

# МИНИМУМ КОМПОНЕНТОВ, МАКСИМУМ КАЧЕСТВА ИНТЕГРИРОВАННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

М.Шейкин max.shaking@yandex.ru

Очевидные преимущества импульсных источников питания послужили причиной их широкого распространения во всех областях электронной техники. Применение интегрированных компонентов при конструировании источников питания позволяет существенно снизить и финансовые, и временные затраты, а также улучшить характеристики разрабатываемых устройств.

Одно из важнейших преимуществ импульсных источников питания – компактность. Из-за того что преобразование напряжения в них происходит на высокой частоте, нет необходимости ни в громоздких трансформаторах, ни в конденсаторах большой емкости для сглаживания пульсаций.

Основа любого импульсного источника питания (рис.1) – специализированная микросхема, управляющая мощными КМОП (MOSFET) транзисторами, которые, переключаясь, создают в первичной обмотке трансформатора импульсы тока высокой частоты. Мощность, поступающая в силовую цепь, регулируется изменением длительности управляющих импульсов (шиотно-импульсная) или частоты их следования (частотно-импульсная модуляция). Так как в большинстве источников использовалась ШИМ, за управляющими микросхемами закрепилось название "ШИМ-контроллеры", хотя в современных микросхемах-контроллерах для увеличения КПД источника могут использоваться оба этих метода – ЧИМ при малом токе нагрузки и ШИМ – при большом.

С помощью цепи обратной связи определяется разница между выходным и эталонным сигналами, которая компенсируется посредством модуляции импульсов в первичной обмотке трансформатора.

Обратная связь может быть организована по току или по напряжению. Управление по напряжению проще в реализации и применяется в устройствах с широким диапазоном входных и выходных напряжений, обратная связь по току обеспечивает более быстрый отклик и позволяет ограничивать ток.

Широчайшее распространение получили аналоговые ШИМ-контроллеры. В последнее время все большую популярность набирают цифровые контроллеры ИИП, основа которых – микропроцессор и прецизионные АЦП. Сигнал цепи обратной связи преобразуется в цифровую форму, микропроцессор вычисляет рассогласование и генерирует модулированные импульсы управления ключами.

При проектировании импульсного источника питания весьма важно обеспечить быструю работу транзисторов. Так как емкость затвора в КМОП-транзисторах велика, для быстрого переключения его из одного состояния в другое требуется

большой ток. Для управления мощными транзисторами используются специальные микросхемы-драйверы, которые согласовывают сигнальные уровни контроллера и транзисторов.

## ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Тенденция к интеграции охватила все области электроники, не стали исключением и компоненты источников питания. Использование интегрированных компонентов дает разработчику определенные преимущества: упрощается разводка печатной платы и монтаж, снижается уровень помех, повышается надежность устройства – при более низкой стоимости. Многие решения для систем питания ориентированы на применение в упрощенных схемах с минимальным количеством дискретных элементов. Это позволяет быстро и с минимальными затратами обеспечить питание для разрабатываемого устройства.

В ассортименте практически любого крупного производителя элементной базы можно найти в той или иной степени интегрированные решения для импульсных источников питания – от ШИМ-контроллеров со встроенными драйверами MOSFET до законченных модулей питания, не требующих для работы дополнительных компонентов. В этом обзоре будут рассмотрены интегрированные модули питания со встроенными ключами (IPS – Integrated power switches) для некоторых актуальных сегодня областей применения.

Как правило, силовые цепи таких модулей содержат один ключевой транзистор, работающий в прямоходовой или обратходовой схемах, либо два ключа в полумостовой схеме. Несмотря на огромное разнообразие решений, все современные микросхемы IPS и модули питания обладают неким минимальным набором функций:

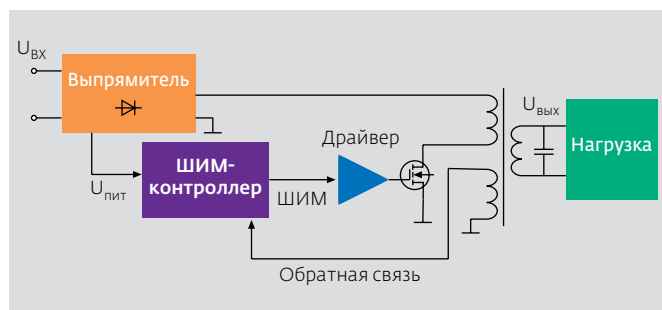


Рис.1. Структурная схема импульсного источника питания

- *Возможность "мягкого" старта.* Плавное, без скачков, нарастание напряжения и тока исключает перегрузки и продлевает срок жизни как самой микросхемы, так и дискретных компонентов.
- *Защита от перегрева.* Устройство отключается при достижении критического порога температуры. Повторное включение возможно при охлаждении микросхемы до нижнего порога (гистерезисный режим).
- *Ограничение тока.* Специальная цепь не позволяет току нагрузки превышать заданное значение, что исключает повреждение питаемого устройства.
- *Широкий диапазон входных напряжений.* Устройства, ориентированные на работу от сети, могут работать при напряжениях от 85 до 265 В, а повышающие модули для батарейного питания – поддерживать нужное напряжение при разряде батарей.
- *Модуляция высокочастотных импульсов (jittering).* Снижает уровень помех до допустимых значений, тем самым снимая необходимость в громоздких фильтрах.

## МАЛОГАБАРИТНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

В сфере производства мобильных электронных устройств – смартфонов, портативных компьютеров и т.д. понятия "интеграция" и "миниатюризация" стали синонимами. Как и все остальные компоненты этих устройств, источники питания должны соответствовать достаточно жестким требованиям к габаритам. Кроме этого, для устройств с батарейным питанием крайне важна экономичность и энергетическая эффективность.

На рынке имеется достаточно широкий выбор малогабаритных контроллеров питания для батарейных устройств, которые характеризуются низким собственным энергопотреблением и высокой частотой преобразования. Последнее свойство позволяет использовать малогабаритные конденсаторы и индуктивности, если таковые необходимы. Для достижения максимальной экономичности преобразователи в таких модулях используют разные типы модуляции в зависимости от тока нагрузки. Многие контроллеры этого класса имеют встроенные синхронные выпрямители.

Понижающие (step-down) контроллеры обеспечивают заданный уровень напряжения, как правило, не выше 80–90% от внешнего. К таким, например, относятся миниатюрные

(2,2×2,9 мм) модули питания сверхмалой мощности серии TPS82671/75/76/77 производства Texas Instruments. Они представляют собой законченные устройства, не требующие дополнительных компонентов, с выходным напряжением от 1,1 до 1,8 В (в зависимости от модели, табл.1) и током 600 мА. Основа модуля – микромощный высокочастотный понижающий преобразователь питания, предназначенный для работы в устройствах с батарейным питанием и обеспечивающий максимально экономные режимы работы (собственное потребление источника – 17 мкА). Преобразователи работают на частоте 5,5 МГц. При необходимости более высоковольтного питания можно использовать источники TPS82690 и TPS82691 с выходным напряжением 2,85 и 2,5 В, соответственно.

Еще более миниатюрные и высокочастотные модули питания предлагает Analog Devices. Модули ADP2126/2127 имеют фиксированную

величину выходного напряжения – 1,2 и 1,26 В соответственно, при максимальном токе нагрузки 500 мА. Внутренний генератор работает на частоте 6 МГц, имеется возможность работы от внешнего генератора с частотой до 27 МГц. Также можно задавать режим работы преобразователя – ШИМ либо автоматический (ШИМ-ЧИМ). Корпус микросхемы имеет размеры всего 0,9×1,3 мм, но этот модуль требует дополнительных компонентов – индуктивности и нескольких конденсаторов (рис.2).

Повышающие (boost) контроллеры обеспечивают стабильное выходное напряжение при разряде батареи, причем в этом случае входное напряжение может быть значительно ниже выходного. Модуль TPS6101x производства Texas Instruments в состоянии обеспечить выходное напряжение питания от 1,8 до 3,3 В при понижении входного напряжения до 0,8 В. В зависимости от модели величина выходного

**Таблица 1.** Характеристики малогабаритных модулей питания для мобильных устройств

Производитель	Обозначение	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Максимальный ток нагрузки, А	Стартовый ток, мкА	Собственный ток потребления, мкА	Частота преобразования, МГц
Texas Instruments	TPS82671	2,5–4,8	1,8	0,6	–	17	5,5
	TPS82675		1,2		–	17	5,5
	TPS82676		1,1		–	17	5,5
	TPS82690		2,85		–	17	4
	TPS61010	0,8–3,3	1,5–3,3	1,3	0,9	50	0,78
	TPS61011	0,8–1,5	1,5	0,48			
	TPS61012	0,8–1,8	1,8	0,56			
	TPS61013	0,8–2,5	2,5	0,93			
	TPS61014	0,8–2,8	2,8	1,01			
	TPS61015	0,8–3,0	3,0	1,06			
TPS61016	0,8–3,3	3,3	1,13				
Analog Devices	ADP2102	2,7–5,5	0,8–3,3	0,6	–	99	3
	ADP2503	2,3–5,5	2,5–5	0,6	–	50	2,5
Fairchild Semiconductor	FAN4855	1,5–2,7	3–5	0,5	–	10	0,1/0,6
	FAN53540	2,7–5,5	0,8–5,3	5	–	50	2,4
	FAN5903	2,7–5,5	0,4–3,5	0,8	–	–	3/6
	FAN5904	2,7–5,5	0,4–3,5	2,3	–	–	3/6

