

Конструирование источника питания на основе контроллера Green FPS



New Green Fairchild Power Switches Reduce Standby Power and EMI in TV/Audio SMPSs

Артем Козлов, инженер НТО БИС-Электроник
E-mail: artem_kozlov@bis-el.kiev.ua

В статье описаны этапы разработки блока питания на контроллере питания Green FPS. Перечислены требования, а также рассмотрены способы конструирования изолированного импульсного источника питания (SMPS — Switch Mode Power Supply) с высоким КПД и пониженным потреблением в режиме ожидания, который призван заменить распространенные конструкции AC/DC-преобразователей. Указаны факторы, влияющие на выбор магнитных компонентов, обозначены критерии выбора компонентов Green FPS, разработан RCD-фиксатор с малым потреблением. Выбор выпрямительных диодов для выходной низковольтной цепи постоянного тока и элементов цепи обратной связи в контуре регулирования выходного напряжения завершает описание процесса проектирования. В заключение приведена ссылка на ряд доступных источников в помощь конструктору AC/DC-преобразователей.

ВСТУПЛЕНИЕ

Практически все электронные устройства получают энергию от источников переменного тока (АС). Как правило, бытовое оборудование, постоянно подключенное к сети и потребляющее электроэнергию, совершает полезную работу лишь тогда, когда потребитель включает питание или заряжает батареи. Потребители часто полагают, что их прибор выключен, когда фактически он находится лишь в состоянии готовности к выключению и все еще потребляет электроэнергию!

По данным Международного Энергетического Агентства (IEA) 5...15% мировых затрат электроэнергии в быту приходится на «нерабочие потери». Вместе с ростом популярности на домашнюю

электронику, на устройства с электронным контролем, а также, вместе с увеличением числа функций электронной аппаратуры, растет и количество потраченных впустую ватт электроэнергии.

Снижение энергопотребления современных электронных приборов является общемировой тенденцией. Правительства и экологические организации во всем мире повысили требования к мощности, потребляемой таким оборудованием в режиме ожидания: для удовлетворения современным экологическим директивам она не должна превышать 1 Вт.

До 90% «standby-потерь» приходится на ненужное удержание компонентов схемы под напряжением, а также, на неэффективную подачу электропитания на внешние устройства. По оценкам

Американской Лаборатории Лоуренса Беркели (Lawrence Berkeley National Lab), в новом оборудовании возможно 75%-ое сокращение расхода электроэнергии. При этом, почти все standby-функции могут быть выполнены с расходом не более одного ватта энергии. Этот эффект достигается использованием усовершенствованных проектов и технологий электропитания. Компании-производители полупроводниковых компонентов уделяют большое внимание конструированию автономных импульсных источников питания, удовлетворяющих данным требованиям.

Главными элементами импульсных AC/DC блоков питания являются ШИМ-модулятор, MOSFET-транзистор и трансформатор. Одной из прогрессивных разработок для современного источника питания является контроллер Green FPS™ от компании Fairchild Semiconductor, состоящий из ШИМ-модулятора, силового MOSFET-транзистора, устойчивого к лавинному пробое, а также различных сервисных и защитных узлов. Успеху данного проекта способствовала высокая степень интеграции микросхемы.

СХЕМА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Существует множество схем и режимов работы AC/DC конвертеров. Соображения безопасности требуют, чтобы источники питания были изолированными. Для построения изолированных блоков питания используют прямоходовую или обратнуюходовую схему. Последняя содержит небольшое

число компонентов и имеет меньшую стоимость, что делает такой блок питания предпочтительным. В данной статье рассматривается топология, использованная для разработки автономного импульсного источника питания, потребляющего малую мощность в режиме ожидания (см. рис. 1).

