

Проектирование импульсного DC/DC преобразователя с топологией SEPIC

Пятиренко А. Г.¹, Нестюркина М. В.²

¹Нестюркина Мария Викторовна / Nestjurkina Marija Viktorovna – бакалавр;

²Пятиренко Алексей Георгиевич / Pjatirenko Aleksej Georgievich – бакалавр,
кафедра вычислительной техники,

Национальный исследовательский университет
Московский институт электронной техники, г. Москва

Аннотация: в статье рассматривается проектирование преобразователя напряжения с топологией SEPIC. Проводятся расчеты основных параметров преобразователя: рабочий цикл, величина индуктивности, номиналы катушек индуктивности, максимальный среднеквадратичный ток, значение емкости выходного конденсатора.

Ключевые слова: SEPIC, импульсный источник, DC/DC преобразователь.

Все чаще возникает задача разработки устройства, источником питания которого являются различные литий-ионные или литий-полимерные аккумуляторы. Как известно, у таких элементов питания существует перепад выходного напряжения по мере разряда. В тех случаях, когда необходимое напряжение питания устройства лежит внутри интервала перепада выходного напряжения аккумулятора, возникает трудность стабилизации напряжения, которое может быть как выше необходимого, так и ниже. Иногда решением может служить обратноточный преобразователь, но наличие в нем довольно крупного для носимой электроники трансформатора и высокий уровень импульсных помех ставят перед разработчиком всё новые задачи.

В схемах с малой мощностью нагрузки рациональнее использовать импульсный источник с топологией SEPIC. Такое решение позволяет конструировать малогабаритные устройства с низким уровнем импульсных помех по питанию. К сожалению, топология SEPIC трудна для понимания начинающими разработчиками, а потому применяется не часто. В этой статье будет рассмотрен довольно простой метод расчета импульсного источника на основе микросхемы LM3478 от компании TI.

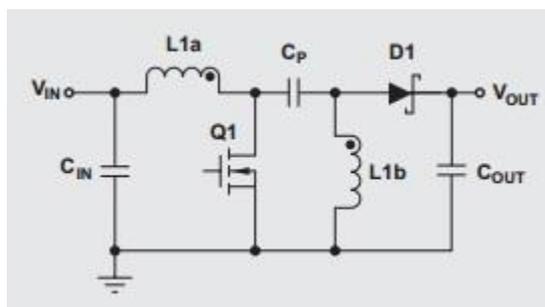


Рис. 1. Преобразователь SEPIC

На рисунке 1 изображена упрощенная принципиальная схема импульсного источника [2]. Как можно заметить, в ее составе имеется две катушки индуктивности. Ввиду увеличения популярности данной схемы источника производители современных электронных компонентов начали выпускать двоянные катушки индуктивности в одном корпусе. Это решение имеет несколько положительных последствий: стоимость пары катушек в одном корпусе ниже, чем у двух отдельных индуктивностей; площадь платы уменьшается; для достижения приемлемого тока пульсации необходимо взять индуктивность вдвое меньшего номинала, чем в случае использования двух отдельных катушек. Примером таких индуктивностей может служить серия IHCL-4040DZ от компании Vishay [1]. В схеме также присутствуют входной, выходной и разделительный конденсаторы, силовой ключ и диод.

Предполагая, что КПД равен 100 %, рабочий цикл D задается формулой:

$$D = \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} + V_{OUT} + V_D}, \quad (1)$$

где V_D - падение напряжения на диоде Шоттки.

Очевидно, что скважность достигает максимума при минимуме V_{IN} и наоборот.

Первым делом необходимо определиться с номиналами катушек индуктивности. Как правило, допускают ток пульсаций около 20-40 %.

$$\Delta I_L = I_{IN} \cdot 30\% = I_{OUT} \cdot \frac{V_{OUT}}{V_{IN(min)}} \cdot 30\% \quad (2)$$

Тогда величина индуктивности рассчитывается по формуле:

$$L1_a = L1_b = 1/2 \cdot \frac{V_{IN(min)} \cdot D_{max}}{\Delta I_L \cdot f_{sw}}, \quad (3)$$

где f_{sw} - частота ключа Q1.

Стоит отметить, что формула справедлива лишь для случая двояных индуктивностей. При использовании отдельных катушек величину индуктивности стоит брать вдвое больше.

