

Серия SuperSwitcher II

СИЛЬНОТОЧНЫХ DC/DC-преобразователей Micrel

Александр САМАРИН,
Сергей ГОРЬКОВ
sergey.gorkov@eltech.spb.ru

Импульсные стабилизаторы Micrel имеют высокие характеристики, позволяющие им конкурировать на равных с продукцией таких производителей силовой электроники, как Maxim, Texas Instruments и OnSemi. Номенклатура импульсных преобразователей Micrel постоянно расширяется.

В статье рассматриваются характеристики понижающих импульсных силовых стабилизаторов SuperSwitcher II, недавно разработанных компанией Micrel. Особенность этой линейки — в применении патентованной технологии Hyper Speed Control, которая обеспечивает очень быстрый отклик при изменении тока в нагрузке.

Микросхемы импульсных стабилизаторов напряжения серии SuperSwitcher II — это синхронные понижающие конвертеры, обеспечивающие большой выходной ток. Основным преимуществом синхронного понижающего стабилизатора по сравнению с обычным понижающим стабилизатором является то, что в нем не используются выпрямляющие диоды. Из-за меньшего прямого падения напряжения на MOSFET-транзисторе, чем на диоде, достигается лучшая эффективность преобразования. При использовании синхронного выпрямителя можно регулировать уровень выходного напряжения вплоть до 0,8 В. Серия SuperSwitcher включает в себя два типа микросхем — понижающие конвертеры напряжения с интегрированными силовыми ключами и контроллеры, предназначенные для создания конвертеров с внешними силовыми

ключами. Серия конвертеров с интегрированными силовыми ключами обеспечивает выходной ток от 4 до 12 А. При больших значениях тока следует использовать микросхемы контроллеров SuperSwitcher с внешними силовыми ключами. На базе микросхем контроллеров SuperSwitcher II можно проектировать эффективные конвертеры понижающего типа с выходным током до 25 А.

Во всех микросхемах серии SuperSwitcher используется одна и та же базовая архитектура, а также ряд передовых технологий, которые позволили получить лучшие характеристики преобразователей: высокую эффективность преобразования, большой выходной ток, широкий диапазон изменения входных напряжений, быстрый отклик. В микросхемах SuperSwitcher используется режим преобразования с постоянной частотой (от 100 до 600 кГц) и адаптивным временем фазы открытого со-

стояния силовых ключей. Технология адаптивного управления фазой on-time основана на динамической подстройке длительности фазы on-time при изменении входного напряжения и тока в нагрузке и позволяет поддерживать относительно постоянную частоту преобразования. Работа на постоянной частоте дает возможность уменьшить уровень пульсаций на выходе, минимизировать уровень ЭМИ, а также уменьшить емкость выходного конденсатора. Стабилизаторы предназначены для использования во вторичных источниках питания типа point-of-load (непосредственно рядом с нагрузкой) в распределенных системах питания.

Отличительная черта стабилизаторов данной серии SuperSwitcher — возможность получить минимальное заданное выходное напряжение 0,8 В при максимальном входном напряжении до 75 В и точности регулирования выходного напряжения до 1%.

Еще одна важная особенность микросхем серии — низкий собственный ток потребления. Например, у MIC26601/901/1201 — 730 мкА, у MIC26603/903/1203 — 450 мкА, что в несколько раз ниже, чем у аналогичных микросхем конкурентов. Столь низкие значения тока потребления позволяют повысить общий КПД системы питания. Наличие встроенных защитных схем и компенсации, минимум внешних компонентов, компактный корпус — все это отличительные признаки стабилизаторов серии SuperSwitcher II.

Микросхемы работают в широком диапазоне температур: температура кристалла может варьироваться от -40 до +125 °С. Это позволяет использовать их в разных областях — потребительских устройствах, измерительной аппаратуре, приборах промыш-

