

## ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОВЫШАЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

*Описываются особенности повышающих и инвертирующих преобразователей с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), основанных на так называемой параллельной схеме, влияющие на эффективность существующих методик синтеза данных преобразователей. Предложены пути повышения эффективности получаемых вторичных источников питания, основанных на данной схеме.*

*Ключевые слова:* широтно-импульсные преобразователи, вторичные источники электропитания, САПР, EDA.

Широтно-импульсные преобразователи в настоящее время очень широко применяются в блоках питания электронных устройств самого различного назначения. Причиной этому является совокупность особенностей, присущих данному типу преобразователей. Во-первых, это высокий КПД, во-вторых, отличные массогабаритные характеристики, в-третьих, простота и технологичность изготовления (часто такие преобразователи выполняются в виде единой микросхемы). Вместе с тем им присущи и недостатки, такие как наличие пульсаций напряжения и тока на выходе, чувствительность к сопротивлению нагрузки и его изменениям, необходимость в наличии опорного напряжения. При преобразовании напряжения от первичного источника часто нет необходимости в универсальном устройстве, имеющем коэффициент преобразования как менее, так и более единицы. Во многих случаях достаточно использовать преобразователь, имеющий  $K < 1$  (понижающий) либо  $K > 1$  (повышающий).

Вопросы анализа и синтеза понижающих преобразователей с ШИМ широкого спектра мощности достаточно широко освещаются в литературе [1–3], в то же время вопросам анализа и синтеза повышающих широтно-импульсных преобразователей, в частности одноктных повышающих конвертеров, уделяется значительно меньше внимания.

Рассмотрим принципиальную схему повышающего одноктактного преобразователя (рис. 1).

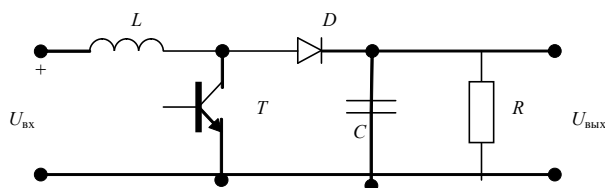


Рис. 1. Базовая схема повышающего одноктактного преобразователя с ШИМ ( $U_{вх}$  – входное напряжение;  $U_{вых}$  – выходное напряжение;  $R$  – нагрузка;  $L$  – дроссель;  $C$  – конденсатор;  $T$  – ключ ШИМ)

При анализе данного преобразователя выявлены основные особенности параллельных схем [4]. Прежде всего, это увеличение тока через дроссель, служащий для накопления энергии при разомкнутом ключе. В результате происходит резкое понижение КПД преобразователя, и, потенциально, выход его из строя. Это явление имеет место только при использовании источника с малым внутренним сопротивлением (т. е. источника напряже-

ния). При использовании источника тока (например, в случае питания схемы от солнечной батареи) данный эффект не наблюдается.

Форма фазовых траекторий параллельных схем в области переключения ключа свидетельствует о практически мгновенном изменении сигнала ошибки. Это делает невозможным применение метода фазовых траекторий для оптимизации подобного типа преобразователей.

Однако повышение напряжения питания необходимо осуществлять не только при питании от источников типа солнечных батарей, но и от других типов источников, а потому требуется механизм, позволяющий устранить связанную с этим проблему.

В [5] описана схема управляющего устройства, применяющаяся для регулирования выходного напряжения при работе от источника напряжения. Основным отличием от обычной схемы управления является наличие токозависимого резистора. При повышении тока через дроссель выше определенного значения система управления принудительно перестает подавать импульсы на ключевой элемент, тем самым стабилизируя ток через дроссель. Недостатком данной схемы управления является повышение уровня пульсаций в выходном напряжении, поэтому в работе [4] нами был предложен усовершенствованный вариант данной схемы (рис. 2), в котором скважность управляющих импульсов меняется плавно. Форма выходного напряжения для такой схемы показана на графике 1.

Недостатком данной реализации является значительное уменьшение КПД преобразователя – до 40...60 %, что абсолютно неприемлемо при сколь-нибудь высокой мощности нагрузки. Кроме того, при наличии реактивной нагрузки и ее коммутации происходит значительное замедление переходных процессов.

Более эффективным вариантом обеспечения нормальной работоспособности повышающего и инвертирующего конвертеров является применение «стартера», задача которого заключается в принудительном выключении широтно-импульсной модуляции путем отключения опорного напряжения в те моменты, когда ошибка принимает значения, заведомо не позволяющие ключевому элементу изменить свое состояние. Иными словами, при старте схемы либо при коммутации нагрузки опорное напряжение сравнивается не с выходным напряжением, а с другим напряжением, выбранным таким образом, чтобы разность этих напряжений обеспечила коэффициент заполнения импульсов в районе 0,5.

