

Энергоэффективный сетевой источник питания 12/240 Вт на микросхемах ON Semi

Ирина РОМАДИНА
romadina@compel.ru

Сетевой источник питания — один из самых ответственных узлов в структуре электронной аппаратуры. Наиболее важные параметры сетевого преобразователя: рабочий диапазон входного напряжения, потребляемая мощность в дежурном режиме, габаритные размеры, надежность, электромагнитная совместимость и себестоимость. Подавляющее большинство современной аппаратуры с питанием от сети использует импульсные источники питания.

Введение

Проблемы энергосбережения и энергоэффективности — среди наиболее актуальных в мировой энергетике. Одним из важнейших путей повышения КПД устройства является увеличение эффективности импульсных преобразователей источника питания. Повышение КПД и плотности мощности — доминирующие факторы при разработке AC/DC-преобразователей.

Особенностью компьютерных источников питания, а также других источников питания бытовой электронной аппаратуры является изменение потребления в широких пределах в зависимости от режима работы и активности разных модулей системы. В персональном компьютере реализован режим управления энергопотреблением за счет понижения тактовой частоты, отключения питания дисплея, винчестера или перевода ПК в дежурный или спящий режим. Диапазон потребления — от нескольких ватт (дежурный режим) до нескольких сот ватт. В ЖК-телевизорах с динамической светодиодной подсветкой или плазменных панелях ток потребления определяется яркостью текущего изображения на экране. Обеспечение высокой эффективности преобразования для всех режимов — непростая задача.

Энергоэффективная электроника

В последние десять лет рядом правительственных организаций и инициативных объединений разработаны критерии для оценки эффективности источников питания электронной аппаратуры. Основная цель требований — контроль и существенное понижение уровня потребления современной бытовой электронной аппаратуры. Производители аппаратуры должны сертифицировать свою продукцию в соответствии с этими требованиями.

Программа Energy Star

Energy Star — это совместная программа Агентства защиты окружающей среды США (Environmental Protection Agency, EPA) и департамента энергии. Цель программы — обеспечение эффективного использования вырабатываемой электрической энергии и уменьшение вредного воздействия на окружающую среду. Одним из направлений программы Energy Star является разработка базовых требований для сертификации потребления бытового электронного оборудования, в частности, компьютеров, мониторов, факсимильных аппаратов, копировальной техники, телевизоров, аудиокomплексов, систем кондиционирования помещений, холодильников и прочей бытовой техники. Разработка новых пороговых требований по потреблению бытовых электронных устройств вынудила производителей использовать новые энергосберегающие решения, что привело к появлению нового класса электронных устройств с пониженным потреблением электроэнергии. Например, уже в 2002 году, благодаря активному внедрению стандартов Energy Star, было сэкономлено только в США более 100 млрд кВт·ч электроэнергии.

Документы Energy Star, регламентирующие уровни требований к энергоэффективности электронного оборудования:

- Energy Star v5.0 Desktop Computers and Workstations (with 80 PLUS certified power supplies);
- Energy Star v1.0 Datacenter Servers (with 80 PLUS certified power supplies);
- Energy Star v5.0 LCD Monitors.

80 PLUS — новые стандарты экономичности блоков питания

Ранее КПД большинства блоков питания системных блоков составлял около 80%. Благодаря деятельности инициативной группы комитета 80 PLUS [3] была принята новая

единая система стандартов экономичности для производителей блоков питания. Эти компании были вынуждены улучшить показатели эффективности, чтобы получить сертификацию для допуска на рынки ведущих стран.

В документах определены желательные уровни эффективности преобразования для трех различных режимов нагрузки преобразователя (20, 50 и 100%) (таблица). В соответствии с этими уровнями определены четыре класса экономичности приборов: бронзовый, серебряный, золотой и платиновый:

- 80 PLUS E-Star 4.0 — КПД 80% при всех уровнях нагрузки БП.
- 80 PLUS Bronze — КПД 82% при слабой (20%) и сильной (100%) нагрузке на БП и КПД 85% при средней (50%) нагрузке на БП.
- 80 PLUS Silver — КПД 85% при слабой и сильной нагрузке на БП и КПД 88% при средней нагрузке на БП.
- 80 PLUS Gold — КПД 87% при слабой и сильной нагрузке на БП и КПД 90% при средней нагрузке на БП.