Таблица. Основные параметры конвертеров и контроллеров серии SuperSwitcherII

| Наименование | Диапазон входных напряжений, В | Выходной ток, А | Выходное напряжение, В | Частота преобразования, кГц | Архитектура | Корпус | |
|--|--------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------|
| MIC28500 | 30–75 | 4 | До 0,8 | 100–500 | Hyper Speed Control Any Capacitor | MLF-28 | |
| MIC28510 | 4,5–75 | 4 | 0,8–24 | 100–500 | | | |
| MIC26400 | 4,5–26 | 5 | 0,8–5,5 | 300 | | | |
| MIC26601 | 4,5–28 | 6 | | 600 | | | |
| MIC26600 | 4,5–26 | 7 | | 300 | | | |
| MIC27600 | 4,5–36 | 7 | | 300 | | | |
| MIC26901 | 4,5–28 | 9 | | 600 | | | |
| MIC261201 | 4,5–28 | 12 | | 600 | | | |
| MIC26950 | 4,5–26 | 12 | | 300 | | | |
| Конвертеры с высокой эффективностью при низкой нагрузке (Hyper Light Load) | | | | | | | |
| MIC26603 | 4,5–28 | 6 | | 0,8–5,5 | 600 | Hyper Speed Control Any Capacitor | MLF-28 |
| MIC26903 | | 9 | | | | | |
| MIC261203 | | 12 | | | | | |
| Контроллеры понижающих преобразователей (внешние силовые ключи) | | | | | | | |
| MIC2165/2166 | 4,5–28 | 25 | 0,8–5,5 | 600 | Hyper Speed Control Any Capacitor | MSOP-10 | |
| MIC2124 | 3–18 | 25 | До 0,8 | 300 | | | |
| MIC2176 | 4,5–75 | 15 | До 0,8 | 100, 200, 300 | | | |
| MIC2174 | 3–40 | 25 | | 300 | | | |

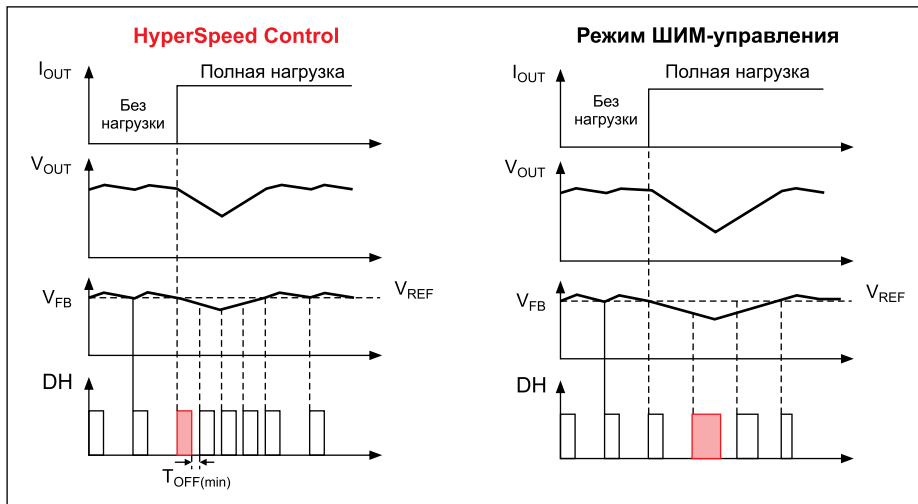


Рис. 1. Сравнение динамики регуляторов с обычным ШИМ-управлением и методом Hyper Speed Control

ленной автоматизации, коммуникационных устройствах и т. д.

В стабилизаторах SuperSwitcher II реализованы различные схемы защиты — отключение выходного напряжения при низком уровне входного напряжения, отключение при перегреве, защита от короткого замыкания и схема плавного включения выходного напряжения для предотвращения бросков тока во входной цепи при старте.

Области применения:

- ресиверы спутникового ТВ;
- маршрутизаторы, коммутаторы, модемы;
- принтеры, сканеры, платы видеоконтроллеров;
- серверное оборудование, питание процессорных плат;
- распределенные системы низковольтного питания.

В таблице приведены основные параметры микросхем серии SuperSwitcher II.

Технология Hyper Speed Control

В микросхемах SuperSwitcher используется фиксированная частота преобразования с адаптивным временем ON включенного состояния выходных ключей. Время фазы ON определяется частотой переключения, а также значениями входного и выходного напряжения преобразователя по формуле:

$$T_{ON} = V_{OUT} / V_{IN} F_{SW}$$

где T_{ON} — период фазы ON, V_{OUT} — выходное напряжение; V_{IN} — входное напряжение; F_{SW} — частота переключения конвертера.