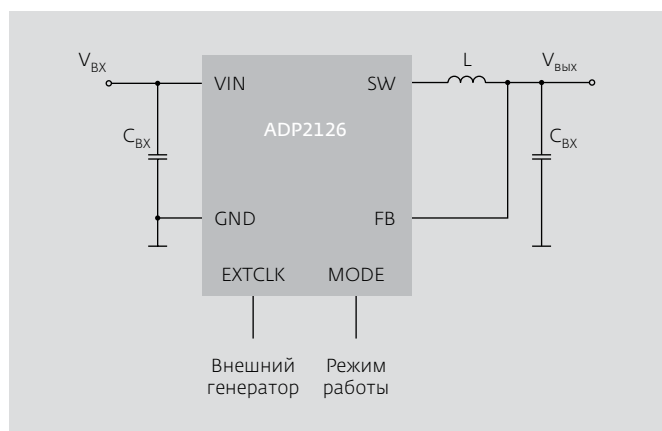


Рис.2. Типовая схема включения микросхемы ADP2126

напряжения фиксирована или же задается внешним резистором. Минимальное стартовое напряжение – 0,9 В, при этом ток нагрузки может достигать 200 мА.

Более мощный повышающий контроллер FAN4855 фирмы Fairchild предназначен для работы в устройствах, которые питаются от двухэлементных батарей. Выходное напряжение этого контроллера можно задавать в диапазоне от 3,3 до 5 В при максимальном токе 500 мА. Минимальное стартовое напряжение – 1,3 В, а напряжение отключения – 1 В. Собственное потребление контроллера – меньше 10 мкА (см. табл.1).

### ИСТОЧНИКИ POINT-OF-LOAD

В последнее время большую популярность приобрели распределенные системы питания. Недорогие источники питания малой и средней мощности (источники Point-of-load) устанавливаются непосредственно около питаемого узла – процессора, ПЛИС и т.д (рис.3). В случае использования компонентами нескольких линий питания с разными напряжениями этот метод существенно упрощает разводку силовых цепей. Преобразователи Point-of-load могут не иметь гальванической развязки между входом и выходом, так как она обычно есть в первичном источнике. Они рассчитаны на работу в цепи стабилизированного первичного питания, поэтому диапазон их входных напряжений может быть достаточно узок. Однако в ряде случаев интегрированные контроллеры питания имеют широкий диапазон входных напряжений, так как область их применения не ограничивается источниками Point-of-load.

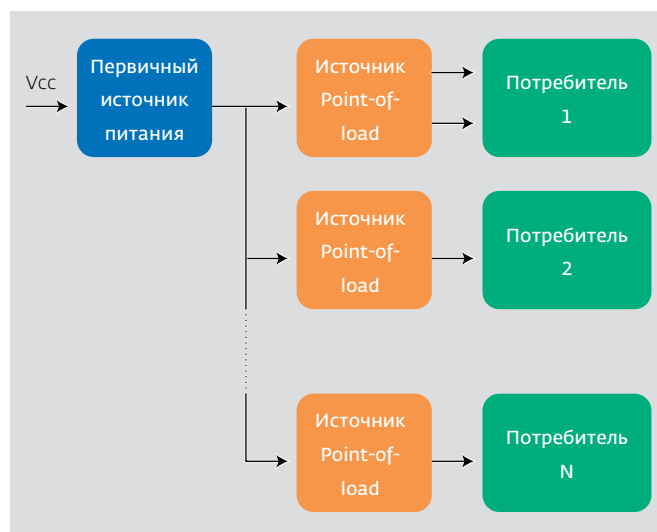


Рис.3. Схема организации питания Point-of-load

Модули этого класса могут иметь несколько независимых выходов с различными напряжениями, что позволяет особенно эффективно использовать их для питания цифровых компонентов. К примеру, модули MAX8833 и MAX8855 компании Maxim рассчитаны на входное напряжение 2,25–3,6 В и имеют соответственно два 3- или 5-амперных выхода с напряжением 60–90% от входного. Для уменьшения уровня помех генераторы преобразователей работают в противофазе.

Модуль MAX8686, выпущенный как замена устаревшим MAX885х, имеет широкий диапазон входных напряжений – от 4,5 до 20 В. Его особенностью является большая мощность – при выходном напряжении от 0,7 до 5,5 В максимальный ток нагрузки составляет 20 А. Контроллер обеспечивает высокую стабильность выходного напряжения и имеет вход опорного напряжения. Это позволяет использовать его для питания устройств, контролируемых напряжением, например, DDR-памяти. Есть возможность параллельно объединять до восьми таких модулей в мультифазном режиме, что в сумме дает 200 А тока нагрузки (рис.4).