Простейшая реализация такого механизма на основе диодной развязки и результаты моделирования работы показаны на рис. 3. КПД такого преобразователя оказывается значительно выше, так как ток через дроссель (график 2 на рис. 2 и график 3 на рис. 3) во втором случае в установившемся режиме колеблется около нулевого значения.

Единственный серьезный недостаток данной схемы – наличие значительного перерегулирования при включе-

нии устройства и коммутации нагрузки. Нами предлагаются две возможности решения этой проблемы.

Во-первых, применение более «интеллектуального» компаратора, обеспечивающего умножение опорного напряжения на соответствующий коэффициент, зависящий от напряжения на выходе преобразователя.

Во-вторых, добавление понижающего преобразователя, скорректированного по быстродействию. Это позволит не пропустить скачки напряжения в нагрузку.

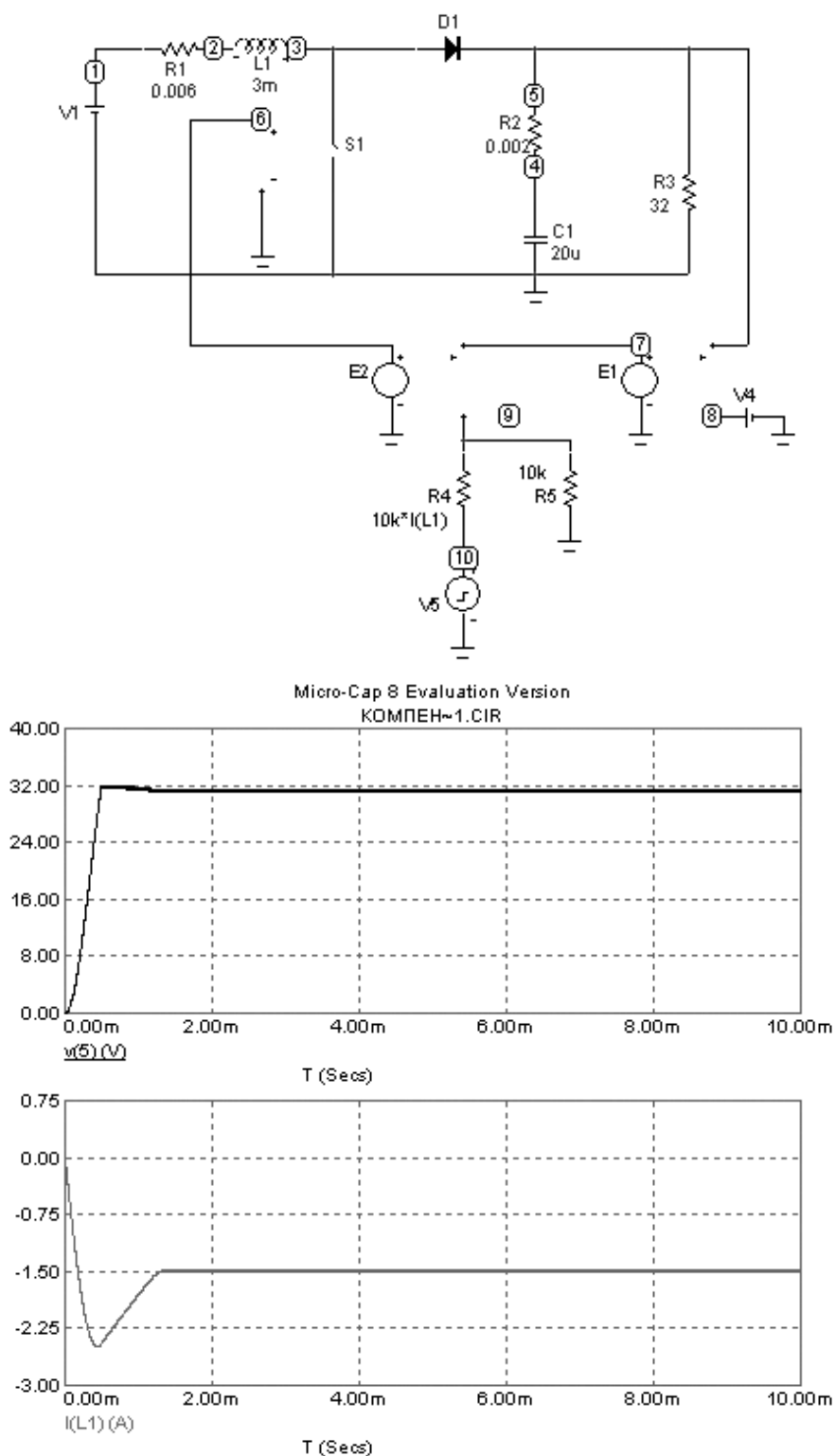


Рис. 2. Повышающий одноконтурный преобразователь с плавным изменением скважности в зависимости от тока: график напряжения на нагрузке (1) график тока через дроссель L1 преобразователя (2)

