

УДК 621.314

Р.Р. Османов, В.Г. Титов, Г.М. Мирясов

МАЛОШУМЯЩИЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕРХТОЧНОЙ АППАРАТУРЫ

Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева

Проведен анализ возможности применения импульсных источников питания в сверхточной высокочувствительной аппаратуре, описаны основные принципы работы наиболее оптимальных источников питания. По результатам компьютерного моделирования оценен уровень пульсаций выходного напряжения источников питания с Flyback, Forward и SEPIC архитектурами преобразователей.

Ключевые слова: аппаратура специального назначения, импульсный источник питания, малошумящий источник питания, Flyback преобразователь, Forward преобразователь, SEPIC преобразователь.

В настоящее время весьма актуальной является задача создания источников питания (ИП) для сверхточной высокочувствительной аппаратуры специального назначения.

На данный момент существует большое количество готовых решений ИП, но предъявление конкретных требований резко сужает область поиска подходящего. К основным требованиям относится уровень пульсаций выходного напряжения ИП в заданной полосе частот, не превышающий 1 мВ. Дело в том, что в большинстве случаев уровень регистрируемого прибором сигнала ненамного превышает уровень шумов, поэтому на точность обработки сигнала влияют собственные шумы, которые в большинстве случаев определяются шумами ИП.

Наиболее подходящим вариантом для использования в условиях вне лабораторной среды являются импульсные ИП. Данные типы ИП имеют приемлемые массогабаритные показатели, хорошие значения КПД, а также обладают достаточно простой и дешевой схмотехнической реализацией.

Из всего многообразия схмотехнических решений для импульсных ИП в качестве потенциального источника питания были выбраны обратноходовые (Flyback converter), прямоходовые (Forward converter) преобразователи, а также преобразователи с топологией SEPIC (single-ended primary inductance converter – преобразователь с несимметрично нагруженной первичной индуктивностью). Данный выбор основан на требованиях по мощности, по простоте исполнения ИП и его экономическим показателям.

Архитектура преобразователя Flyback

Принцип работы обратноходового преобразователя (рис. 1) заключается в том, что при открытом состоянии ключа (транзистора VT_1) в трансформаторе линейно нарастает ток и одновременно запасается энергия [1]. При этом диод VD_1 заперт. В момент размыкания ключа напряжение на трансформаторе увеличивается до уровня входного напряжения V_{in} . В момент, когда напряжение на трансформаторе достигает значения входного, диод VD_1 открывается, и напряжение трансформатора нарастает до выходного и устанавливается на этом уровне. Данный уровень называется напряжением обратного хода. Трансформатор при напряжении обратного хода отдает накопленную энергию в нагрузку.