В обратногоходовой схеме накопление энергии в трансформаторе происходит во время первой части цикла коммутации, когда MOSFET транзистор (показан на рис. 1 внутри Green FPS) включен и ток течет через первичную обмотку трансформатора. Накопленная энергия передается через вторичную обмотку во время второй части цикла, когда транзистор выключен. Если энергия в трансформаторе успевает рассеяться до наступления следующего цикла переключения, такой режим работы называют режимом с прерывающимся током (DCM — Discontinuous Current Mode). В противном случае SMPS работает в режиме непрерывного тока (CCM — Continuous Current Mode). Режим

DCM используется в источниках питания, работающих при высоком напряжении и малом токе, а CCM предпочтительнее, когда выходное напряжение невелико, а ток нагрузки достаточно большой.

Различают режимы работы SMPS с обратной связью по напряжению и по току. В первом случае для регулировки выходного сигнала применяется обратная связь по напряжению, а в токовом режиме используется обратная связь по напряжению и внутренняя обратная связь по току. Последняя ограничивает ток, текущий через мощный MOSFET (интегрирован в Green FPS), с помощью ШИМ-регулирования. Более предпочтительным режимом работы является токовый, именно он использован в большинстве компонентов серии Green FPS.

В статье рассматривается схема с токовой обратной связью, имеющая пограничный между CCM и DCM режим, действующий при минимальном входном напряжении AC и максимальном токе нагрузки на всех низковольтных

выходах. Таким образом, при входном напряжении больше минимального и/или выходных токах меньше максимальных источник питания будет работать в режиме разрывного тока.

Разработка схемы SMPS осуществляется в три основных этапа, при этом процесс проектирования упрощается, а блок питания получается чрезвычайно компактным и эффективным:

- 1) определение технических требований к входным и выходным параметрам;
- 2) выбор контроллера Green FPS и трансформатора обратной связи;
- 3) разработка и расчет низковольтных каскадов постоянного тока, управляемых по цепи обратной связи.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ВХОДНЫМ И ВЫХОДНЫМ ПАРАМЕТРАМ