Для применения в качестве источников Point-of-load Texas Instruments предлагает новую серию модульных источников TPS84xxx. Кроме стандартного набора функций ("мягкого" старта, защиты от перегрева, ограничения тока) эти модули имеют возможность переключения частоты преобразования (500 кГц – 2 МГц) или работы от внешнего генератора. Величина выходного напряжения устанавливается двумя

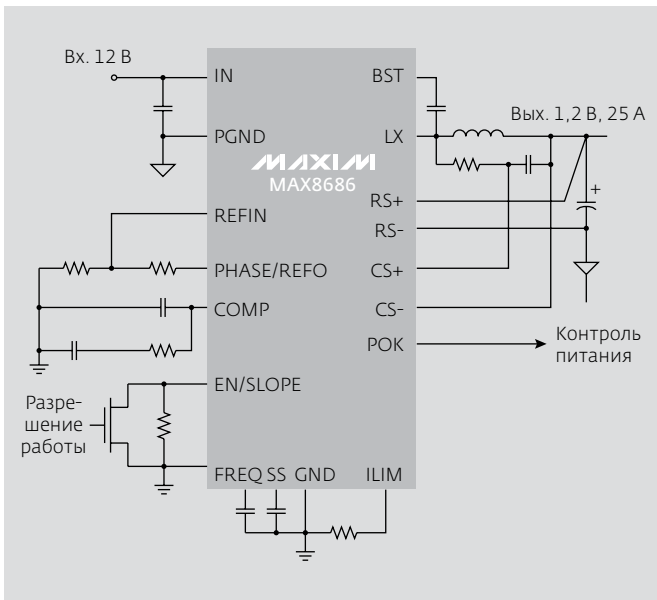


Рис.4. Схема включения контроллера питания MAX8686

резисторами, один из которых задает частоту преобразования (рис.5).

Компания Fairchild Semiconductors выпускает серию модулей питания FAN21xx и FAN21SVxx, которые предназначены для компьютерной техники и прочих устройств с напряжением питания до 20 В. Эти модули очень эффективны за счет использования двух ключевых транзисторов, включенных по полумостовой схеме. Микросхемы серии FAN21SVxx не нуждаются в дополнительном питании. Они могут работать как автономно, так и тактируясь от внешнего

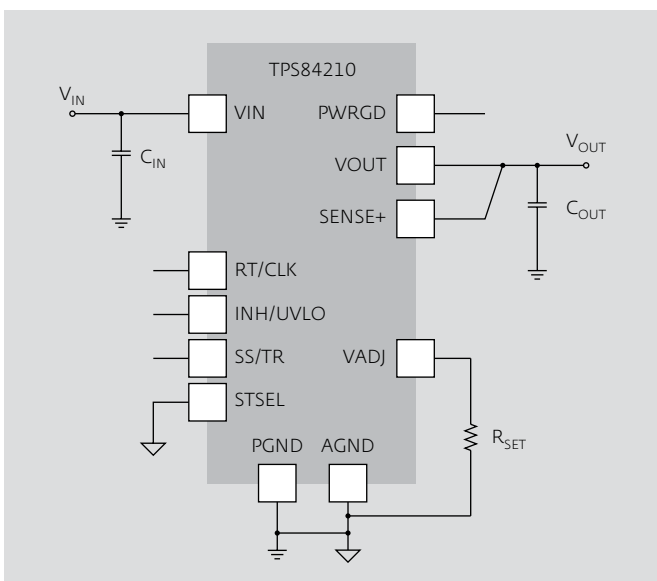


Рис.5. Схема включения источника TPS84210

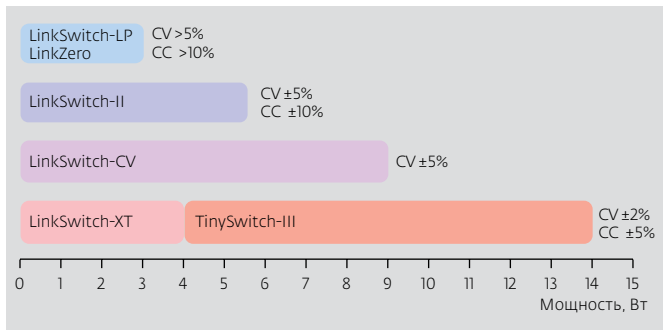


Рис.6. Модули питания Power Integrations малой мощности

генератора. Частота внутреннего генератора задается в диапазоне 200–600 кГц. Самая мощная в линейке микросхема рассчитана на ток нагрузки до 10 А (табл.2).

### УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МОДУЛИ ПИТАНИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА POWER INTEGRATIONS

Компания Power Integrations одной из первых начала производство интегрированных микросхем для модулей питания. Благодаря широкому ассортименту модулей для самых различных применений и простоте схемотехнических решений, изделия этой компании пользуются большой популярностью.

Модули питания малой мощности представлены семействами LinkZero, LinkSwitch, и TinySwitch. Серии различаются выходной мощностью и требованиями к стабильности

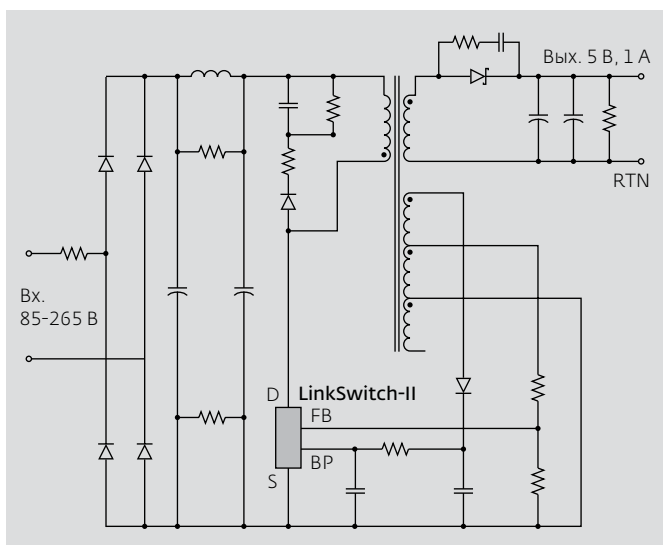


Рис.7. Схема блока питания на микросхеме LinkSwitch-II

Таблица 2. Характеристики модулей питания point-of-load

Производитель	Обозначение	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Максимальный ток нагрузки, А	Частота преобразования, МГц
Maxim	MAX8833	2,35–3,6	0,6–3,3	2x3	0,5–2
	MAX8855	2,35–3,6	0,6–3,3	2x5	0,5–2
	MAX8686	4,5–20	0,7–5,5	25	1
Texas Instruments	TPS84210	2,95–6	0,8–3,6	2	0,5–2
	TPS84320	4,5–14,5	0,8–5,5	3	0,3–0,78
	TPS84410	2,95–6	0,8–3,6	4	0,5–2
	TPS84610	2,95–6	0,8–3,6	6	0,5–2
	TPS84620	4,5–14,5	1,2–5,5	6	0,4–0,78
	TPS84621	4,5–14,5	0,6–5,5	6	0,25–0,78
Fairchild Semiconductor	FAN2103	3–24	0,8–22	3	0,2–0,6
	FAN2106		0,8–20	6	
	FAN2108		0,8–20	8	
	FAN2110		0,8–20	10	
	FAN21SV04		0,8–20	4	
	FAN21SV06		0,8–20	6	

напряжения и тока (рис.6). Встроенные в модули транзисторы выдерживают напряжение до 700 В и ток до 2,2 А (при напряжении 400 В). Управление передаваемой в силовую цепь мощностью осуществляется с помощью разновидности частотно-импульсной модуляции – метода пропуска импульсов. В мощных модулях семейства TopSwitch и LinkSwitch-PH используется полноценный ШИМ-метод. Специальная технология EcoSmart позволяет импульсному источнику питания работать в более экономичном режиме при малой нагрузке либо при ее отсутствии. При малых токах нагрузки контроллер либо применяет режим пропуска рабочих циклов, что снижает мощность, передаваемую в нагрузку, либо, при дальнейшем падении тока, переходит в ждущий режим, при котором источник подает в нагрузку короткие и редкие импульсы для анализа ее состояния.

Контроллеры серий LinkSwitch и LinkZero предназначены для источников питания малой мощности, собранных по обратнотокходовой схеме с минимальным количеством дискретных элементов (рис.7).

Эти модули ориентированы на максимально простые и компактные схемы, например, серия TN предназначена для работы в бестрансформаторных источниках питания (рис.8).

Контроллеры серии LinkZero – это усовершенствованные модели модулей LinkSwitch, предназначенные для работы в устройствах, которые включаются на относительно короткие периоды времени, например, в маломощных зарядных устройствах. Модуль LinkZero-LP автоматически переходит в спящий режим при отключении нагрузки. В этом режиме микросхема практически не потребляет энергии, реальная потребляемая мощность составляет около 5 мВт. Модуль возобновляет работу при подключении нагрузки.

Модули серии LinkZero-AX также имеют возможность переходить в ждущий режим с нулевым энергопотреблением и возвращаться в рабочее состояние по внешней команде от микроконтроллера или внешнего переключателя. В ждущем режиме модуль LinkZero-AX может питать внешнее устройство с током нагрузки до 500 мкА.