Таким образом, данный повышающий преобразователь при относительной конструктивной простоте будет иметь возможность поддерживать стабильное выходное напряжение при широком диапазоне входных напряжений и мощностей нагрузки. В процессе компьютерного моделирования данной схемы диапазон входных напряжений составлял от 17 до 29 В при мощности, рассеиваемой нагрузкой от 30 до 900 Вт. КПД преобразователя при этом колебался в пределах 86...97 %, что сопоставимо с лучшими существующими повышающими преобразователями других типов (а в некоторых случаях и превосходит их).

#### Библиографические ссылки

1. Иванчура В. И., Манаков А. В., Соустин Б. П. Синтез и исследование быстродействующего ИПН с ШИМ // Техническая электродинамика. 1987. № 1. С. 43–51.
2. Куцаров С. Повышающие преобразователи постоянного напряжения в постоянное // Радиомир. 2004. № 3. С. 41–43.
3. Мартынов А. А. Проектирование вторичных источников питания / СПбГУАП. СПб., 2005.
4. Богданов К. В. Синтез широтно-импульсных преобразователей, оптимальных по быстродействию : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2006.
5. Yim-Shu L. D., Cheng K. W., Wong S. C. A new approach to the modeling of converters for SPICE // IEEE Transaction on power electronics. 1992. Vol. 7. № 4. P. 741–753.

