

А.Р. БАРЫШЕВ, студент гр. ЭАм-251 (КузГТУ)

Научный руководитель В.А. НЕГАДАЕВ, к.т.н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЙ ПОВЫШАЮЩЕ-ПОНИЖАЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В статье рассмотрены несколько преобразователей постоянного напряжения, проведён сравнительный анализ их эффективности и даны рекомендации к использованию.

Ключевые слова: DC-DC преобразователь, КПД, повышающе-понижающий преобразователь, buck-boost converter, SEPIC, Ćuk, Flyback.

Современные системы электропитания требуют работы от нестабильных источников напряжения. В данных условиях традиционные преобразователи не могут обеспечить стабильное питание нагрузки, что создаёт потребность в повышающе-понижающих преобразователях. В работе проводится сравнительный анализ шести топологий повышающе-понижающих преобразователей. Цель исследования – выявить оптимальные области применения каждой топологии на основе моделирования в LTspice.

DC-AC-DC преобразователь (рисунок 1) имеет особую конструкцию, которая изменяет постоянное напряжение в переменное, а потом снова в постоянное [1]. КПД преобразователя сильно зависит от потерь на ключах и ещё сильнее зависит от качества трансформатора.

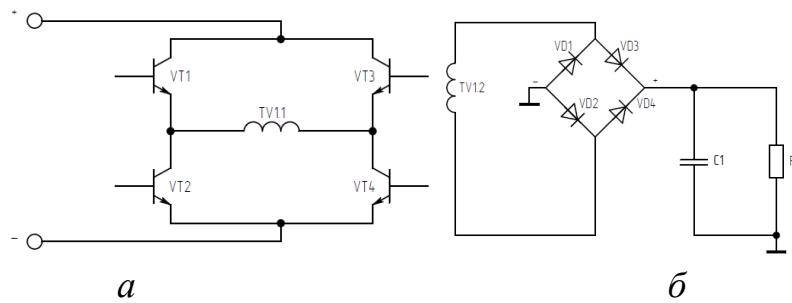


Рис. 1. *а* – Схема мостового инвертора (DC-AC часть), *б* – схема выпрямителя (AC-DC часть)

Обратноходовой преобразователь имеет простую конструкцию [2]. Трансформатор выполняет функцию дросселя, накапливая энергию и позже высвобождая её во вторичную обмотку. Основные потери связаны с

трансформатором, ключевым транзистором и диодом. На рисунке 2 изображена схема обратноходового преобразователя (Flyback).

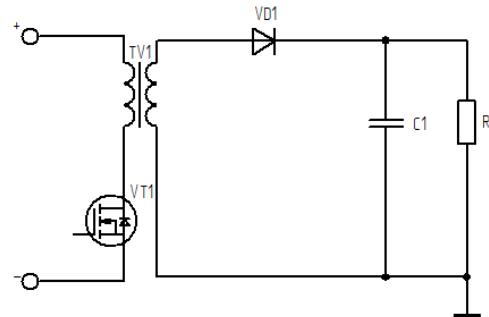


Рис. 2. Схема обратноходового преобразователя (Flyback)

Конструкция SEPIC преобразователя обеспечивает свободное повышение и понижение выходного напряжения относительно входного [3]. Основные потери: дросельные потери, потери транзистора и диода. На рисунке 3 изображена схема SEPIC преобразователя.

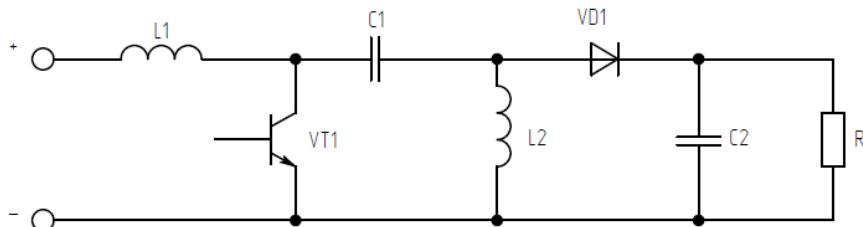


Рис. 3. Схема SEPIC преобразователя

Импульсный преобразователь Чука (Čuk converter) достаточно эффективен, но крайне сложен в управлении при использовании простых контроллеров с обратной связью [4]. Имеет достаточно много элементов в своей конструкции, из чего следует его дороговизна. Также необходимо учитывать высокие пиковые токи, что повышает требования к самим элементам. Его достоинством является крайне малые пульсации тока на выходе. На рисунке 4 изображена схема преобразователя Чука.

