 9.1 \text{ кОм}$

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

Заключение

В ходе лабораторной работы был разработан понижающий-повышающий преобразователь напряжения DC/DC 12В/5В на основе микросхемы LMR16020. Дано описание микросхемы, выполнен выбор электронных компонентов.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. LMR16020 SIMPLE SWITCHER® 60 V, 2 A Step-Down Converter With 40 μ A I_Q (Rev. A), URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmr16020.pdf>