

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

Соколов Д.А.

Преподаватель

Капустин Д. А.

« » _____ 2020 г.

Санкт-Петербург

2020

Содержание

Задание	3
1 Описание ключевых элементов схемы.....	4
1 Описание функций TPS61088	6
1.1 Расчет времени плавного запуска (soft-start)	6
1.2 Блокировка пониженного напряжения (UVLO).....	6
1.3 Регулировка частоты переключения	6
1.4 Регулировка предела пикового тока	7
1.5 Защита от высокого напряжения	8
1.6 Термическое отключение	8
2 Расчет и выбор элементов обвязки микросхемы TPS61088.....	9
2.1 Расчет частоты переключения	9
2.2 Установка пикового значения тока.....	9
2.3 Установка выходного напряжения	10
2.4 Расчет индуктивности	10
2.5 Расчет входного конденсатора	11
2.6 Расчет выходного конденсатора	11
2.7 Расчет обвязки для стабильности рабочего цикла	12
2.8 Индикация выходного напряжения	13
Заключение	15
Список использованных источников.....	16

Задание

Разработать повышающий преобразователь напряжения DC/DC 5В/12В. Мощность преобразователя 5Вт. Преобразователь должен обеспечивать работу в диапазоне входных напряжений от 5В до 9В. В устройстве должно присутствовать индикация напряжения питания на выходе. Устройство должно быть защищено от КЗ на выходе источника. В качестве преобразователя напряжения использовать микросхему TPS61088.

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

TPS61088 — это полностью интегрированный синхронный повышающий преобразователь с высокой плотностью мощности. Устройство имеет ток переключения 10 А и способно обеспечивать выходное напряжение до 12,6 В. В условиях умеренной и тяжелой нагрузки TPS61088 работает в режиме ШИМ. В условиях легкой нагрузки устройство имеет два режима работы (широтно-импульсная модуляция и частотно-импульсная модуляция), переключаемых выводом MODE. TPS61088 также реализует программируемую функцию плавного пуска и регулируемую функцию ограничения пикового тока переключения. Кроме того, устройство обеспечивает защиту от перенапряжения на выходе 13,2 В, циклическую защиту от перегрузки по току и защиту от перегрева.

Основные характеристики данной микросхемы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики микросхемы TPS61088

Параметр	Значение
Диапазон входного напряжения, В	от 2,7 до 12
Диапазон выходного напряжения, В	от 4,5 до 12,6
Ток переключения, А	10
Рабочие температуры, °С	от -40 до 125
Температура теплового отключения, °С	150
Частота переключения, МГц	0,2 – 2,2

На рисунке 1 представлено условное графическое обозначение (УГО) микросхемы.

Описание контактов на УГО представлено в таблице 2.