В 2006 году организация Energy Star включила требования 80 PLUS в свои нормативные документы Energy Star 4.0 компьютерных спецификаций. Уже в ноябре 2006-го и феврале 2007 года компании HP и Dell сертифицировали свои компьютерные блоки питания на соответствие требованиям 80 PLUS.

Таблица. Сертификационные уровни эффективности по 80 PLUS

80 PLUS Тип тестирования	115 В без внутреннего резервирования			230 В с внутренним резервированием		
	20%	50%	100%	20%	50%	100%
80 PLUS	80%	80%	80%	Не определены		
80 PLUS Bronze	82%	85%	82%	81%	85%	81%
80 PLUS Silver	85%	88%	85%	85%	89%	85%
80 PLUS Gold	87%	90%	87%	88%	92%	88%
80 PLUS Platinum	90%	92%	89%	90%	94%	91%

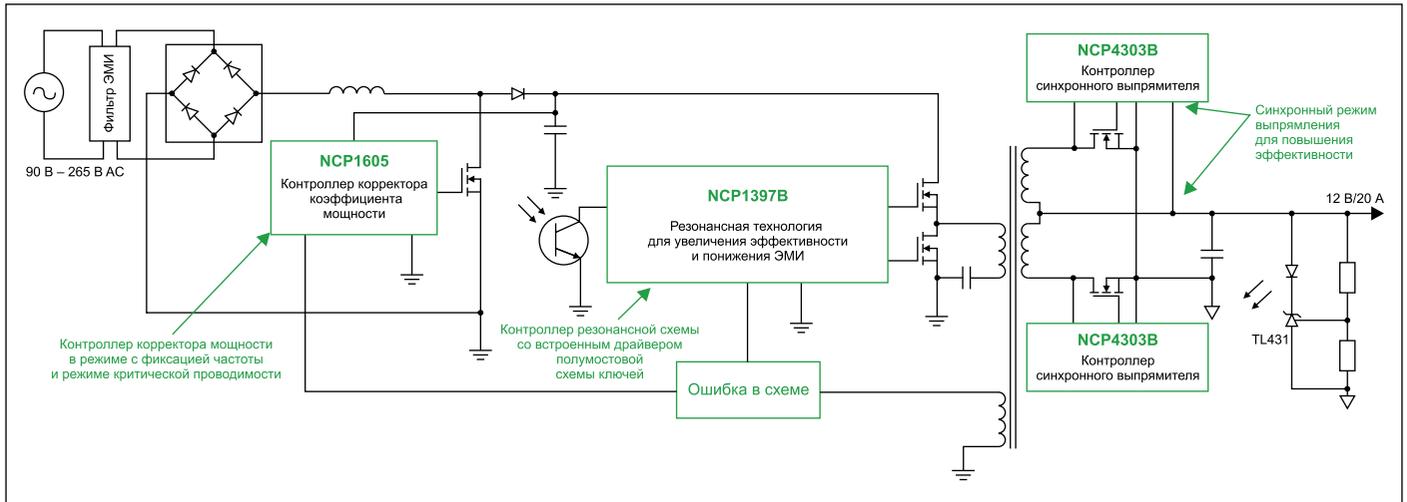


Рис. 1. Структурная схема импульсного источника питания на 240 Вт

Архитектура импульсного источника питания

Типовой сетевой компьютерный ATX импульсный источник питания (switch mode power supply, SMPS) должен обеспечивать выходное напряжение 12 В и ток 20 А.

Основная область применения — источник питания компьютерной аппаратуры (системного блока PC), других компьютерных устройств, телекоммуникационного оборудования, ЖК-телевизоров, плазменных панелей, светодиодных светильников и зарядных устройств. Основная цель — эффективное преобразование, уменьшение размеров, уровня ЭМИ, а также потерь мощности и тепловыделения.

Исходные данные

Универсальный диапазон входного напряжения — от 90 до 265 В AC при частоте от 47–63 Гц. Это означает, что источник сможет работать в любой стране с любым номиналом сетевого напряжения, а также при отклонениях от номинала по напряжению и частоте. Выходное напряжение и ток — 12 В/20 А. Потребление от сети — 50 мА в выключенном режиме; 100 мА в режиме сна; 5 А в активном режиме.