Серия TinySwitch предназначена для систем питания большей мощности – до 36 Вт.



### ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ (ДРАЙВЕРЫ) ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ

Одно из важных направлений развития рынка устройств питания – системы светодиодного освещения и отображения информации, которые стремительно набирают популярность в последние годы. Светодиоды – это токовые устройства, поэтому для обеспечения правильного режима работы необходимо обеспечить постоянство тока, текущего через них. В этом заключается основное отличие драйверов для светодиодов от остальных источников питания – они обеспечивают и поддерживают определенный уровень тока, а не напряжения.

Важное свойство этих модулей – возможность диммирования, т.е. плавной регулировки яркости светодиодов с использованием стандартных TRIAC-диммеров. С точки зрения потребителя,

**Таблица 3.** Характеристики модулей питания для светодиодных систем

Производитель	Обозначение	Входное напряжение, В	Мощность, Вт
Maxim	MAX16840	6,5–40	40
	MAX16822	6,5–65	32
	MAX16832	6,5–65	65
Fairchild Semiconductor	FLS1600XS	25–500	160
	FLS1700XS		200
	FLS1800XS		260
	FLS2100XS		400
Power Integrations	LNK403/413E/L	85–265	12
	LNK404/414E/L		15
	LNK405/415E/L		18
	LNK406/416E/L		22
	LNK407/417E/L		25
	LNK408/418E/L		35
	LNK409/419E/L		50
	LNK454D		3
	LNK456D		6
	LNK457D/K/V		8
	LNK458K/V		11,5
			16

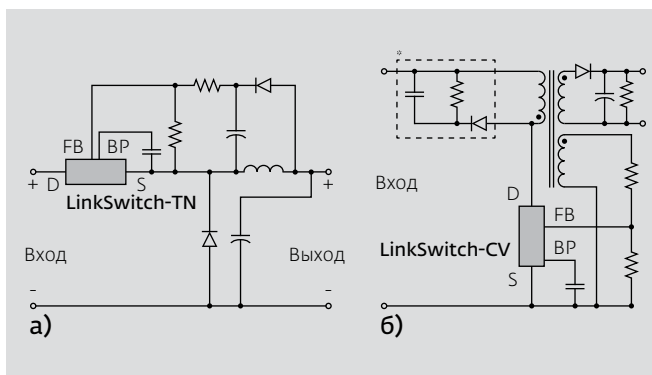
в этом случае управление светодиодным освещением не отличается от регулирования яркости ламп накаливания и не требует замены электрооборудования.

Модуль питания светодиодов MAX16840 производства Maxim предназначается для питания низковольтных (6,5–40 В) светодиодных ламп, которыми предлагается заменять лампы накаливания. Контроллер позволяет управлять яркостью светодиодов с помощью стандартного диммера. Микросхема выпускается в 10-выводном корпусе размером 3×3 мм, что позволяет размещать ее в цоколе лампы.

В серии модулей питания LinkSwitch компании Power Integrations имеются более мощные интегрированные решения для светодиодных систем – серии LinkSwitch-PH и PL. Микросхемы серии PL ориентированы на маломощные, потребляющие не более 16 Вт решения без гальванической развязки (например, светодиодные настольные лампы), и используют традиционную для контроллеров LinkSwitch частотно-импульсную модуляцию. Эти контроллеры поддерживают возможность диммирования и имеют широкий диапазон входных напряжений – от 65 до 250 В.

Серия LinkSwitch-PH предназначена для более мощных систем освещения, например уличного, и имеют гальваническую развязку (рис.9). В контроллерах серии PH, в отличие от остальных модулей серии LinkSwitch, используется полноценная широтно-импульсная модуляция. Старший в линейке PH-контроллер обеспечивает мощность до 50 Вт. В контроллеры обеих серий встроен одноступенчатый корректор коэффициента мощности.

Драйверы сверхъярких светодиодов MAX16822 и MAX16832 обеспечивает ток до 0,5 и 1 А, соответственно, при температуре окружающей среды



**Рис.8.** Типовые схемы включения модулей LinkSwitch серий TN (а) и CV (б)

до 105°C. Широкий диапазон рабочих температур позволяет использовать этот модуль в системах освещения на транспортных средствах. Входное напряжение для этих модулей – от 6,5 до 65 В.

Компания Fairchild предлагает линейку интегрированных контроллеров FLS-XS для систем средней и высокой мощности – от 80 до 400 Вт (при наличии теплоотвода). Они содержат два ключевых транзистора, включенных по полумостовой схеме. Контроллеры этой серии не имеют возможности диммирования. Производитель предлагает использовать эти контроллеры в системах уличного и внутреннего освещения.

Характеристики модулей питания светодиодных систем приведены в табл.3.