Вычисление времени для таймера фазы ON производится специальным модулем в структуре микросхемы конвертера. Постоянная частота преобразования поддерживается в режиме относительно небольших колебаний тока в нагрузке. При резком увеличении тока в нагрузке длительность фазы OFF

ШИМ-сигнала уменьшается на все время, пока уровень сигнала обратной связи будет ниже опорного уровня напряжения V_{REF} , при этом увеличивается частота переключения. Повышение частоты переключения выходных ключей позволяет быстрее скомпенсировать провал выходного напряжения. После стабилизации выходного тока частота вновь возвращается в исходное состояние и становится постоянной. Это решение обеспечивает быстрый отклик, а также позволяет уменьшить номинал выходной емкости. Данная архитектура запатентована производителем под маркой Hyper Speed Control.

Сравним динамические характеристики регуляторов с обычным ШИМ-управлением и методом Hyper Speed Control (рис. 1):

- Скважность импульсов увеличивается при резком увеличении тока в нагрузке.
- Уменьшается время фазы OFF при переходном процессе (рис. 2).
- Частота переключения увеличивается.
- В состоянии ON ток протекает по цепи вход–выход. Происходит накопление энергии в индуктивности.
- В состоянии OFF ток протекает по цепи индуктивность–выход. Накопленная энергия индуктивности передается в нагрузку.

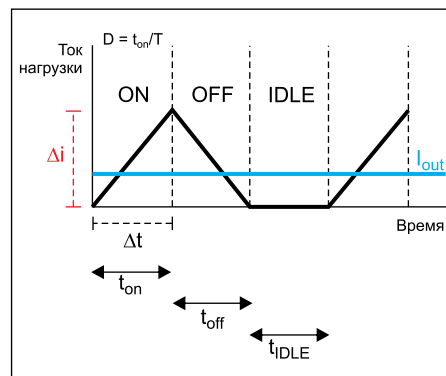


Рис. 2. Фазы управления выходным каскадом преобразователя для метода HyperSpeed Control

- Состояние IDLE (пустой цикл). Энергия выходного конденсатора поддерживает ток в нагрузке. Конденсатор разряжается.

Применение технологии с пропуском циклов ШИМ обеспечивает расширение диапазона эффективной работы преобразователя в зоне низких нагрузок. Работа на фиксированной частоте приводит к снижению уровня ЭМИ. Быстрый отклик обеспечивает отсутствие «просадок» выходного напряжения при резких изменениях тока потребления в цепи нагрузки, а также меньший уровень пульсаций на выходе. Снижение времени отклика позволяет уменьшить и емкость выходного конденсатора, а значит, уменьшить площадь платы конвертера и снизить стоимость готового продукта.

Режим с малой нагрузкой — Hyper Light Load

Преобразователи SuperSwitcher компании Micrel обеспечивают высокую эффективность преобразования не только в режиме сильноточной нагрузки (до 12 А), но и при работе с низкими выходными токами. Это достигнуто с помощью прерывистого режима работы выходных ключей, при котором производится пропуск циклов преобразования. Этот способ повышения эффективности при работе в режиме малых нагрузок (например, в дежурном режиме) запатентован компанией Micrel под названием Hyper Light Load. В таблице (нижние четыре строки) представлен подкласс микросхем, которые поддерживают этот режим работы с малой нагрузкой.

Выходной конденсатор малой емкости (Any Capacitor)

Стабильность выходного напряжения зависит от конденсатора в выходной цепи DC/DC-преобразователя. В типовых мощных стабилизаторах для обеспечения стабильности выходного напряжения при больших значениях тока нагрузки используется конденсатор с большой емкостью и большим эквивалентным последовательным сопротивлением. Такое решение удорожает схему и приводит к увеличению размеров конвертера. Большая емкость ухудшает стабильность преобразователя. Однако для стабилизаторов Micrel с архитектурой Any Capacitor допускается установка на выходе конвертера компактных керамических конденсаторов.

Технология термостолбиковых выводов Copper Pillar

В силовых приборах важными элементами являются конструкция корпуса и технология выводов. Для создания соединений между контактными площадками на кристалле микросхемы и контактами корпуса микросхем SuperSwitcher II вместо традиционных проволочных используются медные столбики. При корпусировании кристаллов микросхем серии SuperSwitcher II применя-