На первом этапе определяются входное напряжение AC и его частота,

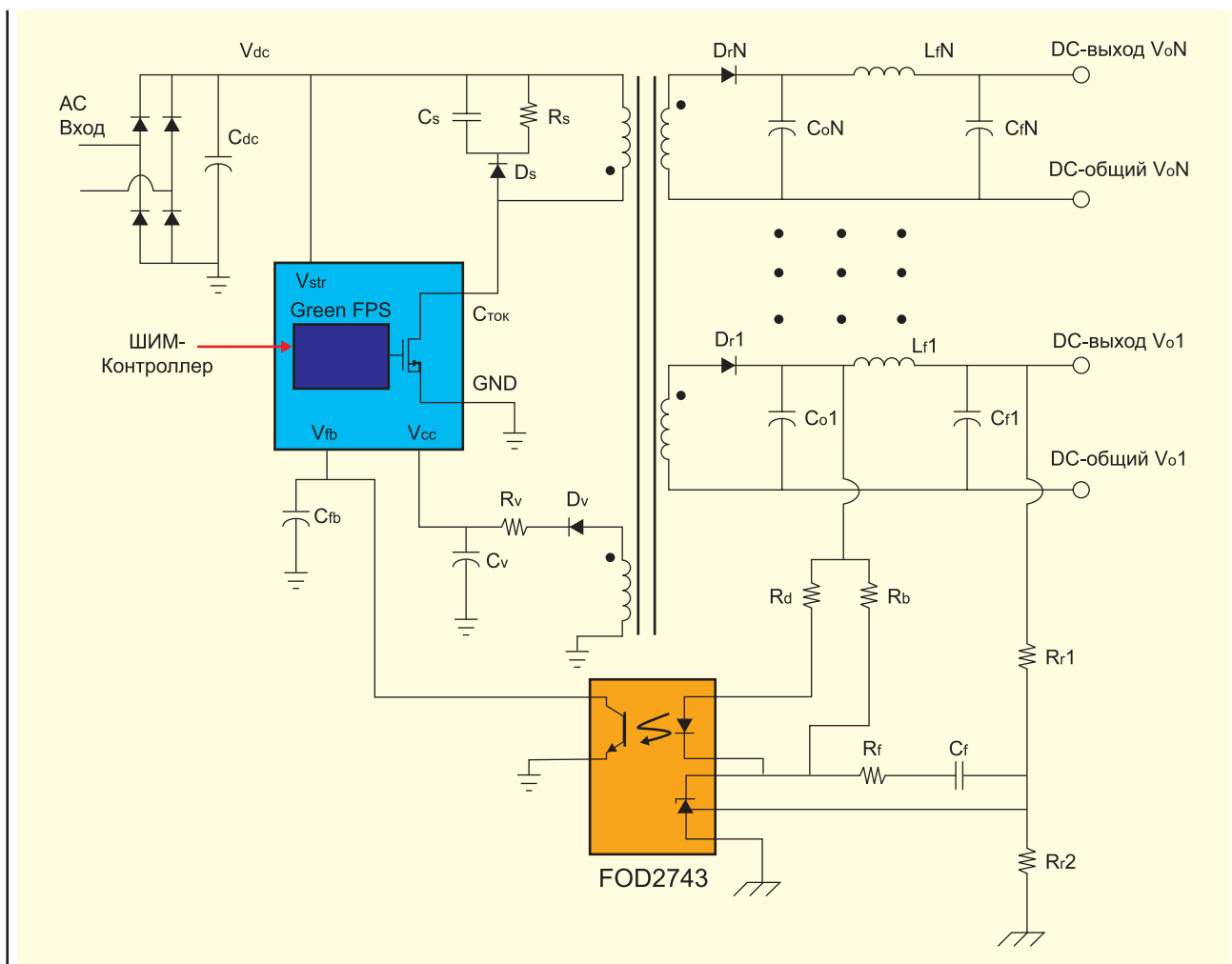


Рисунок 1 Схема обратногоходового источника питания на основе Green FPS

а также напряжение и ток нагрузки на низковольтных DC-выходах. Для расчета потребляемой мощности используется допущение, что КПД SMPS с небольшим числом высоковольтных выходов (имеется в виду 12 В и выше) составляет 80%, а для источников питания с большим числом низковольтных выходов КПД не превышает 70%. Стандартное входное напряжение переменного тока находится в диапазоне 85–265 В, что соответствует мировым стандартам 110 В и 220 В.

Некоторые европейские системы, такие как телевизионные приставки, могут быть рассчитаны на диапазон 230 В \pm 15%, в США эти же устройства работают от напряжения 110 В. Однако большинство автономных блоков питания рассчитано на универсальный диапазон входного напряжения, и именно его мы будем рассматривать в данной статье. Соответствующий диапазон частот входного напряжения составляет 47–63 Гц. Емкость входного конденсатора звена постоянного тока (C_{dc} на рис. 1) выбирается из расчета 2–3 мкФ на 1 Вт потребляемой мощности. Максимальное значение напряжения на этом конденсаторе VDC ограничено пиковым значением входного переменного сигнала.

Значения выходных напряжений и токов определяются системными требованиями. В первую очередь рассматриваются цепи с напряжением 5 В и выше, которые используются для работы многочисленных распределенных DC/DC-конвертеров, работающих непосредственно с нагрузками и формирующих напряжение 0.9–3.6 В.

ВЫБОР КОНТРОЛЛЕРА GREEN FPS И ТРАНСФОРМАТОРА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

На втором этапе выбираются подходящий контроллер Green FPS и трансформатор обратной связи, оба эти выбора взаимосвязаны. Как правило, максимальный рабочий цикл MOSFET-транзистора задается на уровне 45–50%, чтобы минимизировать возможность появления субгармонических осцилляций в ССМ-режиме.

С другой стороны, при меньших значениях рабочего цикла снижается уровень перенапряжения на силовом транзисторе, но возрастает уровень сигнала на выходных диодах (DR1-DRN на рис. 1). Поскольку MOSFET-транзистор, встроенный в Green FPS, обычно

рассчитан на напряжение 650–800 В, допускается использование устройства с рабочим циклом, несколько большим 50%. На первом этапе рассчитывается индуктивность первичной обмотки трансформатора при максимальной нагрузке и минимальном входном напряжении, с учетом того, что контроллер Green FPS работает на определенной частоте переключения.