### ИНТЕГРИРОВАННЫЕ МОДУЛИ ПИТАНИЯ СРЕДНЕЙ И БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

В ассортименте компании Power Integrations имеются микросхемы для источников питания не только малой, но и большой мощности. Эти решения представлены сериями TopSwitch и Hiper (табл.4). На основе модулей последнего поколения TopSwitch-JX можно построить источник питания с мощностью от 10 до 145 Вт. Для достижения

максимальной эффективности в этих модулях использован многочастотный режим преобразования. Максимальная частота – 66 или 123 МГц – задается внешне, при низких нагрузках частота преобразования снижается до 30 МГц. При дальнейшем понижении тока нагрузки преобразователь переходит в экономичный режим, при котором он через определенные интервалы времени выдает на ключи серию из нескольких импульсов. Модули TopSwitch-JX обеспечивают защиту от короткого замыкания, превышения допустимого уровня

Таблица 4. Модули питания TopSwitch и Hiper

Серия	Обозначение	Максимальная мощность, Вт	
		в закрытом корпусе	в вентилируемом корпусе
TopSwitch	TOP264VG/EG	30	62
	TOP265VG/EG	40	81
	TOP266VG/EG	60	119
	TOP267VG/EG	85	137
	TOP268VG/EG	105	148
	TOP269VG/EG	128	162
	TOP270VG/EG	147	190
Hiper-LCS	LCS700HG	4,5–14,5	110
	LCS701HG	–	170
	LCS702HG	–	220
	LCS703HG	–	275
	LCS705HG	–	350
	LCS708HG	–	440
HiperTFS (во всех модулях мощность вспомогательного источника – 20 Вт)	TFS757HG	163	193
	TFS758HG	200	236
	TFS759HG	235	280
	TFS760HG	258	305
	TFS761HG	276	326
	TFS762HG	304	360
	TFS763HG	327	388
	TFS764HG	344	414

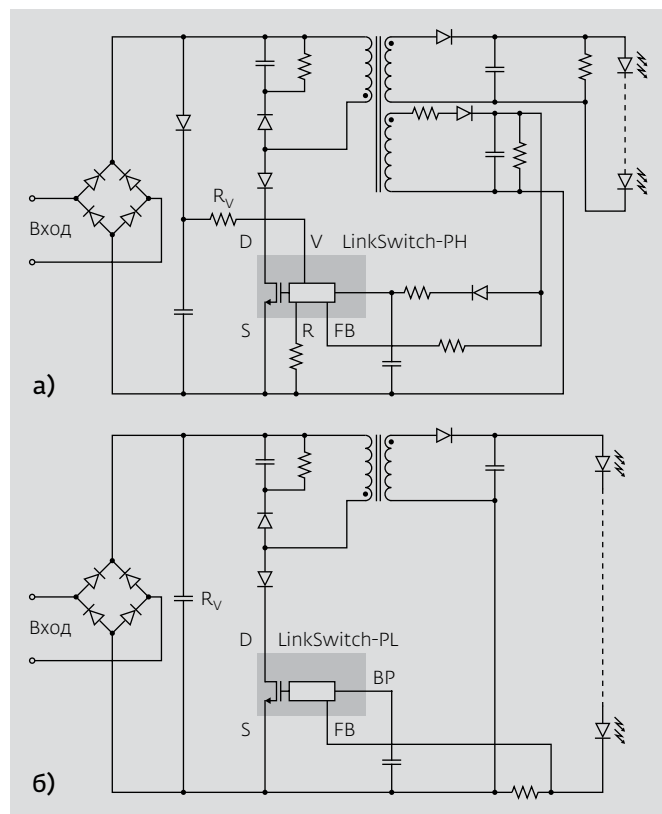


Рис.9. Схемы включения модулей LinkSwitch серий PH (а) и PL (б)