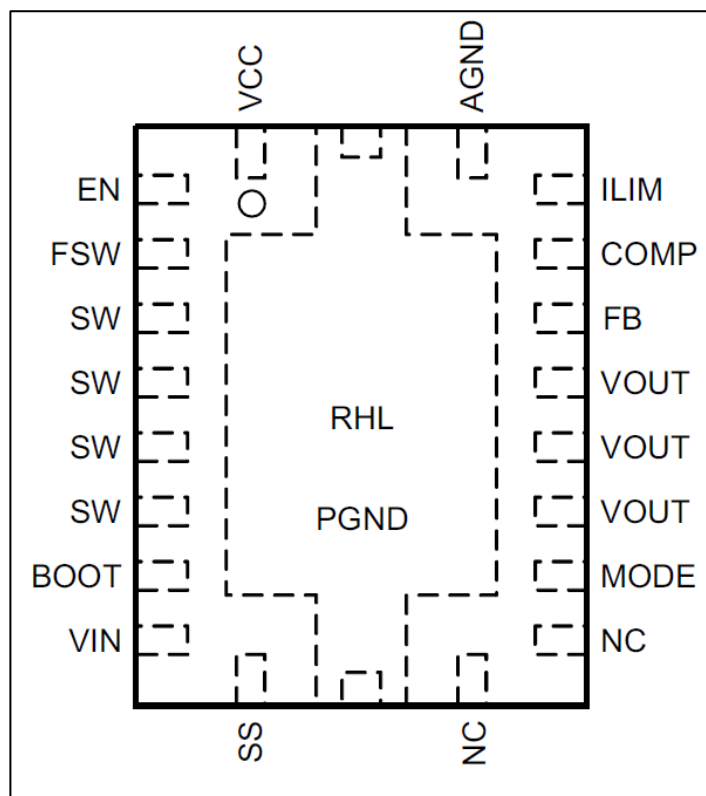


Рисунок 1 — УГО микросхемы TPS61088

Таблица 2— Описание контактов микросхемы TPS61088

Контакт		Тип	Описание
Наименование	Номер		
VCC	1	Выход	Выход внутреннего регулятора. Между этим выводом и землей требуется керамический конденсатор емкостью более 1,0 мкФ.
EN	2	Вход	Включение дискретного входа. Логика высокого уровня включает устройство. Логический низкий уровень отключает устройство и переводит его в режим выключения.
FSW	3	Вход	Частота переключения программируется резистором между этим выводом и выводом SW.
SW	4, 5, 6, 7	Вход	Вывод коммутационного узла преобразователя. Он соединен со стоком внутреннего МОП-транзистора низкой мощности и истоком внутреннего МОП-транзистора высокой мощности.
BOOT	8	Выход	Источник питания для высокочастотного драйвера МОП-транзистора. Между этим выводом и выводом SW должен быть подключен керамический конденсатор емкостью 0,1 мкФ.
VIN	9	Вход	Вход питания цепи
SS	10	Выход	Программируемый контакт плавного пуска. Внешний конденсатор устанавливает скорость нарастания опорного напряжения внутреннего усилителя во время плавного пуска.
NC	11, 12	—	Внутри устройства нет подключения. Соединить эти два контакта с плоскостью заземления на печатной плате для хорошего тепловыделения.
MODE	13	Вход	Вывод выбора режима работы устройства в режиме легкой нагрузки. Когда этот вывод соединен с землей, устройство работает в режиме ШИМ. Когда этот вывод остается плавающим, устройство работает в режиме ЧИМ.
VOUT	14, 15, 16	Выход	Выход повышающего преобразователя
FB	17	Вход	Обратная связь по напряжению. Подключить резисторный делитель для программирования выходного напряжения.
COMP	18	Выход	Выход внутреннего усилителя ошибок, контурная компенсационная сеть должна быть подключена между этим выводом и выводом AGND.
ILIM	19	Выход	Регулируемый предел пикового тока переключателя. Между этим выводом и выводом AGND должен быть подключен внешний резистор.
AGND	20	—	Сигнальный вывод земли
PGND	21	—	Силовой вывод земли

1 Описание функций TPS61088

Проведем расчет и выбор элементов обвязки микросхемы TPS61088 согласно документации [1]. Исходные данные приведены в таблице 1.

1.1 Расчет времени плавного запуска (soft-start)

TPS61088 имеет регулируемую функцию плавного пуска для предотвращения высокого пускового тока во время пуска.

Для расчета времени плавного пуска используется следующая формула (1) [1, гл. 7.3.1]

$$t_{ss} = \frac{V_{REF} \cdot C_{SS}}{I_{SS}} \quad (1)$$

где V_{REF} – это внутреннее опорное напряжение в 1,204 В;

C_{SS} – это емкость между выводом SS и землей;

I_{SS} – это зарядный ток плавного пуска в 5 мкА

1.2 Блокировка пониженного напряжения (UVLO)

Схема UVLO предотвращает неисправность устройства при низком входном напряжении и чрезмерный разряд батареи. TPS61088 имеет обе функции VIN UVLO и VCC UVLO. [1, гл. 7.3.2]

Защита прекращает переключения, когда падающее напряжение на выводе VIN преодолевает порог UVLO VIN_UVLO, который обычно составляет 2,4 В.

Устройство начинает работать, когда повышающееся напряжение на выводе VIN на 200 мВ выше VIN_UVLO. Устройство так же отключается, когда падающее напряжение на выводе VCC преодолевает порог UVLO VCC_UVLO, который обычно составляет 2,1 В.

