

Кирилл Автушенко (КОМПЭЛ)

ОДИН ШИМ И ТРИ СВЕТОДИОДА: РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОЙ ЛИНЕЙКИ



Дано: линейка из трех последовательно включенных **осветительных светодиодов**. Задача: спроектировать для нее **пятиваттный источник питания со стабилизацией тока**. Решение: эталонная разработка **ON Semiconductor** на базе контроллера **NCP1014**.

Микросхема **NCP1014** представляет собой ШИМ-контроллер с фиксированной частотой преобразования и встроенным высоковольтным ключом. Дополнительные внутренние блоки, реализованные в составе микросхемы (см. рис. 1), позволяют ей обеспечить весь спектр функциональных требований, предъявляемых к современным источникам питания.

Контроллеры серии **NCP101X** были подробно рассмотрены в статье Константина Старовойра [1] в номере 3 журнала за 2010 год, поэтому, в статье мы ограничимся рассмотрением лишь ключевых особенностей микросхемы NCP1014 [2], а основное внимание уделим рассмотрению особенностей расчета и механизма работы ИП, представленного в эталонном дизайне.

Особенности контроллера NCP1014

- Интегрированный выходной 700-вольтный MOSFET-транзистор с малым сопротивлением открытого канала (11 Ом);
- обеспечение выходного тока драйвера до 450 мА;
- возможность работы на нескольких фиксированных частотах преобразования — 65 и 100 кГц;
- частота преобразования варьируется в пределах $\pm 3...6\%$ относительно ее предустановленного значения, что позволяет «размыть» мощность излучаемых помех в пределах определенного частотного диапазона и тем самым снизить уровень ЕМИ;
- встроенная высоковольтная система питания способна обеспечить работоспособность микросхемы без применения трансформатора с третьей вспомога-

тельной обмоткой, что в значительной мере упрощает намотку трансформатора. Данная особенность обозначается производителем как **DSS (Dynamic Self-Supply — автономное динамическое питание)**, однако его использование ограничивает выходную мощность ИП;

- возможность работать с максимальной эффективностью при малых токах нагрузки благодаря режиму пропуска импульсов ШИМ, что позволяет добиться малой мощности холостого хода — не более 100 мВт при питании микросхемы от третьей вспомогательной обмотки трансформатора;
- переход в режим пропуска импульсов происходит при снижении тока потребления нагрузки до значения 0,25 от номинально заданного, что снимает проблему генерации акустических шумов даже при использовании недорогих импульсных трансформаторов;
- реализована функция плавного запуска (1 мс);
- вывод обратной связи по напряжению напрямую подключается к выходу оптопары;