Индуктивность первичной обмотки также зависит от минимального входного DC-напряжения (VDC), максимального коэффициента заполнения и входной мощности, определенной на предыдущем этапе. Максимальный ток MOSFET рассчитывается исходя из его зависимости от максимального коэффициента заполнения, потребляемой мощности, минимального входного DC-напряжения, индуктивности первичной обмотки и частоты переключения. С помощью приведенной табл. 1 выбирается конкретный тип Green FPS на основании величины тока и частоты переключения. При выборе обычно используется запас по предельным режимам, составляющий около 10% от значения, указанного в технических условиях.

Отдельное внимание уделяют выбору сердечников трансформатора. Предварительный выбор сердечника для импульсного блока питания с одним DC-выходом может быть сделан с помощью табл. 2 в зависимости от выходной мощности при частоте коммутации 67 кГц. Для высоких частот используются сердечники меньшего типоразмера, а для схемы с множественными DC-выходами — большего. Используя приведенный упрощенный выбор можно провести предварительную оценку схемы автономного конвертера. Далее следует проверить все расчеты, и при необходимости использовать сердечник большего размера.

После окончательного выбора сердечника необходимо рассчитать число витков первичной и вторичной обмоток на основе требуемых значений выходного напряжения, примерного значения падения напряжения на выходных диодах и минимального числа витков первичной обмотки, необходимого для предотвращения насыщения сердечника. Всем компонентам, приведенным в табл. 1, кроме FSD200, для работы необходимо напряжение смещения. Соответственно, число витков рассчитывается с учетом этого напряжения (FSD200 использует для начального смещения непосредственно входное напряжение DC, что позволяет сэкономить место и число компонентов на печатной плате за счет некоторого снижения КПД).

Сечение провода определяется исходя из максимальной плотности тока, которую обычно выбирают равной 5–10 А/мм². При выборе проводов обмоток, размещаемых на одном сердечнике, необходимо принимать во внимание их напряжение изоляции. Оно должно обеспечивать необходимое напряжение пробоя между первичной и вторичными обмотками. При этом следует проверить, что обмотки нужного диаметра могут быть размещены внутри окна выбранного сердечника. При необходимости выбирается больший сердечник, после чего все этапы проектирования повторяются.

Поскольку трансформаторы импульсных обратных источников питания накапливают энергию во время включенного состояния силового ключа и не отдают ее, пока транзистор не будет закрыт, сердечник должен иметь зазор для предотвращения насыщения. Величина зазора магнитопровода может быть рассчитана на основании технических данных сердечника исходя из необходимого числа витков и индук-

Таблица 1. Типы контроллеров Green FPS и их основные характеристики

Тип контроллера Green FPS	Макс. напряжение стока MOSFET, Vds (В)	Макс. ток стока MOSFET, Id (А)	Частота переключений, (кГц)
FSD200	700	0.3	134
FSD210	700	0.3	134
FSDM311	650	0.55	67
FSDH321	650	0.7	100
FSDL321	650	0.7	50
FSD1000	700	подстраиваемый	67
FSDL0165RN	650	1.2	50
FSDH0265RN	650	1.5	100
FSDM0265RN	650	1.5	67
FSDM0365RN	650	2.15	67
FSDL0365RN	650	2.15	50
FSDM0565RB	650	2.3	67
FSDM07652RB	650	2.5	67

тивности первичной обмотки. Производители сердечников предлагают их в исполнениях с ззором и без него для типов EE, EI, EPC и EER, приведенных в табл. 2.

Выбор материала феррита необходимо производить с учетом потерь в магнитопроводе при заданной рабочей частоте. Каждый трансформатор импульсного источника питания имеет индуктивность рассеяния первичной обмотки (она может быть измерена при замкнутых витках вторичной обмотки), вызывающую выбросы напряжения на стоке MOSFET транзистора. Для предотвращения его пробоя на практике используют фиксирующие цепи.