1.3 Регулировка частоты переключения

Устройство имеет широкую регулируемую частоту переключения в диапазоне от 200 кГц до 2,2 МГц. Частота переключения устанавливается резистором, подключенным между выводом FSW и выводом SW. Резистор должен быть всегда соединен с выводами FSW и SW для правильной работы.

Номинал резистора, необходимый для заданной частоты, может быть вычислен с помощью уравнения 2. [1, гл.7.3.3]

$$R_{FREQ} = \frac{4 \cdot \left(\frac{1}{f_{SW}} - t_{DELAY} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right)}{C_{FREQ}} \quad (2)$$

где

R_{FREQ} – это сопротивление, подключенное между выводом FSW и SW;

C_{FREQ} – это постоянная емкость, равная 23 пФ;

f_{SW} – это желаемая частота переключения;

t_{DELAY} – это постоянная времени задержки, равная 89 нс;

V_{IN} – это входное напряжение;

V_{OUT} – это выходное напряжение.

1.4 Регулировка предела пикового тока

Согласно [1, гл.7.3.4]:

Чтобы избежать резких всплесков тока, принимается значение внутреннего предельного тока. Нижний ключ выключается, как только ток переключения достигает установленного предельного значения.

Предел тока пикового переключателя может быть установлен резистором на выводе ILIM на землю. Соотношение между пределом тока и сопротивлением зависит от состояния вывода режима.

Когда контакт MODE не подключен, микросхема настроена на работу в режиме ЧИМ при небольшой нагрузке, использовать уравнение (3) для расчета значения резистора:

$$I_{ILIM} = \frac{1190000}{R_{ILIM}} \quad (3)$$

где

R_{ILIM} – это сопротивление между контактом ILIM и землей;

I_{ILIM} – это предельное значение тока переключения.

Когда значение сопротивления резистора равно 100 кОм, нормальное значение предела тока равно 11,9 А.

Когда контакт MODE соединен с землей, микросхема настроена на

работу в режиме ШИМ при небольшой нагрузке. Для расчета значения резистора использовать уравнение (4).

$$I_{ILIM} = \frac{1190000}{R_{ILIM}} - 1,6 \quad (4)$$

Когда значение сопротивления резистора равно 100 кОм, нормальное значение предела тока равно 10,3 А.

Учитывая конструкцию устройства, допуск по температуре, минимальный предел тока в худшем случае может быть на 1,3 А ниже значения, посчитанного формулами (3), (4).

1.5 Защита от высокого напряжения

Согласно [1, гл.7.3.5]:

Если выходное напряжение на контакте VOUT превышает 13,2 В, микросхема немедленно прекращает переключения до тех пор, пока напряжение на выводе VOUT не упадет на величину гистерезиса ниже порога защиты от выходного перенапряжения. Эта функция предотвращает перенапряжение на выходе схемы и защищает цепи, подключенные к выходу преобразователя, от чрезмерного напряжения.

1.6 Термическое отключение

Согласно [1, гл.7.3.6]:

Температурное отключение служит для предотвращения ущерба от чрезмерного нагрева и рассеивания мощности. Как правило, тепловое отключение происходит при температуре соединения 150°C. При срабатывании термического отключения устройство перестает переключаться до тех пор, пока температура соединения не упадет ниже обычно 130°C, а затем устройство снова начинает переключаться.

2 Расчет и выбор элементов обвязки микросхемы TPS61088

Проведем расчет и выбор элементов обвязки микросхемы TPS61088 согласно документации [1]. Исходные данные для расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета

Параметр	Значение
Номинальное входное напряжение, В	5
Диапазон входного напряжения, В	от 5 до 9
Выходное напряжение, В	12
Ток нагрузки, А	0,42
Мощность, Вт	5
Частота переключения, кГц	595

2.1 Расчет частоты переключения

Частота переключения устанавливается резистором, подключенным между выводом FSW и выводом SW TPS61088. [1, гл. 8.2.2.2]

Значение резистора, необходимое для желаемой частоты, может быть рассчитано с помощью формулы (2).

$$R_{FREQ} = \frac{4 \cdot \left(\frac{1}{f_{SW}} - t_{DELAY} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right)}{C_{FREQ}} = \frac{4 \cdot \left(\frac{1}{595000} - 89 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{12}{5} \right)}{23 \cdot 10^{-12}} = 255143$$

Округлив, получим $R_{FREQ} = 255 \text{ кОм}$.