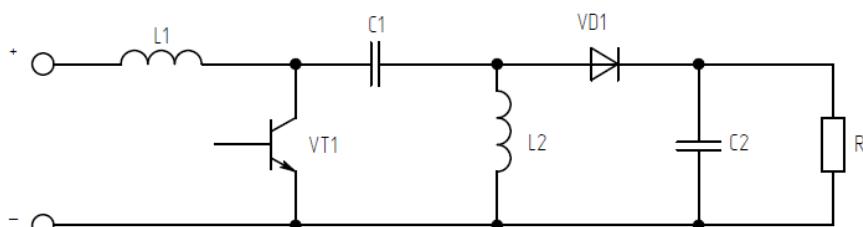


Рис. 4. Схема преобразователя Чука

Back-boost преобразователь [5]. Нетиповая топология преобразователя, составленная из повышающего и понижающего преобразователей.

Имеют два транзистора и два диода с одним общим дросселием (но чаще всего используют 4-х ключевую схему из-за её наивысшей эффективности). Из-за высокого КПД необходимо учитывать цену, так как для высокой эффективности необходимо использовать хорошие транзисторы. Также для работы необходимы драйверы. Ещё стоит отметить, что высокая эффективность достигается за счёт 3-х режимов работы: понижение, повышение и переходной. На рисунке 5 изображена схема Back-boost преобразователя 4 транзисторами.

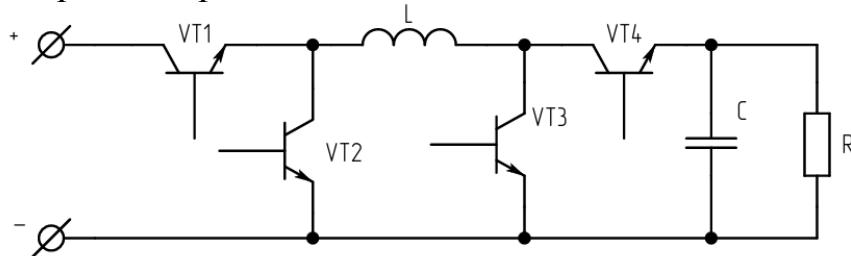


Рис. 5. Схема Back-boost преобразователя с 4 транзисторами

Все представленные ранее схемы были промоделированы в LTspice и был выведен их КПД в условиях меняющегося выходного напряжения при выходном токе равном 1 А, входном напряжении 24 В и частотой преобразования 100 кГц. Для моделирования всех преобразователей использовались одни и те же транзисторы BSC060N10NS3 (отличные показатели для стандартной библиотеки) и диоды RFN3BM2S (с быстрым восстановлением). Таблица 1 с КПД преобразователей представлена ниже.

Таблица 1
КПД преобразователей в зависимости от выходного напряжения

$U_{\text{вых}}$, В	DC-AC-DC, %	Buck-boost (4 ключ.), %	SEPIC, %	Чук (Čuk), %	Flyback, %
12	90	92	89	90	87
24	92	88	90	87	88
60	89	94	88	85	90
100	87	95	87	84	89

Как видно из таблицы самый высокий КПД на высоком напряжении имеет Buck-boost, так как были использованы синхронные ключи, а падение КПД на 24 В обусловлено работой сразу 4-х транзисторов в переходном режиме. КПД DC-AC-DC падает ввиду нарастания потерь на ключах. У преобразователя Чука такая же ситуация, а у SEPIC и обратноходового преобразователя неплохие результаты, ведь у них не так много элементов. Лучшие результаты можно получить, если использовать синхронные ключи и трансформатор с коэффициентом связи выше 0,995 (результаты могут

улучшиться на 2-4% в зависимости от топологии). На рисунке 6 визуально отображено изменение КПД преобразователей от выходного напряжения.