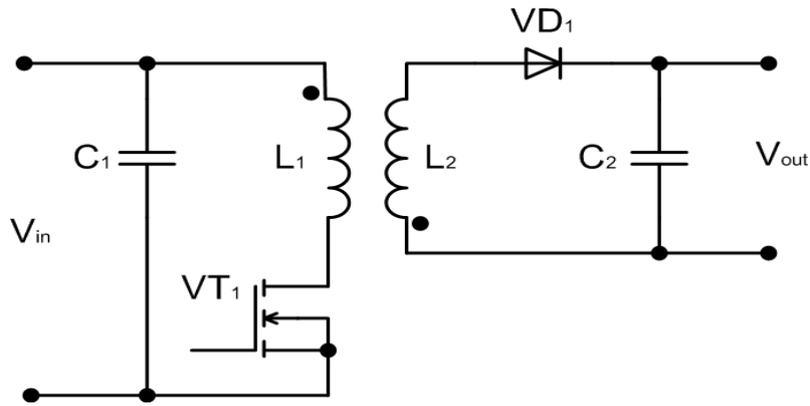


Рис. 1. Схема обратноходового (Flyback) преобразователя

Архитектура преобразователя Forward

Схема прямоходового преобразователя приведена на рис. 2 [1]. Основным отличием такого преобразователя, от обратноходового, является то, что здесь энергия запасается не в трансформаторе, а в индуктивности вторичной цепи L_4 . При замкнутом состоянии ключа ток протекает во вторичной цепи через вторичную обмотку трансформатора, индуктивность L_4 , конденсатор C_2 и сопротивление нагрузки. При этом диод VD_2 открыт, а VD_3 закрыт. Когда ключ размыкается, полярность напряжения обмоток трансформатора меняется на обратную. В результате этого диод VD_2 закрывается, а VD_3 переходит в открытое состояние. Ток во вторичной цепи замыкается через диод VD_3 , индуктивность, конденсатор и сопротивление нагрузки. В данной схеме размагничивание трансформатора происходит при помощи дополнительной обмотки и диода VD_1 .

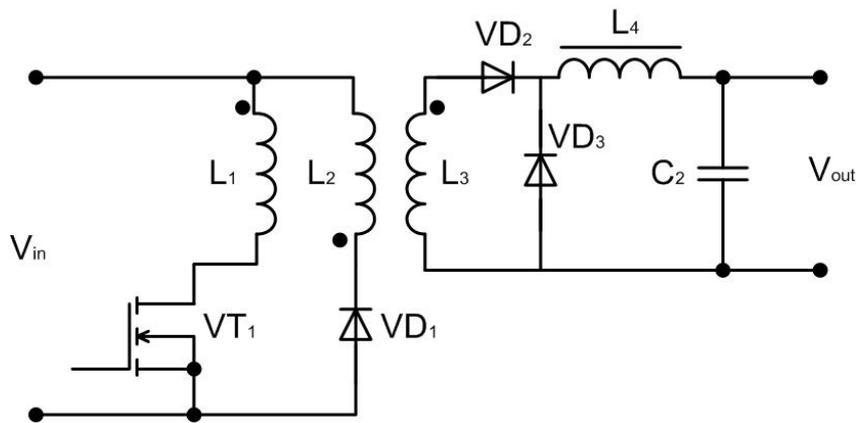


Рис. 2. Схема прямоходового (Forward) преобразователя

Архитектура преобразователя SEPIC

При замкнутом положении ключа преобразователя (рис. 3), происходит заряд индуктивности L_1 от входного источника напряжения [2, 3]. В то же время катушка L_2 принимает энергию от конденсатора C_1 . Выходной же конденсатор C_2 обеспечивает протекание тока в нагрузку, но в это время энергия в нагрузку не поступает. При размыкании ключа индуктивности L_1 заряжает конденсатор C_1 , одновременно поддерживая ток в нагрузке. В свою очередь индуктивность L_2 тоже подключена к нагрузке.

На современном этапе развития электронной аппаратуры ключевой частью проектирования любого электронного устройства является его математическое моделирование в специализированных программах схемотехнического анализа.

Все моделируемые схемы обеспечивали на выходе уровень напряжения равный 12 В и значение тока в районе 150 мА. В качестве нагрузки, имитирующей входное сопротивление прибора, используется резистор номиналом 100 Ом.

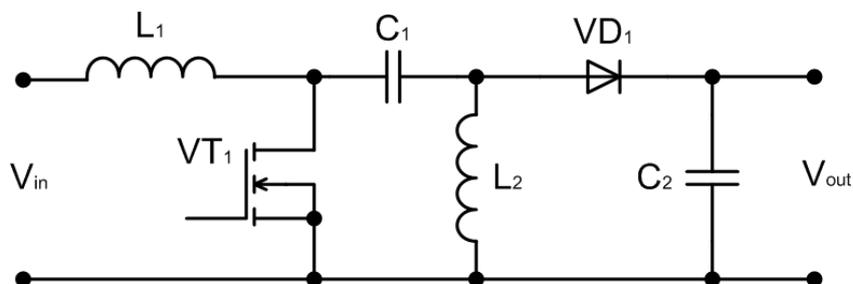


Рис. 3. Схема преобразователя SEPIC

Моделирование обратного преобразователя

На рис. 4 представлена модель импульсного стабилизатора напряжения на основе Flyback преобразователя [4]. Двухобмоточный дроссель (катушки L_1 и L_2 , сердечник K_1) осуществляет гальваническую развязку, передачу энергии из входной части схемы в выходную, а также преобразование уровня напряжений.