Предложенная архитектура, показанная на рис. 1, имеет трехступенчатую структуру:

1. Корректор коэффициента мощности.
2. Контроллер импульсного преобразователя напряжения.
3. Синхронный выпрямитель источника вторичной цепи.

Выбранная архитектура основана на использовании трех эффективных ступеней преобразования энергии. Первая ступень — универсальный входной активный корректор коэффициента мощности с входным напряжением 385 В на контроллере NCP1397B. Вторая ступень — полумостовой резонансный LLC-конвертор. Во вторичной цепи +12 В этого источника применяется

схема синхронного выпрямления, построенная на микросхеме контроллера NCP4303 ON Semiconductor.

Архитектура, выбранная для данного проекта, позволяет оптимизировать системные ресурсы, с тем чтобы обеспечить максимальную эффективность преобразования энергии и выполнить исходные требования к источнику питания. Архитектура позволяет также снизить цену, уменьшить сложность устройства и увеличить его надежность.

Первая ступень.

Корректор коэффициента мощности

Применение технологии корректировки коэффициента мощности (ККМ) является одним из ключевых аспектов при разработке эффективных и мощных сетевых источников питания. Подавляющее число бытовых и промышленных потребителей электроэнергии используют в настоящее время импульсные сетевые преобразователи, AC/DC-конвертеры. Типовая структура сетевого преобразователя содержит диодный мост, емкостной фильтр, а также преобразователи выходных стабилизированных напряжений. При необходимости AC/DC-конвертеры также могут содержать и гальваническую развязку от сети.

Эффективность преобразования определяется эффективностью базовых узлов — выпрямителя с фильтром и DC/DC-конверторов. Слабым по части эффективности энергопередачи является звено «диодный мост – конденсатор». Заряд емкости и, следовательно, потребление энергии от сети производится только в короткие фазы во время «верхушек» синусоид сетевого напряжения. А передача энергии из накопительной емкости в нагрузку может происходить неравномерно по времени.

Для обеспечения требуемой токовой нагрузки емкость конденсатора должна быть довольно большой. По мере возрастания мощности преобразователя проблема стано-

вится критической. При зарядке большой накопительной емкости в короткий период времени происходят броски тока в сети. А в начальный момент подключения источника к сети броски тока могут достигать сотен ампер. Это приводит к искажению формы сетевого напряжения. Включение в сеть нелинейных нагрузок, например, светильников с газоразрядными лампами, управляемых электродвигателей, источников электропитания с емкостным фильтром и т. д., приводит к тому, что потребляемый этими устройствами ток имеет импульсный характер с высоким процентом содержания высоких гармоник, из-за которых могут возникать проблемы электромагнитной совместимости при работе различного оборудования.

Корректор коэффициента мощности и стандарты

Основная задача ККМ — сведение к нулю отставания потребляемого тока от напряжения в сети при сохранении синусоидальной формы тока. Для этого необходимо отбирать ток от сети не в короткие интервалы, а на протяжении всего периода работы. Мощность, отбираемая от источника, должна оставаться постоянной даже в случае изменения напряжения сети. Это значит, что при снижении напряжения сети ток нагрузки должен быть увеличен, и наоборот. Со стороны сети блок питания будет выглядеть как чисто активное сопротивление. Корректор коэффициента мощности представляет собой преобразователь напряжения с индуктивным накопителем и передачей энергии на обратном ходу. Ступень ККМ в структуре мощного AC/DC-конвертора — это промежуточный источник стабилизированного напряжения, от которого питаются другие конвертеры напряжений.

Во всех современных мощных источниках питания широко применяется активная коррекция коэффициента мощности. Использование ступени коррекции коэф-