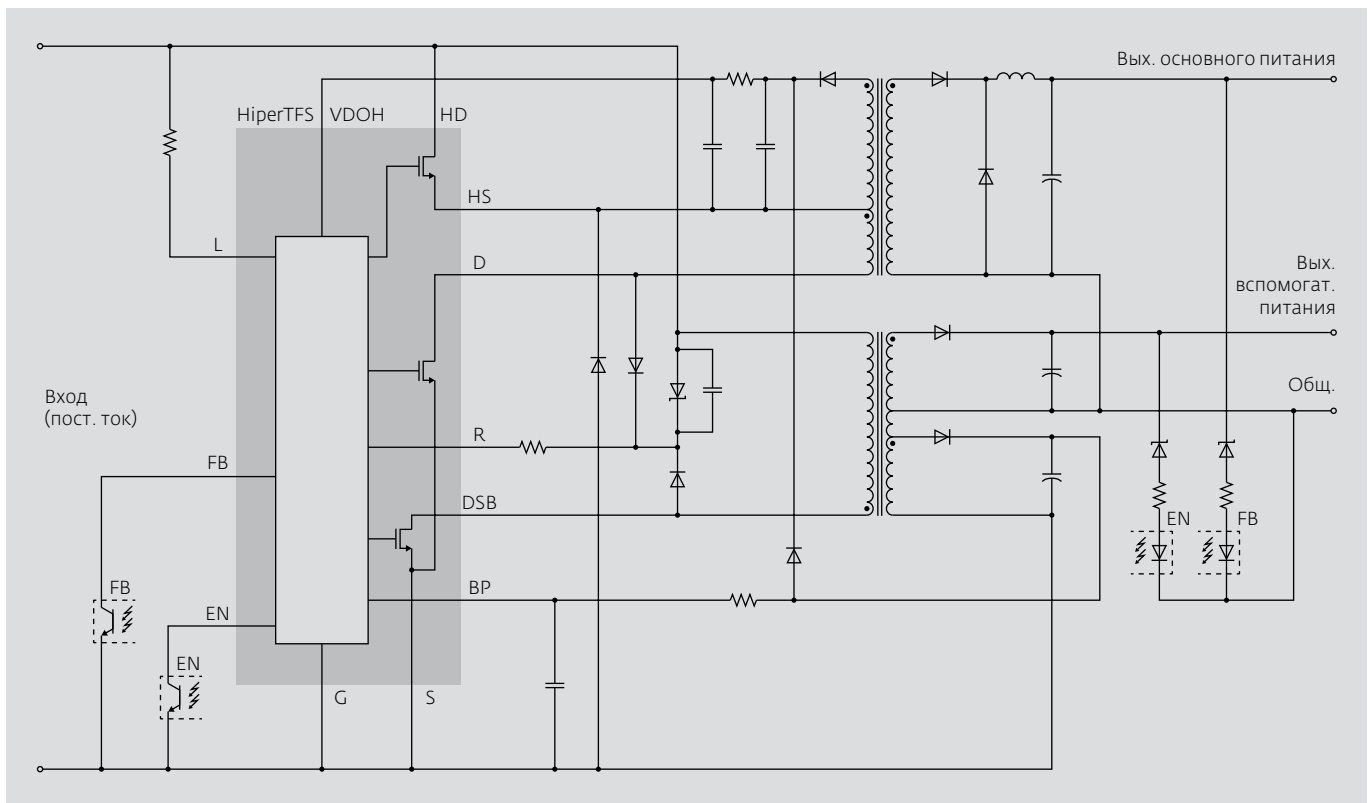


Рис.10. Схема блока питания на микросхеме HiperTFS

тока, перегрузки, и контроль входного напряжения. Модуль выпускается в корпусах eSOP-12 для низкопрофильной конструкции источника, eDIP-12 и eSIP-7C, которые обеспечивают наилучший теплоотвод. Производитель предлагает использовать эти модули в источниках питания настольных компьютеров, ноутбуков, принтеров, мониторов, аудиотехники и прочих устройств средней мощности.

Серия Hiper – самая новая и самая мощная линейка модулей питания компании Power Integrations. Она делится на подсерии, каждая из них имеет свои особенности. Модули HiperLCS представляют собой интегрированное решение для построения источника питания полумостовой LLC-схемы. Высокая частота преобразования (до 1 МГц) позволяет отказаться от громоздких электролитических конденсаторов в выходных цепях. Модуль выпускается в корпусе eSIP-16C, который обеспечивает эффективный теплоотвод. Типовые области применения этих модулей – источники питания мощностью до 1 КВ для бытовой техники, систем освещения и пр.

Микросхемы семейства HiperPLC совмещают в одном корпусе корректор фактора мощности (PFC), ШИМ-контроллер и драйверы транзисторов

MOSFET для источника питания полумостовой LLC-схемы.

Примером высокой степени интеграции могут служить контроллеры питания серии HiperTFS (рис.10). Эти модули объединяют в одном корпусе двухфазный преобразователь мощностью до 530 Вт и маломощный (20 Вт) "дежурный" обратногоходовой преобразователь. Модуль имеет стандартный для продукции этого класса набор функций – "мягкий" старт, защиту от перегрузок и сбоев питания и т.д. Его можно использовать совместно с корректором фактора мощности (PFC) HiperPFS – еще одним интегрированным решением серии Hiper.

\* \* \*

Сегодня на рынке электронных компонентов представлен огромный выбор компонентов для источников питания, и описать все многообразие этих решений в рамках одной статьи невозможно. Подводя итог, можно лишь сказать, что отличные характеристики и минимальная стоимость интегрированных модулей делают их идеальным выбором для построения систем питания самых разных электронных устройств. ●