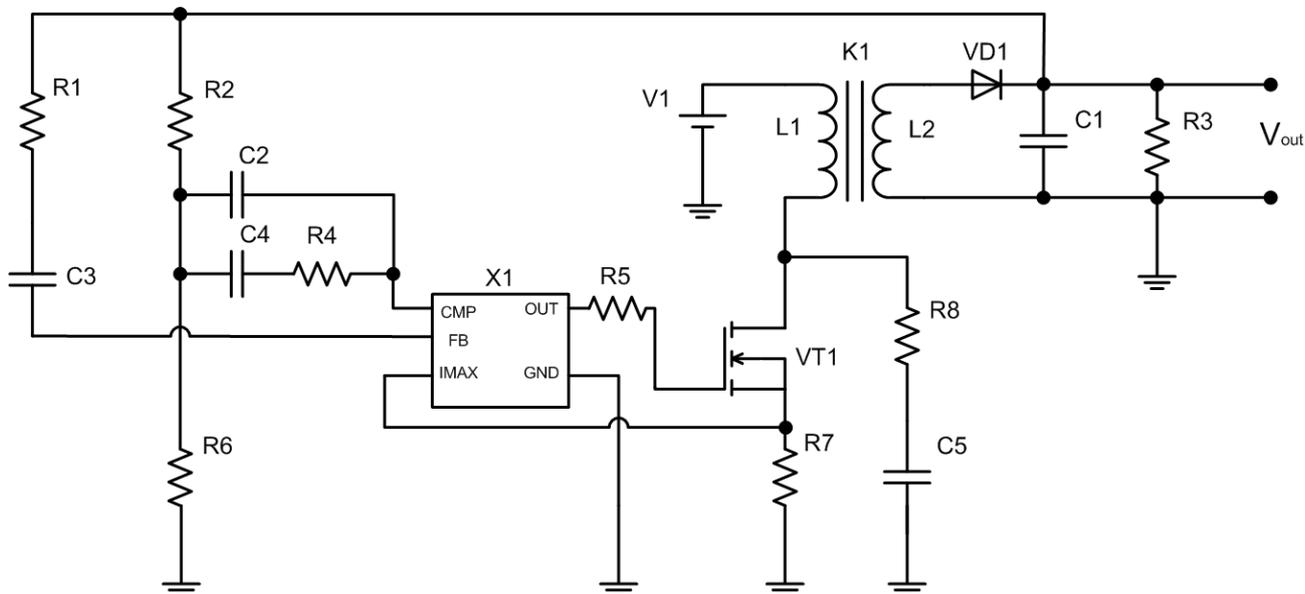


Рис. 4. Схема для моделирования работы импульсного источника питания (Flyback топология)

В качестве ШИМ-контроллера используется подсхема X_1 , создание которой приведено в [4]. VD_1 – диод, открывающийся при запираании полевого транзистора VT_1 . C_1 – конденсатор, выполняющий роль выходного фильтра, R_3 – резистор, имитирующий входное сопротивление прибора.

На рис. 5 представлены пульсации выходного напряжения в установившемся режиме. Уровень пульсаций составляет 25-35 мВ. Появление данных пульсаций объясняется особенностью работы ШИМ-контроллера преобразователя.