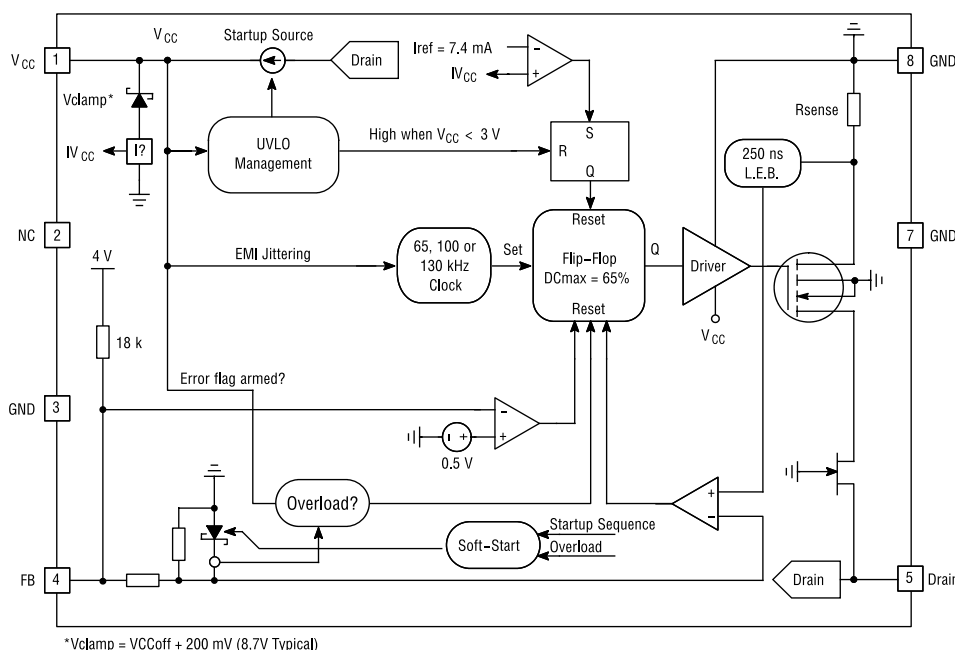


Рис. 1. Упрощенная внутренняя схема NCP1014

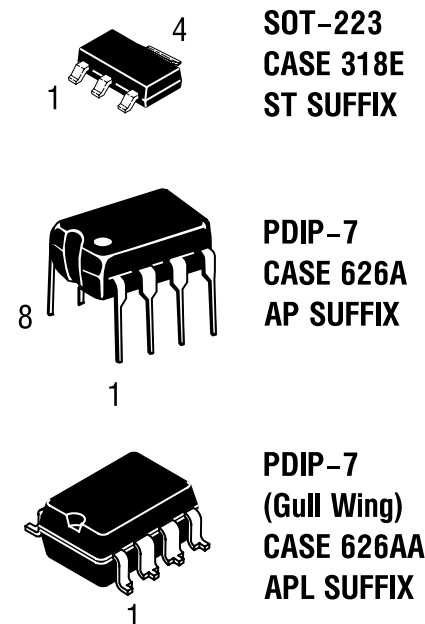


Рис. 2. Корпусировка и маркировка NCP1014

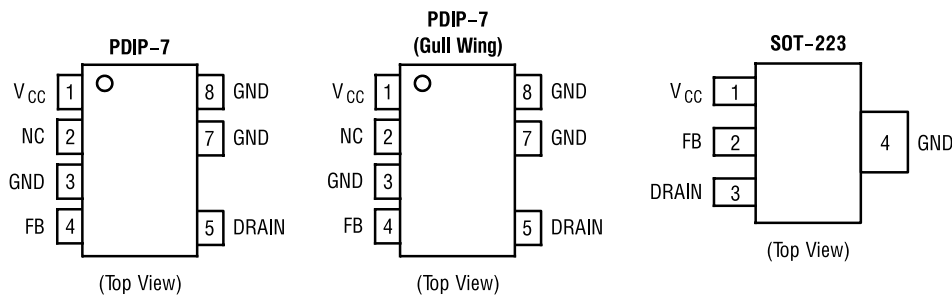


Рис. 3. Схема расположения выводов

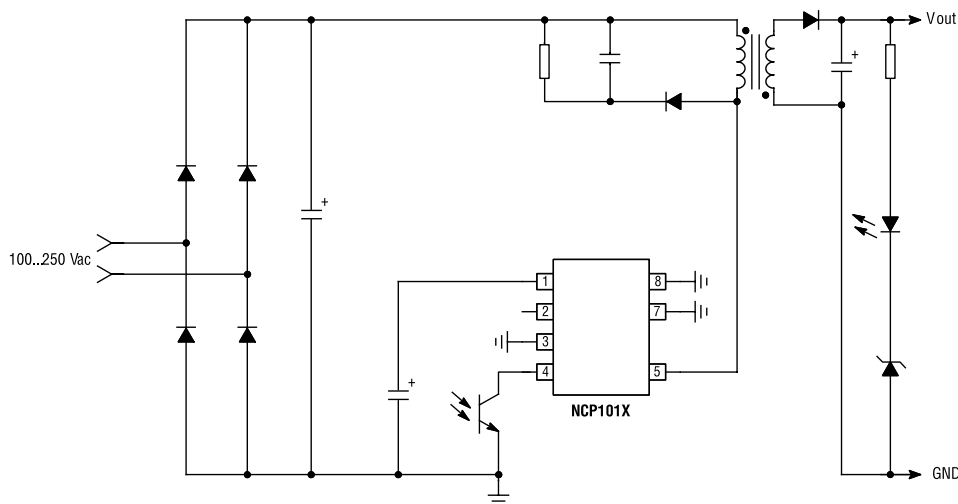


Рис. 4. NCP1014 в схеме обратноходового (flyback) преобразователя

- реализована система защиты от короткого замыкания с последующим возвратом в нормальный режим работы после его устранения. Функция позволяет отслеживать как непосредственно короткое замыкание в нагрузке, так и ситуацию с обрывом цепи обратной связи в случае повреждения развязывающей оптипары;
- встроенный механизм защиты от перегрева.