Одна из таких цепей, RCD-фиксатор (схема состоит из RS, CS и DS), показана на рис. 1; во второй вместо резистора и конденсатора установлен супрессор — подавитель выбросов напряжения, или TVS (Transient Voltage Suppressor). Супрессор имеет характеристики, близкие к быстрому стабилитрону с соответствующим пробивным напряжением на уровне, необходимом для защиты MOSFET (например, P6KE150A производства Fairchild Semiconductor).

Параметры RCD-фиксатора рассчитываются таким образом, чтобы напряжение в точке соединения диода DS, резистора RS и конденсатора CS RCD-контура оставалось постоянным. Когда силовой транзистор закрыт, конденсатор CS заряжается через диод DS до максимального напряжения стока транзистора. Разряд конденсатора осуществляется через резистор RS на емкость звена постоянного тока Cdc, таким образом потери от демпфирующего контура сводятся к минимуму.

РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КАСКАДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

На заключительном третьем этапе рассчитывается низковольтная выходная цепь с регулирующей петлей обратной связи.

Выпрямительные диоды DR1-DRN (см. рис. 1) выбираются исходя из величин максимального обратного напряжения и среднеквадратического прямого тока Irms через каждый диод (см. выше), определенных на предыдущих фазах проектирования. При выборе диодов необходимо провести повторный расчет количества витков выходной обмотки, сделанный с учетом прямого падения напряжения на них.

Таблица 2. Предварительный выбор сердечника для источника питания с одним выходом ($f = 67$ кГц)

Выходная мощность (Вт)	Тип сердечника			
	EI	EE	EPC	EER
0 – 10	EI12.5 EI16 EI19	EE8 EE10 EE13 EE16	EPC10 EPC13 EPC17	
10 – 20	EI22	EE19	EPC19	
20 – 30	EI25	EE22	EPC25	EER25.5
30 – 50	EI28 EI30	EE25	EPC30	EER28
50 – 70	EI35	EE30		EER28L
70 – 100	EI40	EE35		EER35

На рис. 1 изображен выходной конденсатор C01, подключенный к LC-фильтру, состоящему из LF1 и CF1. Если величина напряжения пульсаций оказывается удовлетворительной при использовании только конденсатора, LC-фильтр можно исключить из схемы, что позволит сэкономить место на плате и снизить стоимость изделия.

Существуют и другие требования к переходной и нагрузочной характеристикам, которые нужно учитывать при разработке выходного каскада. Для регулировки выходного напряжения сигнал u238 обратной связи поступает на вход контроллера Green FPS, управляющего соответствующим образом длительностью импульса на затворе MOSFET. Сигнал управления проходит через изолирующую оптопару, напряжение изоляции, которой должно удовлетворять требованиям по безопасности, предъявляемым к изолированным источникам питания.

В простейшем случае используются параллельный стабилизатор напряжения и оптопара, интегрированные в единый элемент (например, FOD2743 производства Fairchild Semiconductor), как показано на рис. 1. Выходное DC-напряжение понижается до уровня опорного напряжения параллельного стабилизатора (2.5 В для FOD2743) с помощью резистивного делителя напряжения (RR1 и RR3) и резистора RB, номиналы которых выбираются из соображений минимального тока потребления устройства. Ток фототранзистора FOD2743, вызываемый током светодиода, требует балансировки относительно тока обратной связи Green FPS для поддержания напряжения обратной связи в требуемом диапазоне.

В режиме ожидания, когда ток нагрузки практически отсутствует, напряжение обратной связи падает до низкого порогового, соответствующего сигналу включения «специального импульсного режима», при котором Green

FPS переключается в режим генерации импульсов для поддержания выходного напряжения. В зависимости от требований по потребляемой мощности этот экологический «зеленый» режим обеспечивает значительную экономию энергии благодаря сокращению циклов переключения контроллера Green FPS.