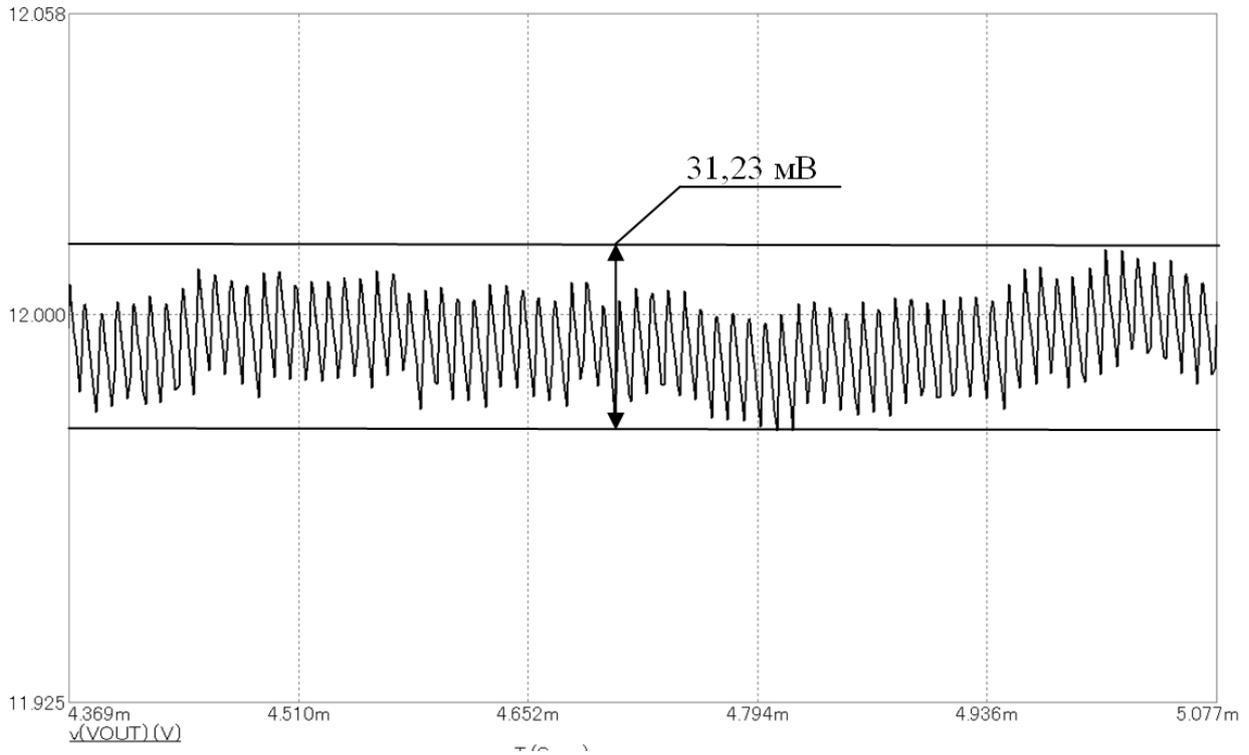


Рис. 5. Пульсация выходного напряжения (Flyback топология)

Моделирование прямоходового преобразователя

Электрическая схема Forward преобразователя приведена на рис. 6. Данная схема очень близка к Flyback преобразователю, но имеются некоторые отличия. В схеме присутствует катушка индуктивности L_1 , имитирующая дополнительную обмотку трансформатора. Также в первичной цепи установлен диод VD_1 .