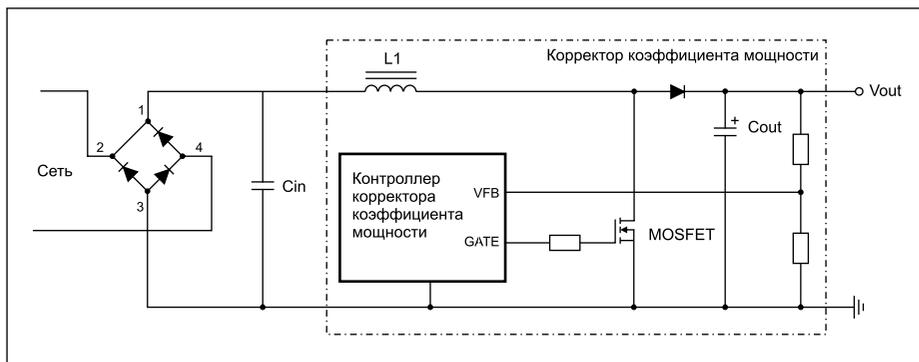


Рис. 2. Структура корректора коэффициента мощности

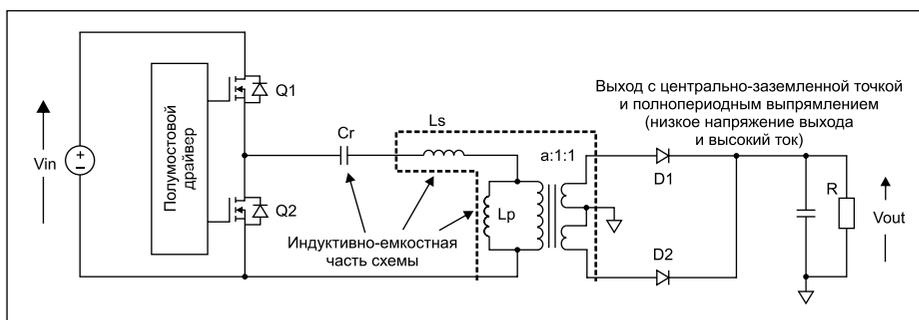


Рис. 3. Структура полумостового резонансного LLC-конвертора

коэффициента мощности позволяет повысить КПД преобразования и уменьшить уровень сетевых помех. Необходимость корректора коэффициента мощности (ККМ) в мощных сетевых источниках вторичного электропитания регламентируется требованиями по электромагнитной совместимости ГОСТ Р 51317-2000. Нормы по гармоническим составляющим потребляемого тока и коэффициенту мощности для систем электропитания мощностью более 50 Вт и всех типов осветительного оборудования определяет стандарт МЭК IEC 1000-3-2. Для устройств питания аппаратуры связи с марта 2001 г. Минсвязи РФ введен ОСТ 45.188-20-01, в котором указано, что коэффициент мощности оборудования электропитания должен быть не менее 0,95 для устройств с коррекцией мощности.

Структура модуля корректора мощности

Модуль корректора коэффициента мощности (рис. 2) содержит микросхему контроллера ККМ, дроссель, мощный ключ MOSFET, выпрямительный диод, цепи датчика обратной связи и выходную емкость.

Регулирование и стабилизация выходного напряжения осуществляются ШИМ-сигналом. На схеме не показаны цепи питания, управления режимами и порогами срабатывания защиты. Схема практически ничем не отличается от классических схем импульсных преобразователей напряжения. Стоит отметить лишь несколько особенностей.

Для удовлетворения требований стандартов по электромагнитной совместимости преобразование в корректорах всегда осуществляется на постоянной частоте. Обычно при мощности свыше 200 Вт большинство ККМ организованы как бустерные преобразователи, работающие в режиме непрерывной проводимости (РНП) или тока ССМ (Continuous Current Mode).

NCP1605 — контроллер корректора коэффициента мощности

NCP1605 — микросхема контроллера корректора коэффициента мощности. Она работает на фиксированной частоте преобразования и в режиме управления Critical Conduction Mode. Для выходной мощности 240 Вт выбран наиболее эффективный режим Frequency Clamped Critical Conduction Mode (FCCrM), поскольку он обеспечивает не только высокую эффективность преобразования, но и низкий уровень ЭМИ. Контроллер NCP1605 работает именно в этом режиме. Схема также имеет встроенную защиту, как от токовой перегрузки, так и для режима с отключенной нагрузкой.

Вторая ступень.

Полумостовой резонансный LLC-конвертор

Ступень импульсного источника питания SMPS использует топологию полумостовой LLC резонансной схемы, что значительно повышает эффективность преобразования и позволяет уменьшить уровень ЭМИ, а также улучшить использование развязывающего

трансформатора, по сравнению с традиционной топологией (рис. 3). В LLC используется две индуктивности (LL), включенные последовательно — дроссель + первичная обмотка трансформатора, и одна емкость (C).