2.2 Установка пикового значения тока

Пиковый входной ток устанавливается путем выбора правильного значения внешнего резистора, коррелирующего с требуемым пределом тока.[1, гл. 8.2.2.3]

Для расчета резистора используется формула (3):

$$I_{ILIM} = \frac{1190000}{R_{ILIM}} = \frac{1190000}{100000} = 11.9 \text{ А}$$

Выбран резистор $R_{ILIM} = 100 \text{ кОм}$, который устанавливает пиковое значение тока, равное $I_{ILIM} = 11,9 \text{ А}$.

2.3 Установка выходного напряжения

Выходное напряжение задается внешним резисторным делителем (R_5 , R_6 на принципиальной электрической схеме). Как правило, минимальный ток 20 мкА, протекающий через делитель обратной связи, дает хорошую точность и шумоподавление. [1, гл. 8.2.2.4].

Значение резистора R_6 принято равным 92 кОм. Значение резистора R_5 находят по формуле (5):

$$R_5 = \frac{(V_{OUT} - V_{REF}) \cdot R_6}{V_{REF}} \quad (5)$$
$$R_5 = \frac{(12 - 1.204) \cdot 92000}{1.204} = 824944$$

Выбран резистор $R_5 = 825$ кОм.

2.4 Расчет индуктивности

TPS61088 предназначен для работы со значениями индуктивности от 0,47 до 10 мкГн. Катушки индуктивностью 0,47 мкГн обычно выпускаются в меньшем или низкопрофильном корпусе, в то время как катушки с индуктивностью 10 мкГн производят меньшую пульсацию тока. Если выходной ток преобразователя ограничен защитой от пикового тока, то использование катушки индуктивности 10 мкГн может максимизировать выходную мощность контроллера.

Расчет постоянного тока катушки индуктивности (6):

$$I_{DC} = \frac{V_{OUT} \cdot I_{OUT}}{V_{IN} \cdot \eta} \quad (6)$$

где

I_{OUT} — это выходная сила тока преобразователя;

η — эффективность преобразования мощности.

$$I_{DC} = \frac{12 \cdot 0,42}{5 \cdot 0,7} = 1.44 \text{ A}$$

Расчет тока пульсации катушки:

$$I_{PP} = \frac{1}{L \cdot \left(\frac{1}{V_{OUT} - V_{IN}} + \frac{1}{V_{IN}} \right) \cdot f_{SW}} \quad (7)$$

где

I_{PP} – это ток пульсаций катушки;

L – это значение индуктивности;

$$I_{PP} = \frac{1}{4.7 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{1}{12-5} + \frac{1}{5} \right) \cdot 595000} = 1.043 \text{ A}$$

Пиковый ток на катушке рассчитывается по формуле (8):

$$I_{Lpeak} = I_{DC} + \frac{I_{PP}}{2} \quad (8)$$

$$I_{Lpeak} = 1,44 + \frac{1,043}{2} = 1.961 \text{ A}$$

Необходимо установить ограничение тока TPS61088 выше, чем пиковый ток I_{Lpeak} . Затем выбрать катушку с током насыщения выше установленного предела тока. Выбрана катушка SRN6045-4R7Y с током насыщения 3,5 А, индуктивностью 4,7 мкГн.

2.5 Расчет входного конденсатора

Для хорошей фильтрации входного напряжения TI рекомендует керамические конденсаторы с низким ESR. Вывод VIN — это источник питания для TPS61088. Рекомендуется использовать керамический конденсатор емкостью 0,1 мкФ как можно ближе к выводу VIN. Вывод VCC — это выход внутреннего регулятора. Для стабильной работы LDO на выводе VCC требуется керамический конденсатор емкостью более 1,0 мкФ [1, гл. 8.2.2.6].

Были выбраны конденсаторы C2 с емкостью 0,1 мкФ и C4 с емкостью 2,2 мкФ.