Контроллер NCP1014 выпускается в корпусах трех типов – SOT-223, PDIP-7 и PDIP-7 GULLWING (см. рис. 2) с расположением выводов, показанном на рис. 3. Последний корпус является особой версией корпуса PDIP-7 со специальной формовкой выводов, что делает его пригодным для поверхностного монтажа.

Типовая схема применения контроллера NCP1014 в обратноходовом (Flyback) преобразователе представлена на рисунке 4.

Метод расчета ИП на базе контроллера NCP1014

Рассмотрим метод пошагового расчета обратноходового преобразователя на базе NCP1014 на примере эталонной разработки ИП выходной мощностью до 5 Вт для питания системы из трех последовательно-включенных светодиодов [3]. В качестве светодиодов рассмо-

трены одноваттные белые светодиоды с током нормировки 350 мА и падением напряжения 3,9 В.

Первым шагом является определение входных, выходных и мощностных характеристик разрабатываемого ИП:

- диапазон входного напряжения – $V_{ac(min)} = 85 \text{ В}$, $V_{ac(max)} = 265 \text{ В}$;
- выходные параметры – $V_{out} = 3 \times 3,9 \text{ В} \approx 11,75 \text{ В}$, $I_{out} = 350 \text{ мА}$;
- выходная мощность – $P_{out} = V_{out} \times I_{out} = 11,75 \text{ В} \times 0,35 \text{ А} \approx 4,1 \text{ Вт}$
- входная мощность – $P_{in} = P_{out} / \eta$, где η – оценочный КПД = 78%

$P_{in} = 4,1 \text{ Вт} / 0,78 = 5,25 \text{ Вт}$

- диапазон входного напряжения по постоянному току

$$V_{dc(min)} = V_{ac(min)} \times 1,41 = 85 \times 1,41 = 120 \text{ В (dc)}$$

$$V_{dc(max)} = V_{ac(max)} \times 1,41 = 265 \times 1,41 = 375 \text{ В (dc)}$$

- средний входной ток – $I_{in(avg)} = P_{in} / V_{dc(min)} \approx 5,25 / 120 \approx 44 \text{ мА}$
- пиковый входной ток – $I_{peak} = 5 \times I_{in(avg)} \approx 220 \text{ мА}$.

Первым входным звеном является предохранитель и ЕМІ-фильтр, и их выбор является **вторым шагом** при проектировании ИП. Предохранитель должен выбираться исходя из значения тока разрыва, и в представленной разработке выбран предохранитель с током разрыва 2 А. Мы не будем углубляться в процедуру расчета входного фильтра,

а лишь отметим, что степень подавления синфазных и дифференциальных помех в значительной мере зависит от топологии печатной платы, а также близости расположения фильтра к разъему питания.

Третьим шагом является расчет параметров и выбор диодного моста. Ключевыми параметрами здесь являются:

- допустимое обратное (блокирующее) напряжение диода – $V_R \geq V_{dc(max)} = 375 \text{ В}$;

- прямой ток диода – $I_F \geq 1,5 \times I_{in(avg)} = 1,5 \times 0,044 = 66 \text{ мА}$;

- допустимый ток перегрузки (surge current), который может достигать пятикратного значения среднего тока:

$$I_{FSM} \geq 5 \times I_F = 5 \times 0,066 = 330 \text{ мА}.$$

Четвертым шагом является расчет параметров входного конденсатора, устанавливаемого на выход диодного моста. Размеры входного конденсатора определяются пиковым значением выпрямленного входного напряжения и заданным уровнем входных пульсаций. Большой входной конденсатор обеспечивает более низкие значения пульсаций, но увеличивает пусковой ток ИП. В общем случае емкость конденсатора определяется следующей формулой:

$$C_{in} = P_{in} / [f_{ac} \times (V_{dc(min)} - (V_{dc(min)} - \Delta V)^2)],$$

где f_{ac} – частота сети переменного тока (60 Гц для рассматриваемого дизайна);

ΔV – допустимый уровень пульсаций (20% от $V_{dc(min)}$ в нашем случае).

$$C_{in} = 5,25 / [60 \times (120^2 - 96^2)] = 17 \text{ мкФ}.$$

В нашем случае мы выбираем алюминиевый электролитический конденсатор емкостью 33 мкФ.