Полумостовой резонансный преобразователь имеет LLC-топологию и принадлежит к подвиду последовательных резонансных преобразователей (Series Resonant Converters, SRC). Он широко используется в приложениях, где требуется высокая плотность мощности.

Схема полумостового резонансного LLC-конвертора является отличной альтернативой традиционной топологии полумостовой схемы (Half Bridge, HB) по нескольким причинам:

- Переключение происходит при переходе напряжения через ноль (Zero Voltage Switching, ZVS) в широком диапазоне нагрузок. Поскольку переключение происходит при низком напряжении на стоке ключа, минимизированы потери на переключении. Это также позволяет значительно снизить уровень ЭМИ по сравнению с топологией HB (полумостовая схема), в которой переключение происходит в более жестких условиях.

- Низкий ток во время переключения. Ключ закрывается при низком проходном токе, что обеспечивает низкие потери энергии по сравнению с потерями в топологии HB.
- Низкий ток выключения на диодах вторичной цепи: когда конвертор работает в режиме больших выходных токов, выходной выпрямитель переходит в закрытое состояние при условии протекания малого тока, что позволяет уменьшить уровень ЭМИ.
- Топология схемы не приводит к увеличению числа компонентов. Общее число компонентов остается такое же, как и в классической схеме с полумостовой топологией.

На рис. 4 показана структурная схема полумостового резонансного конвертора. Полумостовые ключи работают со скважностью 50% и обеспечивают формирование высоковольтных прямоугольных импульсов с амплитудой от 0 до входного напряжения V_{IN} , которое поступает на резонансную схему. Посредством подстройки частоты через генератор, управляемый напряжением, (ГУН) обеспечивается следящая обратная связь. Частота изменяется в зависимости от величины нагрузки.

NCP1397 — контроллер LLC-конвертора

Сердцем полумостового резонансного LLC-конвертора является микросхема контроллера NCP1397. Благодаря патентованной высоковольтной технологии, этот контроллер содержит драйвер MOSFET-транзисторов полумостовой выходной схемы. Напряжение питания полумостовой схемы — до 600 В.

Контроллер имеет многоуровневую встроенную защиту, в том числе блокировку выхода при пропадании входного напряжения,

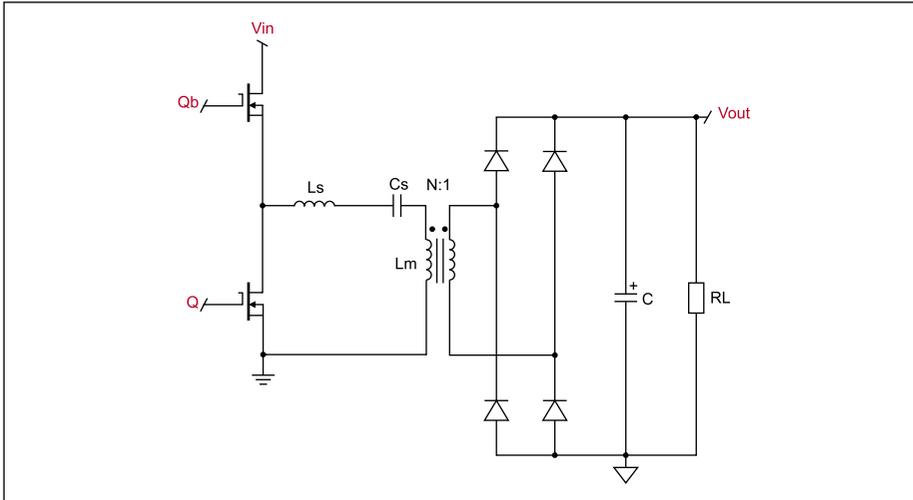


Рис. 4. Структурная схема полумостового резонансного конвертора напряжения

- Автоматическая компенсация паразитной индуктивности.
- Быстродействие — задержка выключения 50 нс.
- Интерфейс с внешним сигналом для управления в режиме CCM.
- Триггерный вход для перехода в дежурный режим (Standby Mode).
- Подстраиваемые пороги минимального времени включения (T_{on}) и выключения (T_{off}) независимо от уровня напряжения питания V_{cc} .
- Нагрузочная пиковая токовая способность: 5/2,5 А.
- Диапазон выпрямляемых напряжений: до 30 В.
- Низкий стартовый ток и ток потребления в дежурном режиме.