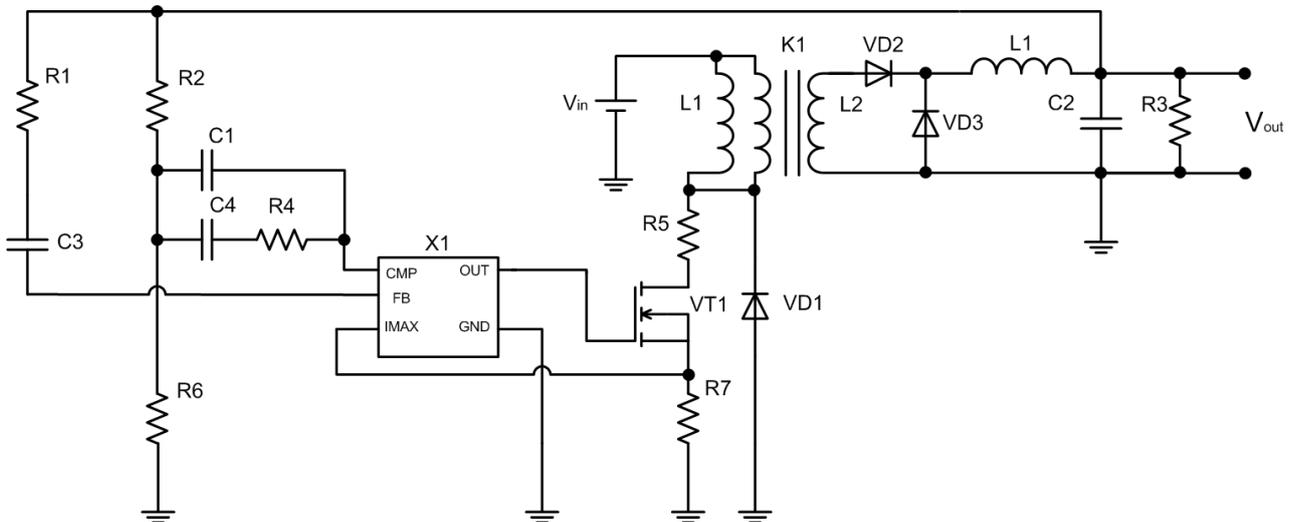


Рис. 6. Схема для моделирования работы импульсного источника питания (Forward топология)

Для прямоходового преобразователя коэффициент заполнения в ШИМ-контроллере X_1 выбирается меньше 0,5. Сглаживание выходного напряжения осуществляется фильтром, состоящим из катушки индуктивности L_4 конденсатора C_1 .

На рис. 7 показаны пульсации установившегося выходного напряжения преобразователя.

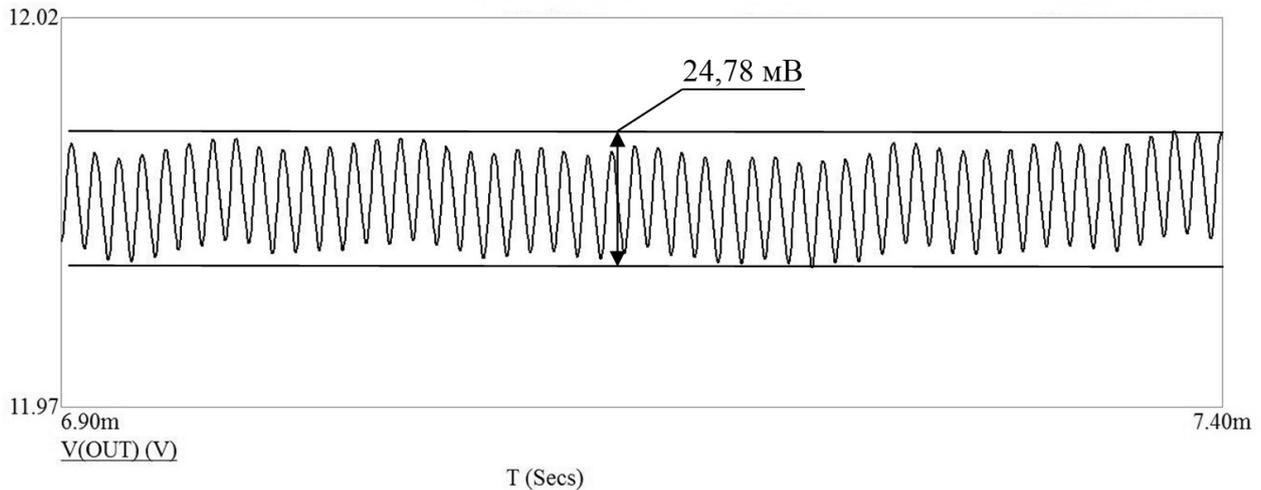


Рис. 7. Пульсация выходного напряжения (Forward топология)

По результатам моделирования можно сделать вывод, что уровень пульсации для прямоходового преобразователя при выходном напряжении 12 В не превышает 20-25 мВ.