Пятым и основным шагом является расчет моточного изделия – импульсного трансформатора. Расчет трансформатора является наиболее сложной, важной и «тонкой» частью всего расчета источника питания. Основными функциями трансформатора в обратноходовом преобразователе является накопление энергии при замкнутом управляющем ключе и протекании тока через его первичную обмотку, а затем – ее передача во вторичную обмотку при отключении питания первичной части схемы.

С учетом входных и выходных характеристик ИП, рассчитанных на первом шаге, а также требования по обеспечению работы ИП в режиме непрерывного тока трансформатора, максимальное значение коэффициента заполнения (*duty cycle*) равно 48%. Все расчеты трансформатора мы будем проводить, основываясь на данном значении коэффициента заполнения. Обобщим расчетные и заданные значения ключевых параметров:

- частота работы контроллера $f_{op} = 100 \text{ кГц}$

Таблица 1. Обзор оценочных плат

Код заказа	Наименование	Краткое описание
NCP1014LEDGTGEVB	Драйвер светодиодов мощностью 8 Вт с коэффициентом мощности 0,8	Плата разработана с целью демонстрации возможности построения LED-драйвера с коэффициентом мощности > 0,7 (стандарт Energy Star) без применения дополнительной микросхемы PFC. Выходная мощность (8 Вт) делает представленное решение идеальным для питания структур подобных Cree XLAMP MC-E, содержащих четыре последовательных светодиода в одном корпусе.
NCP1014STBUCGEVB	Неинвертирующий понижающий преобразователь	Плата является доказательством утверждения, что контроллера NCP1014 достаточно для построения ИП низкого ценового диапазона для жестких условий работы.

- коэффициент заполнения $d_{max} = 48\%$
- минимальное входное напряжение $V_{in(min)} = V_{dc(min)} - 20\% = 96 \text{ В}$
- выходная мощность $P_{out} = 4,1 \text{ Вт}$
- оценочное значение КПД $\eta = 78\%$
- пиковое значение входного тока $I_{peak} = 220 \text{ мА}$

Теперь мы можем произвести расчет индуктивности первичной обмотки трансформатора:

$$L_{pri} = \frac{V_{in(min)} \times d_{max}}{(I_{peak} \times f_{op})} = 2,09 \text{ мГн}$$

Соотношение количества витков обмоток определяется уравнением:

$$\frac{N_{pri}}{N_{sec}} = \frac{V_{dc(min)} \times d_{max}}{(V_{out} + V_F \times (1 - d_{max}))} \approx 7$$

Нам осталось проверить способность трансформатора «прокачать» через себя требуемую выходную мощность. Сделать это можно с помощью следующего уравнения:

$$P_{in(core)} = L_{pri} \times I_{peak}^2 \times f_{op} / 2 \geq P_{out}$$

$$P_{in(core)} = 2,09 \text{ мГн} \times 0,22^2 \times 100 \text{ кГц} / 2 = 5,05 \text{ Вт} \geq 4,1 \text{ Вт}$$

Из результатов следует, что наш трансформатор может прокачать требуемую мощность.

Можно заметить, что здесь мы привели далеко не полный расчет параметров трансформатора, а лишь определили его индуктивные характеристики и показали достаточную мощность выбранного решения. По расчету трансформаторов написано множество трудов, и читатель может найти интересующие его методики расчета, например в [4] или [5]. Освещение этих методик выходит за рамки данной статьи.

Электрическая схема ИП, соответствующая проведенным расчетам, представлена на рисунке 5. Теперь пришла пора ознакомиться с особенностями приведенного решения, расчет которых не был приведен выше, но которые имеют большое значение для функционирования нашего ИП и понимания особенностей реализации защитных механизмов, реализуемых контроллером NCP1014.

Особенности работы схемы, реализующей ИП

Вторичная часть схемы состоит из двух основных блоков – блока передачи тока в нагрузку и блока питания цепи обратной связи.