В то время когда ключ Q1 открыт, индуктивность заряжается, а ток на выходе преобразователя подается с выходного конденсатора. Этот конденсатор должен иметь возможность обрабатывать максимальный среднеквадратичный ток.

$$I_{OUT(rms)} = I_{OUT} \cdot \sqrt{\frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN(min)}}} \quad (4)$$

Значение емкости выходного конденсатора выбирается исходя из выходного тока и допустимых пульсаций напряжения:

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT} \cdot D_{max}}{V_r \cdot 0.5 \cdot f_{sw}}, \quad (5)$$

где V_r - пульсации напряжения на выходе.

Выбор разделительного конденсатора зависит от действующего значения тока, который определяется по формуле (6), указанной выше. Номинальное напряжение конденсатора должно быть выше, чем максимальное входное напряжение. Хорошим решением будет использовать танталовые или керамические конденсаторы, которые имеют хорошие соотношения размеров и максимального действующего тока. Электролитические конденсаторы в данном случае могут использоваться лишь в проектах, не ограниченных в габаритных размерах. Пульсации напряжения на этом конденсаторе можно оценить по формуле:

$$\Delta V_C = \frac{I_{OUT} \cdot D_{max}}{C \cdot f_{sw}} \quad (6)$$

При выборе диода стоит обратить внимание на величину обратного импульсного напряжения, которая должна превосходить сумму максимального входного и выходного напряжения.

В качестве элемента управления силовым ключом чаще всего используют ШИМ-контроллеры. Для примера произведем расчет схемы импульсного преобразователя на основе микросхемы LM3478 со следующими параметрами: входное напряжение 2.4-4.3 В (типичные значения на выходе литий-полимерного аккумулятора); выходное напряжение 3.8 В (чаще всего такое напряжение необходимо для питания модулей GSM), выходной ток 500 мА. Контроллер LM3478 позволяет работать с частотой переключения от 100 КГц до 1 МГц. Очевидно, что такой диапазон сделан для применения микросхемы в широком круге устройств ввиду главного недостатка импульсных источников - значительных импульсных помех. Для расчета возьмем максимальную частоту в 1 МГц. В документации к микросхеме указано, что минимальное напряжения питания составляет 2.97 В. Это значение будем использовать как минимальное входное [3].

$$D_{max} = \frac{3.8 + 0.5}{2.97 + 3.8 + 0.5} = 0.59 \quad (7)$$

$$\Delta I_L = 0.5 \cdot \frac{3.8}{2.97} \cdot 30\% = 0.2 \text{ A} \quad (8)$$

$$L1_a = L1_b = 1/2 \cdot \frac{2.97 \cdot 0.59}{0.2 \cdot 10^6} = 4.4 \text{ мкГн} \quad (9)$$

$$I_{OUT(rms)} = 0.5 \cdot \sqrt{\frac{3.8 + 0.5}{2.97}} = 0.6 \text{ A} \quad (10)$$

$$C_{OUT} \geq \frac{0.5 \cdot 0.59}{5\% \cdot 3.8 \cdot 0.5 \cdot 10^6} \geq 3.1 \text{ мкФ} \quad (11)$$

В качестве разделительного и входного возьмем керамические конденсаторы емкостью не менее 10 мкФ.

$$\Delta V_C = \frac{0.5 \cdot 0.59}{10^{-5} \cdot 10^6} = 0.03 \text{ В} \quad (12)$$

Формулы для расчета цепей детектирования и компенсации специфичны для каждой микросхемы и приведены в документации на конкретный контроллер [4].

Литература

1. Электронные компоненты [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.elcomdesign.ru/news/news_2918.html (дата обращения: 16.07.2016).
2. *Falin J.* Designing DC/DC converters based on SEPIC topology / Texas Instrument Incorporated – 2008. – № 1. – С. 18-23.
3. *Zhang D.* AN-1484 Designing A SEPIC Converter / Texas Instrument Incorporated – 2013. – № 4. – С. 3-10.
4. LM3478x/-Q1 High-Efficiency Low-Side N-Channel Controller for Switching Regulator [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/snvs085w/snvs085w.pdf> (дата обращения: 17.07.2016).