Моделирование SEPIC преобразователя

Модель SEPIC преобразователя с учетом паразитных параметров представлена на рис. 7 [5]. В этой схеме паразитные сопротивления катушек L_1 , L_2 имитируют резисторы R_1 и R_2 соответственно. Паразитное сопротивление конденсатора C_2 отображает резистор R_4 . Резистор R_5 имитирует нагрузку.

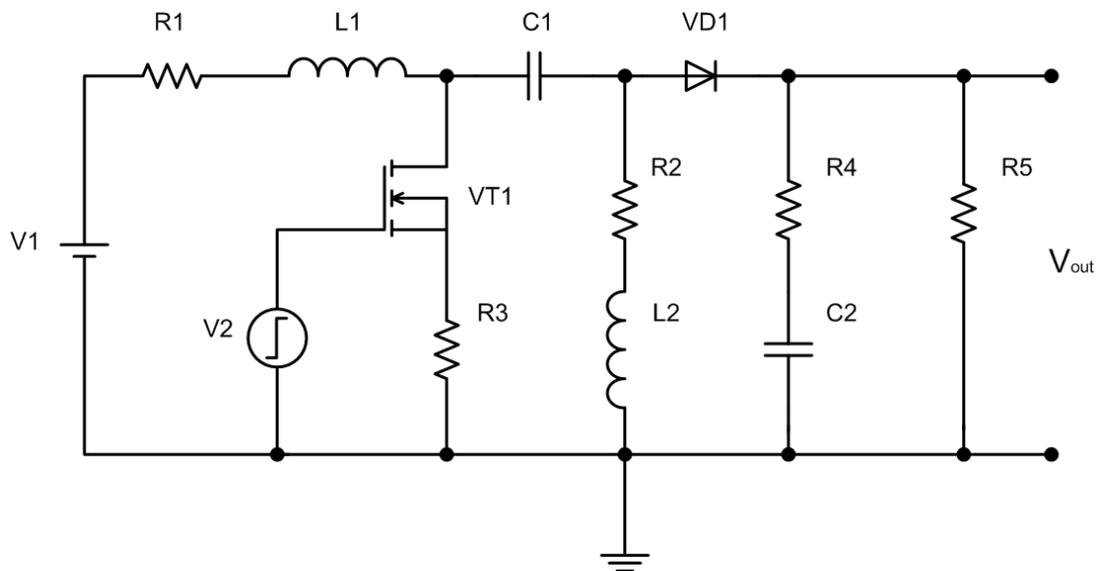


Рис. 8. Схема для моделирования работы импульсного источника питания (SEPIC топология)

Импульсный источник напряжения V_2 в данной схеме – это модель микросхемы, расчет временных параметров которой описан в [5].

Результаты моделирования представлены на рис. 8. Видно, что размах пульсаций выходного напряжения не превышает 10 мВ.