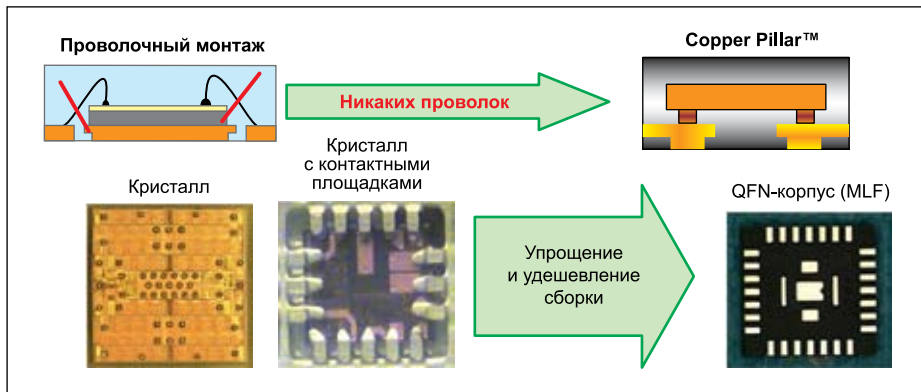


Рис. 3. Применение технологии монтажа кристаллов посредством термостолбиков Copper Pillar в корпусах MLF

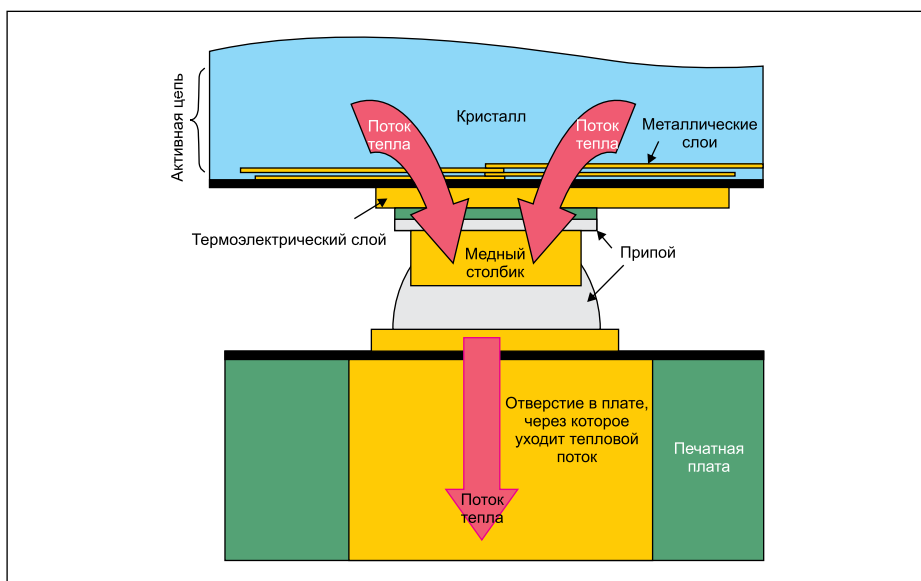


Рис. 4. Прохождение теплового потока от кристалла через тепловой столбик на печатную плату

ется технология монтажа flip-chip с тепловыми столбиковыми выводами Copper Pillar, которая обеспечивает значительное увеличение энергоэффективности преобразователя. Они не только обеспечивают уменьшение переходного сопротивления, но и позволяют увеличить перенос выделяемого тепла на кристалле на корпус. Микросхемы серии SuperSwitcher II производятся в компактных корпусах MLF-28 (QFN) размером 5×6 мм с тремя теплоотводящими площадками-контактами либо в корпусах MSOP-10 размером 3×4,9 мм с одной большой теплоотводящей площадкой на дне корпуса.

На рис. 3 показаны ключевые преимущества технологии столбиковых выводов для силовых кристаллов.

Технология термостолбиков для охлаждения полупроводниковых структур была впервые разработана компанией Nextreme-Thermal Solutions. Температурные медные столбики (Copper Pillar Bump) представляют собой термоэлектрическое устройство на основе тонкопленочных термоэлектронных материалов и используются в технологии flip-chip монтажа кристаллов на корпус. В отли-

чие от обычных столбиков припоя, которые обеспечивают электрическое и механическое соединение кристалла к корпусу, термические столбики работают как твердотельные тепловые насосы и добавляют функцию локального управления теплопередачей. По своему строению термический столбик во всем иден-

тичен структуре медного вывода, но имеет дополнительный — термоэлектрический слой. Температурные столбики образуют термопару из различных материалов. На границах (спаях) проявляется термоэлектрический эффект, при котором разница температуры на границе материалов преобразуется в напряжение или наоборот. Эффект может быть использован для генерации энергии, измерения температуры, локального нагревания или охлаждения объектов. В данном случае используется эффект Пельтье термоэлектрического охлаждения торца столбика при прохождении тока через столбик. Таким образом, термостолбик работает как тепловой насос. Происходит перенос тепла от одного торца столбика в сторону другого. Направление переноса тепла определяется направлением протекания тока и свойствами материалов спая.