Конструкция печатной платы источника питания

На рис. 7 показана конструкция печатной платы источника питания. Вся схема разме-

потере сигнала обратной связи с оптопары и т. д. Это позволяет улучшить показатель надежности работы ступени без усложнения дизайна и дополнительных компонентов.

Вторичная цепь источника питания. Синхронный выпрямитель

Зачем нужно синхронное выпрямление? Использование схемы синхронного выпрямления позволяет сократить потери на выпрямлении при больших значениях тока и нагрузки. При использовании обычной диодной схемы, даже на диодах Шоттки, при больших токах значительно возрастает падение напряжения и, соответственно, возрастают потери.

На рис. 5 показаны преимущества использования синхронного выпрямления при высоком выходном токе по сравнению с обычной диодной схемой выпрямителя.

Однако можно заметить, что режим синхронного выпрямления становится неэффективен в зоне малых токов в нагрузке. Для сохранения эффективности в широком диапазоне изменения нагрузки модуль синхронного выпрямления автоматически выключается при малых токах. На рис. 6 показана схема управления синхронными выпрямителями NCP4303 со схемой отключения при малых токах нагрузки.

NCP4303 — контроллер синхронного выпрямления

Выходное напряжение 12 В, получаемое с выхода полумостового резонансного LLC-конвертора, обрабатывается синхронным выпрямителем с патентованной ON Semi схемой. Выпрямитель построен на двух микросхемах контроллеров NCP4303 и двух внешних N-канальных MOSFET.

Особенности NCP4303:

- Схема обеспечивает эффективное выпрямление для режимов CCM и DCM.

- Используется надежный алгоритм фиксации точки перехода через ноль с подстраиваемым порогом.

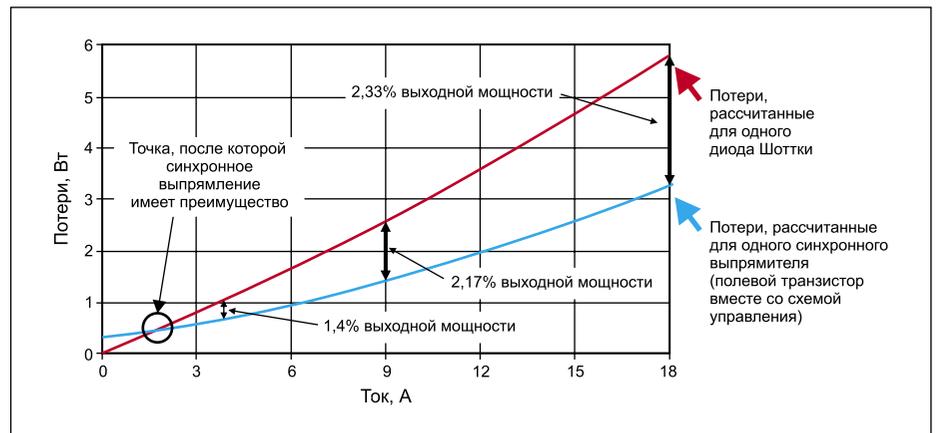


Рис. 5. Сравнение потерь на синхронном выпрямителе и обычном диодном выпрямителе (потери на диодах Шоттки будут больше при больших токах, чем на открытом канале MOSFET-транзистора)