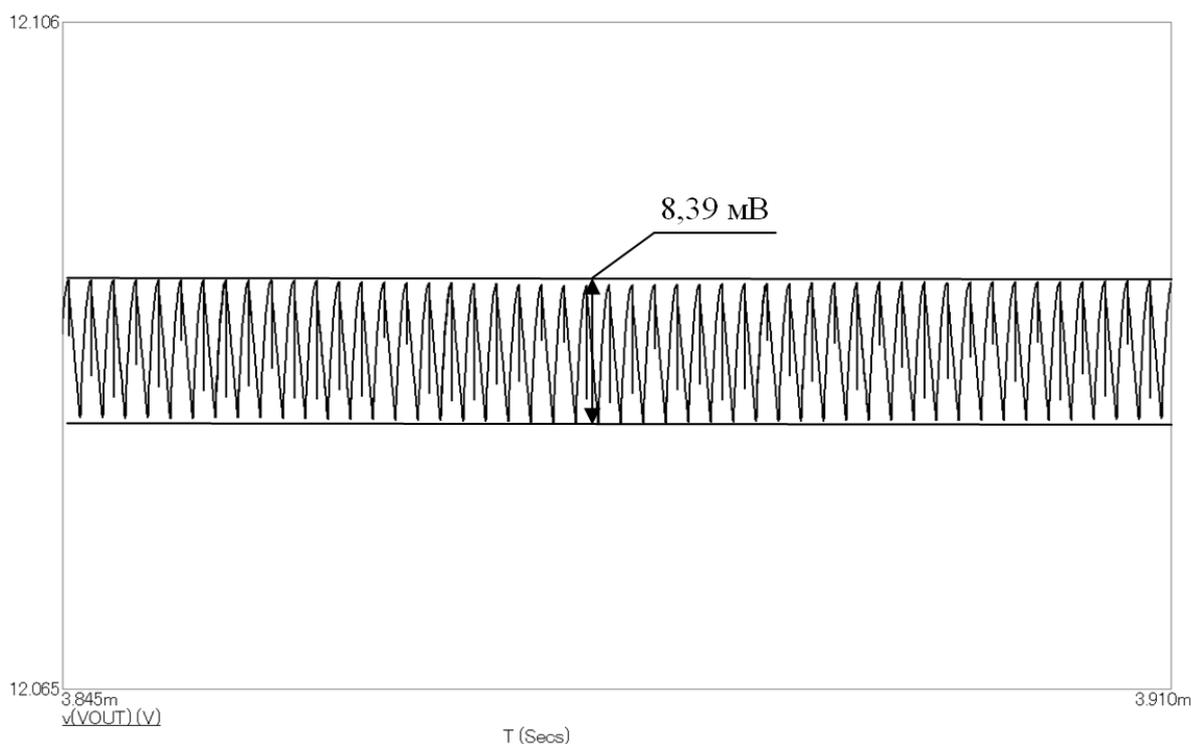


Рис. 9. Пульсация выходного напряжения

Заключение

Сравнивая рассмотренные схемы, можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальными, с точки зрения уровня пульсаций, являются преобразователи, основанные на SEPIC архитектуре. Уровень пульсаций в их выходном напряжении практически в два раза меньше, чем у прямоходовых преобразователей и в четыре, чем у обратноходовых. Однако, с точки зрения использования в сверхточной аппаратуре, все представленные топологии имеют неприемлемые уровни пульсаций. При использовании представленных преобразователей в качестве ИП резко увеличится уровень собственных шумов прибора и, следовательно, увеличивается погрешность обработки результатов высокоточных измерений, что является недопустимым.

В связи с этим в настоящее время ведутся исследования по подавлению пульсаций преобразователей. В качестве одного из решений предполагается использование на выходе ИП режекторных фильтров с центральной частотой ШИМ сигнала.

Библиографический список

1. **Бабурин, М.** Компоненты для построения источников питания / М.Бабурин, А. Павленко. – М.: Открытый мир, 2013. – 96 с.
2. **Ridley, R.** Analyzing the SEPIC Converter / R. Ridley. – Power Systems Design Europe. – 2006.
3. **Кесслер, М.** Неинвертирующие преобразователи напряжения с высоким КПД на основе синхронной топологии Inverse SEPIC // Мир электронных компонентов. – 2010. – №3. – С. 41–47.

4. **Амелина, М. А.** Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10 / М.А. Амелина, С.А Амелин. – Смоленск: Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012. – 617 с.
5. **Иоффе, Д.** Разработка импульсного преобразователя напряжения с топологией SEPIC // Компоненты и технологии. – 2006. – № 62. – С. 126–132.

*Дата поступления
в редакцию 01.07.2017*

R.R. Osmanov, V.G. Titov, G.M. Miryasov

LOW-NOISE POWER SUPPLY FOR HIGH-PRECISIONS INSTRUMENTATION

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alekseev

This article reads about possibility of using switched-mode power supplies in high precision highly sensitive instrumentation. The basic operation principles of most optimal power sources are described. Voltage ripple in the output signal of schemes with Flyback, Forward and SEPIC converter architectures was estimated by a computer simulation.

Key words: special-purpose equipment, high-precisions instrumentation, switched-mode power supply, low-noise power supply, Flyback converter, Forward converter, SEPIC converter.