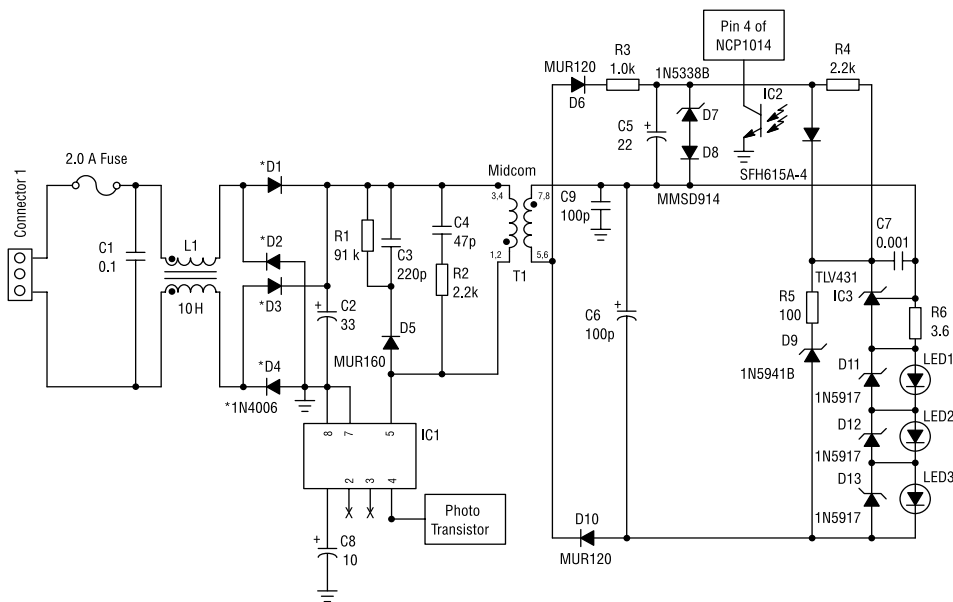


Рис. 5. Принципиальная схема ИП

При замкнутом управляющем ключе (прямой режим) работает схема питания цепи обратной связи, реализованная на диоде D6, токозадающем резисторе R3, конденсаторе C5 и стабилитроне D7, задающем совместно с диодом D8 требуемое напряжение питания (5,1 В) оптпары и шунт-регулятора IC3.

Во время обратного хода энергия, запасенная в трансформаторе, передается в нагрузку через диод D10. Одновременно осуществляется зарядка накопительного конденсатора C6, который сглаживает выходные пульсации и обеспечивает постоянное напряжение питания нагрузки. Ток нагрузки задается резистором R6 и контролируется шунт-регулятором IC3.

ИП имеет защиту от отключения нагрузки и короткого замыкания нагрузки. Защиту от КЗ осуществляет шунт-регулятор TLV431, основная роль которого – регулятор цепи ОС. Короткое замыкание возникает при условии короткого пробоя всех нагрузочных LED (в случае выхода из строя одного или двух LED их функции принимают на себя параллельные стабилитроны D11... D13). Значение резистора R6 подбирается так, чтобы при рабочем токе нагрузки (350 мА в нашем случае) падение напряжения на нем составляло менее 1,25 В. При возникновении КЗ ток через R6 рез-

ко возрастает, что приводит к открыванию шунта IC3 и включению оптпары IC2 и заставляет контроллер NCP1014 уменьшить выходное напряжение.

Механизм защиты от отключения нагрузки основан на включении стабилитрона D9 параллельно нагрузке. В условиях размыкания цепи нагрузки и, как следствие, повышения выходного напряжения ИП до 47 В происходит открытие стабилитрона D9. Это приводит к включению оптпары и заставляет контроллер снизить выходное напряжение.

Желаете познакомиться с NCP1014 лично? – Нет проблем!

Для тех, кто перед началом разработки собственного ИП на базе NCP1014 хочет убедиться в том, что это действительно простое, надежное и эффективное решение, компания ON Semiconductor выпускает несколько типов оценочных плат (см таблицу 1, рис. 6; доступны для заказа через компанию КОМПЭЛ).

Кроме того, существует еще несколько примеров готового дизайна различных ИП, помимо рассмотренного в статье. Это и 5 Вт AC/DC-адаптер для сотовых телефонов [6], и еще один вариант ИП для LED [7], а также большое количество статей по применению контроллера NCP1014, которые вы мо-



Рис. 6. Внешний вид оценочной платы

жете найти на официальном сайте компании ON Semiconductor – <http://www.onsemi.com>.