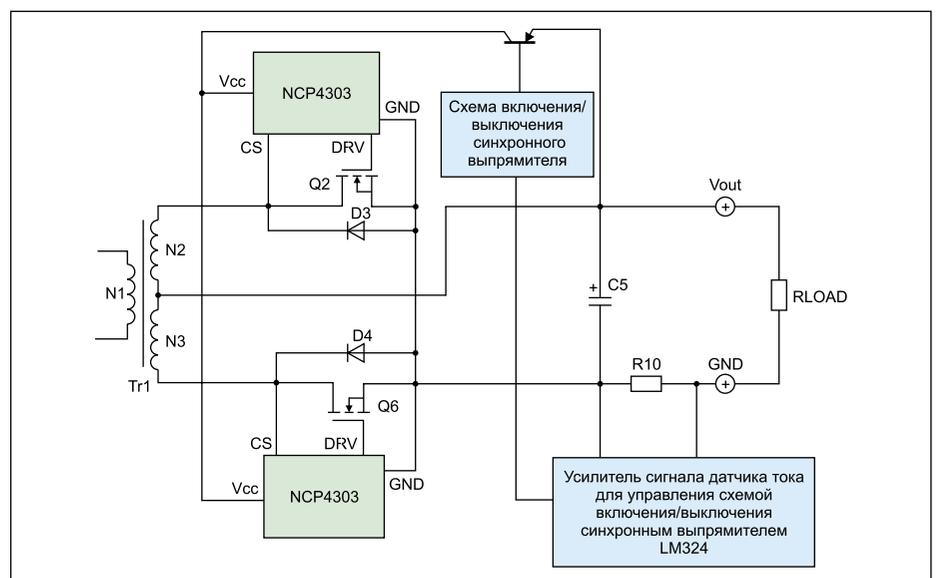


Рис. 6. Схема управления модулем синхронного выпрямления на основе NCP4303

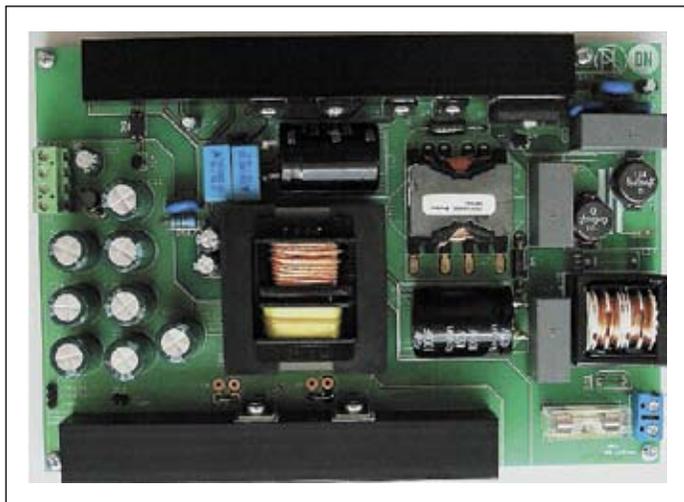


Рис. 7. Внешний вид платы источника питания 12 В/213 Вт

щена на печатной плате размером 135×200×35 мм, благодаря использованию компонентов с высокой степенью интеграции, а также высокой эффективности преобразования и низким потерям мощности на силовых элементах.

Эффективность преобразования энергии предложенной схемы

Предложенный проект по достигнутым параметрам превышает заданные уровни требований по эффективности преобразования, регламентированные в документах 80 PLUS Silver [4], Energy Star 5.0 [5], а также Climate Savers Computing Initiative (CSCI) Step 3 [6] для настольных компьютерных источников питания. На рис. 8 показаны требования к эффективности источников питания, регламентированные в стандарте 80 PLUS, а также уровень соответствия параметров эффективности предложенной архитектуры источника питания.

Levels	Specification	Efficiency (%)			Effective Date
		20% of rated output power	50% of rated output power	100% of rated output power	
80 PLUS BRONZE	GSGI Bronze • Single-Output • Non-Redundant • PFC 0.9 at 50%	81%	85%	81%	Start June 2007
80 PLUS SILVER	GSGI Silver • Single-Output • Non-Redundant • PFC 0.9 at 50%	85%	89%	85%	Start June 2008
80 PLUS GOLD	GSGI Gold • Single-Output • Non-Redundant • PFC 0.9 at 50%	88%	92%	88%	Start June 2010
GSGI Platinum	• Single-Output • Non-Redundant • PFC 0.9 at 50%	90%	94%	91%	Target

Рис. 8. Таблица требований к эффективности компьютерных источников питания

Предложенный дизайн по своим параметрам энергоэффективности соответствует уровню серебряного класса, что подтверждает оптимальный выбор архитектуры и базовой комплектации импульсного источника питания. Сегодня этому уровню и выше соответствует пока не более 20% источников питания. Схема имеет определенный ресурс и для повышения эффективности.

Литература

1. AND8460/D Implementing a 12 V/240 W Power Supply with the NCP4303B, NCP1605 and NCP1397B.
2. 216 W All in One Power Supply Reference Design Featuring NCP1605, NCP1397 and NCP4303 Documentation.
3. <http://www.plugloadsolutions.com/80PlusPowerSupplies.aspx>
4. www.80pls.org
5. www.energystar.gov
6. www.climatesaverscomputing.org