Коррекция обратной связи достигается подбором соответствующих значений RF и CF. Для предотвращения паразитного взаимодействия с цепью компенсации обратной связи частота среза LC-фильтра (LF1 и CF1) должна быть достаточно высокой. В конце процесса проектирования выбираются сглаживающий конденсатор CV в цепи питания контроллера и диод DV (см. рис. 1). Величина емкости зависит от тока потребления выбранного Green FPS. Небольшой резистор RV служит для снижения зависимости напряжения питания контроллера от изменения нагрузки конвертера.

Все необходимые функции управления и защиты, такие как плавный запуск, подавление переднего фронта импульса, защита от перенапряжения и перегрузки по току, защита от перегрева, включены в состав Green FPS, для их работы не требуется никаких внешних подключений.

Существует ряд аксессуаров, предназначенных для улучшения характеристик импульсных преобразователей: входные и встроенные фильтры EMI; специальные трансформаторы, позволяющие уменьшить утечки и увеличить КПД; экраны для снижения числа объемных EMI компонентов и масса других вещей, необходимых разработчикам источников питания.

Для расчета режимов работы автономных импульсных источников питания предлагается множество специализированных программ; название одной из них упомянуто в списке литературы. Конструкторам, впервые приступающим к разработке блока питания, приведенное описание основных этапов проектирования, включая рекомендации, касаю-

Таблица 3. Примеры функционального соответствия изделий Power Int. и Fairchild Semi

Power Int	Fairchild Semi
TOP242P	FSDM311
TOP243P	FSDL0165RN
TOP246Y	FSDM0565RBW
TOP244Y	KA5M0280RY
TNY268P	FSDH0270RNB
TNY264P	FSQ510
TNY266P	FSDM311
DPA426	FS6X1220RJ
TOP245Y	KA5L0380RY

щиеся входного EMI-фильтра, послужит отличным руководством при разработке схем импульсных источников питания.

Многие силовые контроллеры Fairchild Semiconductor функционально совместимы и могут заменить популярные в Украине TOP-ы и TNY-ки Power Integrations. В табл. 3 приведено несколько примеров такого соответствия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной статье описан процесс проектирования авто-

номного изолированного импульсного источника питания (SMPS) на основе специализированного контроллера Green FPS. Подобные AC/DC-преобразователи соответствуют мировым нормам электропотребления, требующим уменьшения мощности потребления в дежурном режиме до уровня менее 1 Вт. Процесс проектирования разбит на три этапа: определение и234 конструктивных требований к инвертору; выбор импульсного трансформатора и интегральных схем; и наконец разработка выходных DC-каскадов и соответствующей цепи обратной связи для регулирования. Использование при разработке импульсных преобразователей компонентов высокой степени интеграции Green FPS обеспечивает изделиям повышенную надежность, упрощает проектирование и освоение данной техники для начинающих разработчиков.

В декабре 2006 г. компания БИС-Электроник (Киев) получила статус официального дистрибьютора Fairchild Semiconductor в Украине. Мы приложим все усилия для того, чтобы продукция этого гиганта полупроводниковой индустрии стала доступной и популяр-

ной среди отечественных разработчиков и производителей электронной техники.

Литература:

1. Козлов А. Современное решение «нерабочих потерь» электроэнергии в источниках вторичного электропитания, CHIP NEWS Украина, №5, 2003.
2. Application Note AN4137: Design Guidelines for Off-line Flyback Converters Using Fairchild Power Switch, v1.2.0, Fairchild Semiconductor, 2003, <http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-4137.pdf>.
3. Oscar Freitas. Designing an Environmentally Friendly, AC to DC Power Supply using Green FPS, Technical Staff, Fairchild Semiconductor.
4. Abraham I. Pressman, Switching Power Supply Design. Second Edition. McGraw-Hill, 1998.
5. Brown Marty. Power Supply Cookbook. Second Edition. Newnes, 2001.
6. PowerSupplyDesignToolkit(download), Fairchild Semiconductor, 2004, <http://www.fairchildsemi.com/designcenter>.

РЕКЛАМА