Компания КОМПЭЛ является официальным дистрибьютором ON Semiconductor и поэтому на нашем сайте <http://catalog.compel.ru> вы всегда можете найти информацию о доступности и стоимости микросхем, выпускаемых ONS, а также заказать опытные образцы, в том числе и NCP1014.

Заключение

Использование контроллера NCP1014, выпускаемого компанией ONS, позволяет разрабатывать высокоэффективные AC/DC-преобразователи для питания нагрузок стабилизированным током. Грамотное использование ключевых возможностей контроллера позволяет обеспечить безопасность работы конечного ИП в услови-

ях размыкания или короткого замыкания нагрузки при минимальном числе дополнительных электронных компонентов.

Литература

1. Константин Староверов «Применение контроллеров NCP101X/102X при разработке сетевых источников питания средней мощности», журнал «Новости электроники», №3, 2010, сс. 7-10.

2. http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCP1010-D.PDF.

3. http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/AND8136-D.PDF.

4. Мэк Раймонд. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению/Пер. с англ. Пряничникова С.В., М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008, – 272 с.: ил.

5. Вдовин С.С. Проектирование импульсных трансформаторов, Л.: Энергоатомиздат, 1991, – 208 с.: ил.

6. TND329-D. «5W Cellular Phone CCCV AC-DC Adapter»/http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/TND329-D.PDF.

7. TND371-D. «Offline LED Driver Intended for ENERGY STAR»/http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/TND371-D.PDF.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: analog.vesti@compel.ru

NCP4589 – LDO-регулятор с автоматическим энергосбережением

NCP4589 – новый КМОП LDO-регулятор на 300 мА от ON Semiconductor. NCP4589 переключается в режим низкого потребления при малой токовой нагрузке и автоматически переключается обратно в «быстрый» режим, как только нагрузка на выходе превышает 3 мА. NCP4589 может быть переведен в режим постоянной быстрой работы посредством принудительного выбора режима (управлением по специальному входу).

Основные характеристики NCP4589:

- Рабочий диапазон входных напряжений: 1,4...5,25 В
- Выходной диапазон напряжений: 0,8...4,0 В (с шагом 0,1 В)
- Входной ток в трех режимах:
 - Режим низкого потребления – 1,0 мкА при $V_{OUT} < 1,85$ В
 - Быстрый режим – 55 мкА
 - Режим энергосбережения – 0,1 мкА
- Минимальное падение напряжения: 230 мВ при $I_{OUT} = 300$ мА, $V_{OUT} = 2,8$ В
- Высокий коэффициент подавления пульсаций по напряжению: 70 дБ при 1 кГц (в быстром режиме).

NCP4620 – LDO-регулятор с широким диапазоном входных напряжений

NCP4620 – это КМОП LDO-регулятор на ток 150 мА от ON Semiconductor с диапазоном входных напряжений от 2,6 до 10 В. Устройство имеет высокую точность на выходе – порядка 1% – с низким температурным коэффициентом ± 80 ppm/°C. NCP4620 имеет защиту от перегрева и вход отключения (Enable), представлен в модификациях со стандартным выходом и выходом с автоматическим разрядом (Auto Discharge).

Основные характеристики NCP4620:

- Диапазон рабочего входного напряжения от 2,6 до 10 В (макс. 12 В)
- Диапазон выходных фиксированных напряжений от 1,2 до 6,0 В (с шагом 100 мВ)
- Прямое минимальное падение напряжения – 165 мВ (при 100 мА)
- Подавление пульсаций питания – 70 дБ
- Отключение питания микросхемы при перегреве до 165°C

ON Semiconductor **Enabling Energy Efficient Solutions**

КОНТРОЛЛЕРЫ NCP101X/102X

ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫХ СЕТЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ (ДО 25 Вт)

- Интегрированный MOSFET на 700 В с низким сопротивлением
- Работа в режиме управления по току на частотах 65 кГц, 100 кГц, 130 кГц
- Минимум внешних компонентов
- Встроенная защита от короткого замыкания и перегрева
- Встроенная защита от перегрузки по току и напряжению
- Корпуса SOT-223, PDIP-7 и PDIP-7 GULLWING

Москва
Тел.: (495) 995-0901
Факс: (495) 995-0902

Санкт-Петербург
Тел.: (812) 327-9404
Факс: (812) 327-9403

Компэл
www.compel.ru