Этот элемент позволяет осуществлять активную передачу тепла с одной стороны вывода на другую. Диаметр термостолбика — около 238 мкм, а высота — 60 мкм. На рис. 4 показана структура и работа теплового вывода.

Корпуса с выводами Copper Pillar обеспечивают уменьшение теплового сопротивления корпуса на 20% по сравнению со стандартными корпусами MLF-типа (рис. 5). Преимущества выводов Copper Pillar:

- Это позволяет увеличить выходные токи, сохранив те же размеры корпуса, или же уменьшить размеры корпуса при том же максимальном выходном токе. При уменьшении размера корпуса снижаются и размеры силовых модулей преобразователей.
- Для мощных MOSFET-транзисторов обеспечивается уменьшение на 30–50% сопротивления $R_{DS(ON)}$ (за счет меньшего электрического сопротивления тепловых столбиков по сравнению с проволочными соединениями).
- Уменьшается паразитная емкость и индуктивность выводов.
- Увеличивается эффективность преобразования за счет уменьшения потерь на переключениях транзистора.

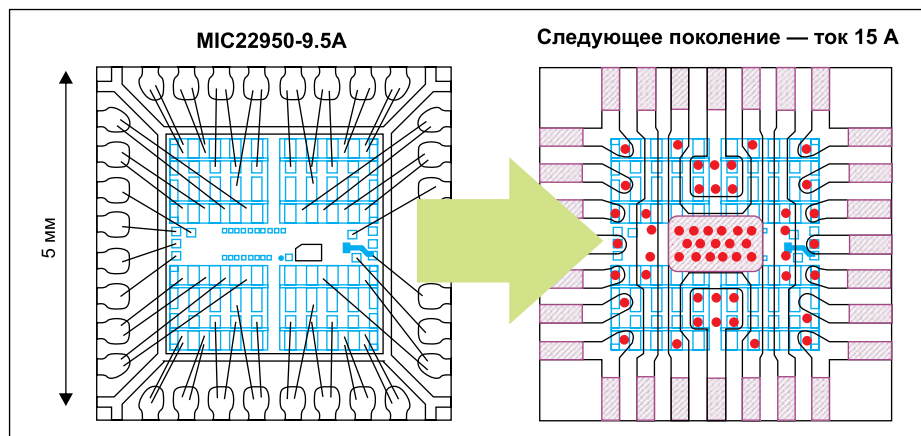


Рис. 5. Применение технологии термостолбиков позволяет увеличить выходной ток транзисторов на 50% при том же размере кристалла