2.6 Расчет выходного конденсатора

Для небольших пульсаций выходного напряжения TI рекомендует использовать выходной конденсатор с низким ESR, такой как керамический конденсатор. Как правило, для большинства применений эффективны три керамических выходных конденсатора емкостью 22 мкФ. Более высокие значения конденсатора могут быть использованы для улучшения переходной

характеристики нагрузки [1, гл. 8.2.2.7].

Керамические конденсаторы могут потерять большую часть своей емкости при номинальном напряжении. Поэтому необходимо оставить запас по номинальному напряжению, чтобы обеспечить достаточную эффективную емкость. Используются следующие уравнения для расчета минимально необходимой эффективной емкости C_{OUT} :

$$V_{ripple_dis} = \frac{(V_{OUT} - V_{IN_MIN}) \cdot I_{OUT}}{V_{OUT} \cdot f_{SW} \cdot C_{OUT}} \quad (9)$$

$$V_{ripple_ESR} = I_{Lpeak} \cdot R_{C_ESR} \quad (10)$$

где

V_{ripple_dis} — это пульсация выходного напряжения, вызванная зарядкой и разрядкой выходного конденсатора;

V_{ripple_ESR} — это пульсация выходного напряжения, вызванная ESR;

R_{C_ESR} — эквивалентное последовательное сопротивление выходных конденсаторов.

Был выбран конденсатор C8 с емкостью 10 мкФ.

2.7 Расчет обвязки для стабильности рабочего цикла

TPS61088 требует внешней компенсации, которая позволяет оптимизировать отклик контура для каждого приложения. Вывод COMP — это выход внутреннего усилителя ошибок. К контакту COMP подключена внешняя компенсационная сеть, состоящая из резистора R3, керамических конденсаторов C5 и C6 [1, гл. 8.2.2.8].

Сопротивление резистора находится по формуле :

$$R_3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_{OUT} \cdot R_{sense} \cdot f_c \cdot C_O}{(1 - D) \cdot V_{REF} \cdot G_{EA}} \quad (11)$$

где

R_{sense} — это эквивалентный внутренний токочувствительный резистор, который составляет 0,08 Ом;

f_c — выбранная частота пересечения контура;

C_O — емкость выходного конденсатора;

D – это рабочий цикл переключения;

G_{EA} – это крутизна усилителя ($= 190$ мкА/В)

При $f_C = 35$ кГц, получим:

$$R_3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 12 \cdot 0,08 \cdot 35000 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{(1 - D) \cdot 1,204 \cdot 190 \cdot 10^{-6}} = 10254 \text{ Ом}$$

Выбран $R_3 = 10$ кОм.

Емкости конденсаторов C_5 C_6 находятся по формулам:

$$C_5 = \frac{R_O \cdot C_O}{2R_3} \quad (12)$$

$$C_6 = \frac{R_{ESR} \cdot C_O}{R_3} \quad (13)$$

где

R_O – это выходное сопротивление нагрузки;

R_{ESR} – это эквивалентное последовательное сопротивление выходного конденсатора.

При $R_O = 2$ Ом, $R_{ESR} = 0.084$ Ом, получим:

$$C_5 = \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10254} = 9,572 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$$

$$C_6 = \frac{0,084 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{10254} = 8,192 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$$

Были выбраны следующие конденсаторы: $C_5 = 1000$ пФ, $C_6 = 82$ пФ.

2.8 Индикация выходного напряжения

В качестве индикации выходного напряжения микросхемы параллельно выходу установим индикаторный светодиод TLMY1000-GS08. Светодиод обладает следующими характеристиками:

- Падение напряжения $V_F = 1.8$ В
- Номинальный прямой ток $I_F = 15$ мА

Ток, протекающий через резистор, рассчитывается по формуле (14).

$$I_{LED} = \frac{V_{OUT} - V_F}{R_{LED}} \quad (14)$$

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

$$R_{LED} \geq \frac{V_{OUT} - V_F}{I_{LED}} = \frac{12 - 1.8}{0.015} = 680 \text{ Ом}$$

Выбран резистор $R_{LED} = 750 \text{ Ом}$.

Заключение

В ходе лабораторной работы был разработан повышающий 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. TPS61088 10-A Fully-Integrated Synchronous Boost Converter datasheet (Rev. E), URL:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61088.pdf?ts=1610775409875&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F