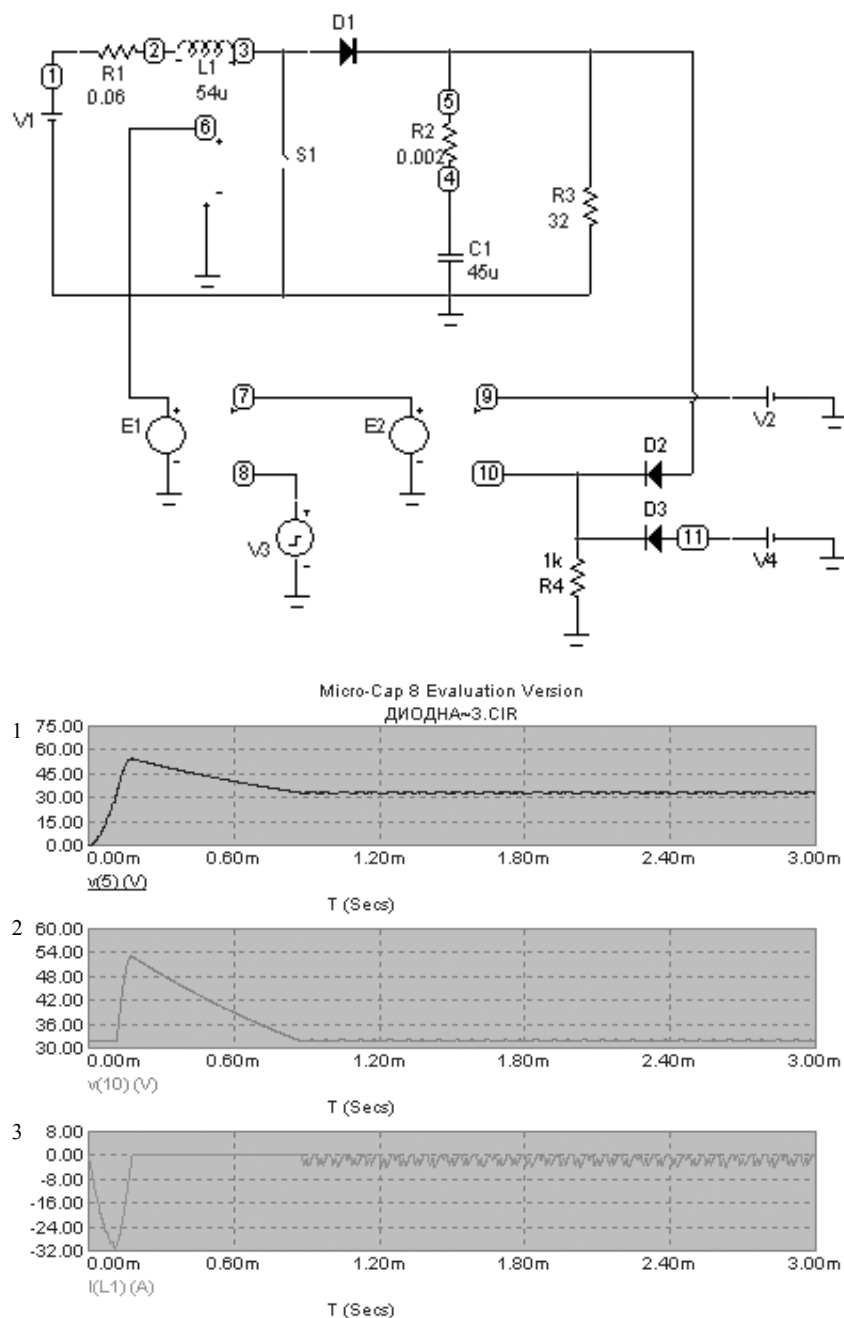


Рис. 3. Повышающий одноконтный преобразователь со «стартером»: график напряжения на нагрузке R3 (1), график напряжения на входе компаратора ГПН E1 (2), график тока через дроссель L1 преобразователя (3)

K. V. Bogdanov, A. N. Lovchikov

## FEATURES OF SYNTHESIS OF PARALLEL BOOST CONVERTERS WITH PULSE-WIDTH MODULATION

*This article describes the main features of boost and inverting PWM converters based on the so-called "Parallel" scheme affecting the efficiency of existing methods of synthesis of data converters, as well as suggests ways to improve the efficiency of the obtained secondary sources of supply, based on this scheme.*

**Keywords:** Pulse-width converters, secondary power supplies, CAD, EDA.

© Богданов К. В., Ловчиков А. Н., 2010

УДК 621.791.72

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев

## ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА И ГЛУБИНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ\*

*Рассмотрена возможность получения детерминированного спектра выходного сигнала датчика проникающего рентгеновского излучения для управления уровнем фокусировки и глубиной проплавления при электронно-лучевой сварке.*

**Ключевые слова:** электронно-лучевая сварка; рентгеновское излучение; глубина проплавления; уровень фокусировки электронного луча.

Метод [1; 2] основан на использовании экстремальной зависимости глубины проплавления, а, следовательно, и интенсивности проникающего рентгеновского излучения  $J_x$  от уровня  $b$  фокусировки луча относительно свариваемых поверхностей при электронно-лучевой сварке (ЭЛС) коническими пучками (рис. 1).

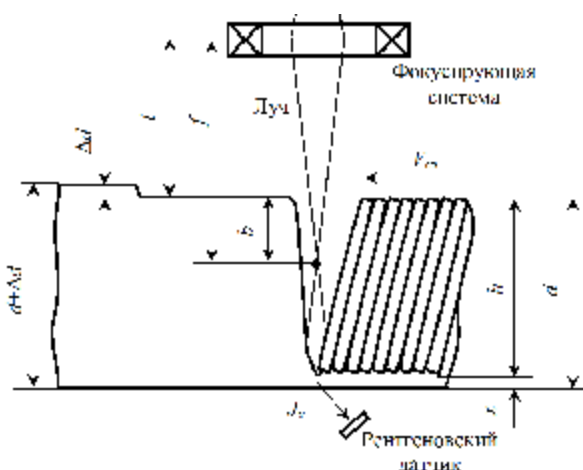


Рис. 1. К определению зависимости глубины проплавления от уровня фокусировки луча

При наличии периодических составляющих в некоторых параметрах проникающего рентгеновского излуче-

ния, например в параметре  $x$  – величине непроплава (а, следовательно, и в глубине проплавления), выходной сигнал датчика рентгеновского излучения представляет собой «почти» периодический процесс [3], составляющие которого находятся в определенном соответствии с уровнем фокусировки электронного луча.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что зависимость глубины проплавления  $h$  от уровня фокусировки луча можно аппроксимировать функцией вида [4]:

$$h = h_{\max} e^{-0,005[(\Delta b)^2 + 0,003(\Delta b)^3]}, \quad (1)$$

где  $\Delta b$  – изменение уровня фокусировки относительно положения фокуса луча, соответствующего максимальной глубине проплавления. Результаты одного из экспериментов по определению зависимости глубины проплавления от уровня фокусировки электронного луча представлены на рис. 2.

Появление  $\Delta b$  (изменение уровня фокусировки  $b$ ), а, следовательно, и уменьшение глубины проплавления может быть вызвано изменением фокусного расстояния  $f$  на величину  $\Delta f$  из-за нестабильности ускоряющего напряжения  $U_{\text{уск}}$ , тока фокусирующей системы  $I_{\text{ф}}$ ; изменением расстояния  $l$  от поверхности свариваемых деталей до фокусирующей системы на величину  $\Delta l$  из-за неточности установки деталей или «биения» механизма перемещения свариваемых деталей; изменением толщины свариваемых деталей  $d$  на величину  $\Delta d$ , связанным с не-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке АБЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 2957).