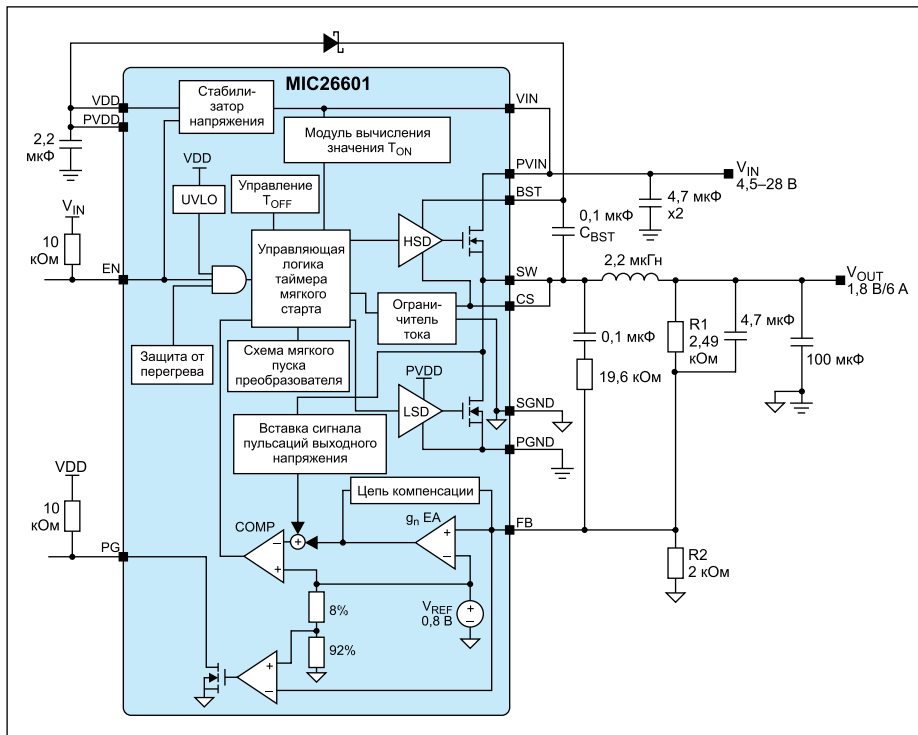


Рис. 6. Структура и схема включения микросхемы конвертера MIC26601

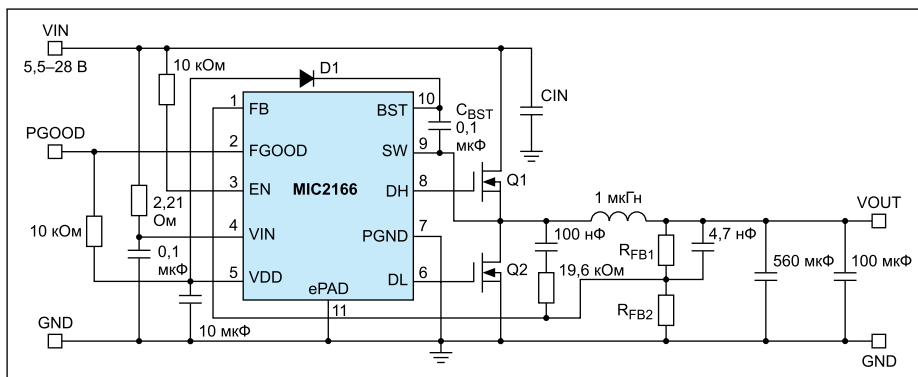


Рис. 7. Типовая схема реализации понижающего конвертера на базе микросхемы контроллера MIC2166

• Низкий уровень ЭМИ (отсутствуют паразитные колебания при переходах).
Использование передовых технологий позволило повысить эффективность преобразования в конвертерах серии SuperSwitcher до 95%. На рис. 6 приведены структура и ти-

повая схема включения микросхемы конвертера MIC26601 (интегрированные силовые ключи).

На рис. 7 показана типовая схема применения микросхемы контроллера MIC2166 для проектирования импульсного понижающего

конвертера с выходным током до 25 А (внешние силовые ключи).

Контроллеры MIC2165/66 являются функциональными аналогами микросхемы MAX1954A компании Maxim. Однако цена его значительно ниже.

Отладочные средства

Для тестирования микросхем понижающих конвертеров и контроллеров компании Micrel разработана оценочные платы. В настоящее время доступны оценочные платы на все типы микросхем серии SuperSwitcher II (например, MIC26600YJL EV, MIC26400YJL EV, MIC26601YJL EV, MIC2176-2 15A EV и т. д.). В помощь разработчику Micrel предоставляет online-симулятор и анализатор MICRELSim Center, позволяющий смоделировать работу стабилизаторов серии SuperSwitcher II. Программа позволяет в пошаговом режиме по заданным параметрам синтезировать принципиальную схему на основе выбора типов и номиналов внешних компонентов. В программе предлагаются и несколько вариантов анализа схемы. Разработчик задает требуемые ему значения входного и выходного напряжения и выходного тока, а программа генерирует принципиальную схему с указанием перечня внешних компонентов и их номинальных значений. Пользователю предлагается проанализировать параметры схемы в различных режимах: при включении питания, в установившемся состоянии, а также проанализировать переходную характеристику.

Литература

1. Кондратьев В. Методы теплового расчета микросхем и дискретных устройств силовой электроники. Ч. 2 // Электронные компоненты. 2010. № 10.
2. Newer Synchronous Buck Controllers and Synchronous Buck Regulators. Материалы компании Micrel.
3. MIC28510. 75V/4A Hyper Speed Control Synchronous DC-DC Buck regulator. Super Switcher II. Datasheet Micrel.
4. MIC26603. 28V,6A Hyper Light Load Synchronous DC/DC Buck regulator. Super Switcher IIG. Datasheet Micrel.