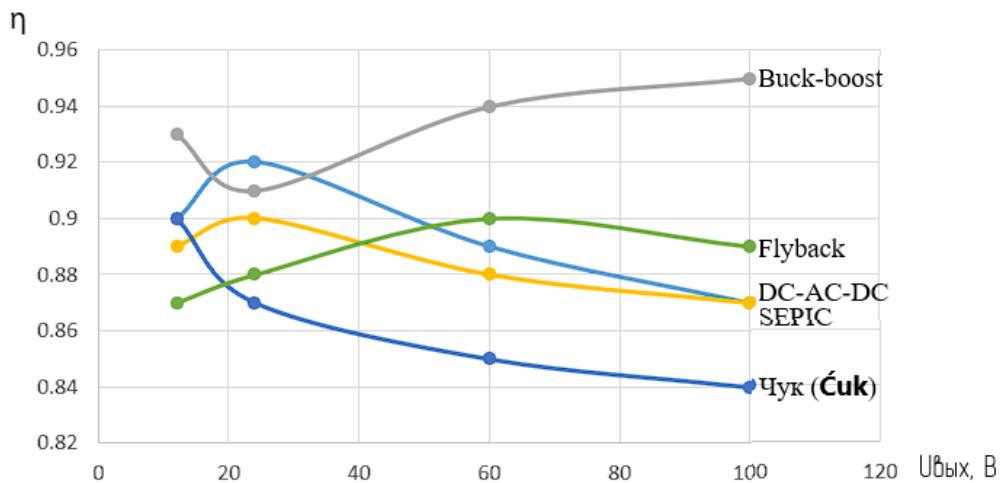


Рис. 6. График зависимости КПД преобразователей от выходного напряжения разных преобразователей

Рекомендации по использованию:

1. DC-AC-DC: применимо для систем питания, где помимо постоянного напряжения необходимо переменное.
2. Buck-boost (4 ключ.): имеет наибольший КПД и применим в местах с затрудненным теплоотводом (прим.: космос).
3. SEPIC: обладает хорошими результатами при низком и высоком напряжении. Стандартный преобразователь для стандартных целей.
4. Чук (Cuk): лучшее решение из стандартных повышающих-понижающих преобразователей для систем, требующих наименьшие выходные пульсации (если не использовать фильтры или конденсаторную батарею).
5. Обратноходовой преобразователь (Flyback): имеет достаточно хорошее КПД, прост в управлении и имеет не так много элементов. Применим в широких областях. Идеален для гальванически развязанных источников питания.

Заключение

Проведенное исследование повышающе-понижающих преобразователей показало, что выбор оптимальной топологии определяется требованиями к КПД, стоимости и сложности проектирования. Наибольшую эффективность (до 95%) демонстрирует 4-х ключевой Buck-Boost преобразователь, однако его применение оправдано только в системах с жёсткими требованиями к тепловому режиму. Для стандартных применений оптимальным выбором является SEPIC преобразователь, сочетающий хороший КПД (87-90%) и относительно простую структуру. Обратноходовая топология остаётся предпочтительной для систем, требующих гальванической

развязки. Преобразователь Чука показал наименьшую эффективность в данном исследовании, но может найти применение в специфических задачах благодаря минимальным пульсациям тока.

Список литературы:

1. Энергетическая электроника : учебное пособие / А. А. Петров [и др.]; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск : [б. и.], 2017. – 219 с. – URL: <https://energy4all.ru/circuits/books/elk.pdf> (дата обращения: 25.10.2025).
2. Проектирование импульсных источников питания. Обратноходовой преобразователь : учебное пособие / Д. В. Сидоров [и др.]; Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 45 с. – URL: <https://zipstore.ru/wa-data/public/blog/download/flyback.pdf> (дата обращения: 05.11.2025).
3. Проектирование импульсного DC-DC преобразователя с топологией SEPIC / К. С. Иванов, П. Д. Васильев // Научная статья. – 2016. – № 10. – URL: <https://scientificarticle.ru/images/PDF/2016/10/proektirovaniye-impulsnogo-dc-dc-preobrazovatelya-s-topologiej-sepic.pdf> (дата обращения: 05.11.2025).
4. Исследование преобразователя Кука в режиме непрерывного тока дросселя / Е. Н. Пономарев, А. А. Присмотров, С. В. Охапкин // Вестник Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. – 2018. – № 2. – С. 105–114. – URL: [https://ie.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2018/2\(2\)/ponomarev_prismotrov_ohapkin.pdf](https://ie.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2018/2(2)/ponomarev_prismotrov_ohapkin.pdf) (дата обращения: 05.11.2025).
5. Барышев, А. Р. Устройство зарядно-разрядное для системы электропитания малого космического аппарата : выпускная квалификационная работа бакалавра / А. Р. Барышев ; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Институт радиоэлектронной техники. – Томск, 2025. – 121 с.

Информация об авторах:

Барышев Барышев Александр Романович, студент гр. ЭАм-251, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, barysevsasa58@gmail.com

Негадаев Владислав Александрович., к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, negadaevva@kuzstu.ru