

Мостовой контроллер со сдвигом фазы

ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИСТЕМ

В статье представлен мостовой контроллер со сдвигом фазы LTC1922-1 компании Analog Devices, который обеспечивает эффективное преобразование энергии с гальванической изоляцией в высоковольтных системах.

Джон Базинет (John Bazinet)

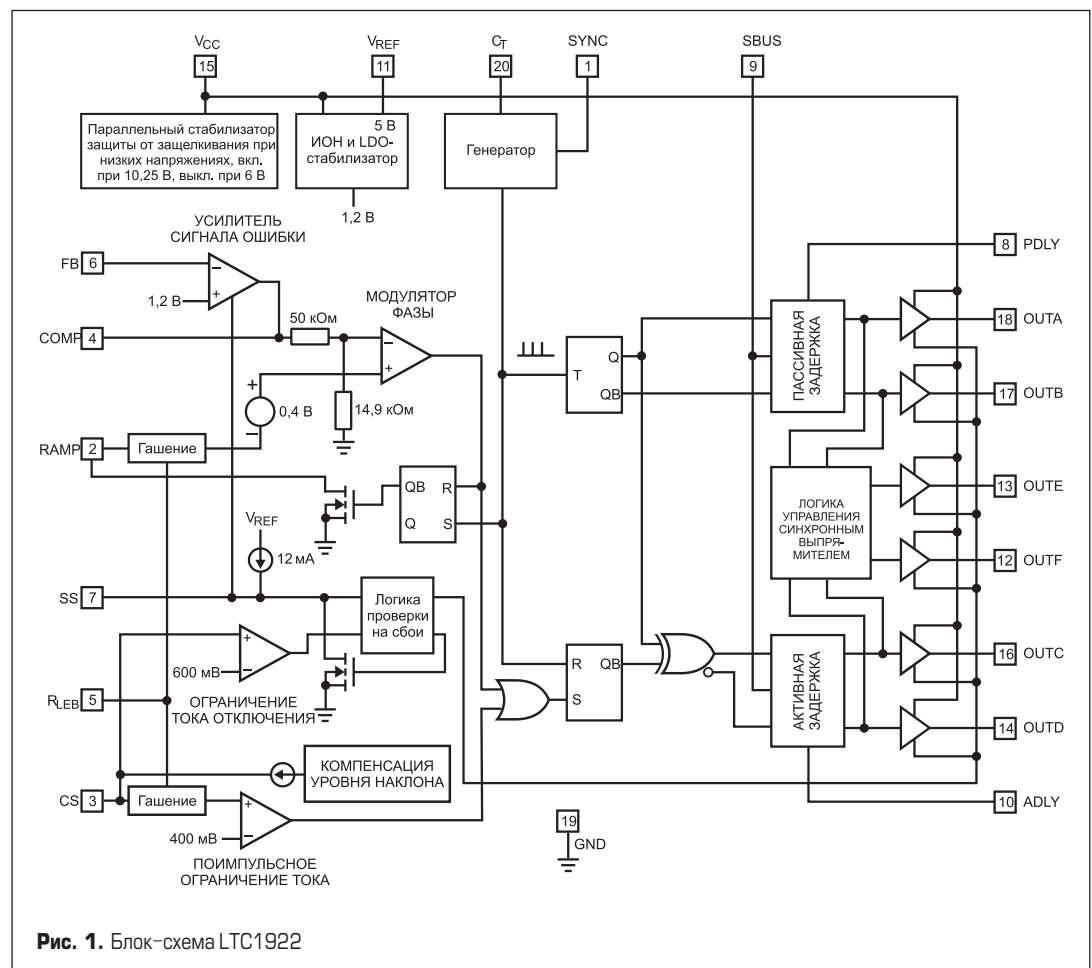
Перевод: Михаил Русских

tau68@rambler.ru

Введение

В распределенных системах питания оборудования для обработки данных и обеспечения связи используются изолированные высоковольтные преобразователи при генерации промежуточных напряжений шины распределения питания и более низких напряжений для процессора, запоминающих устройств и цепей ввода/вывода. Изолирование такого источника питания необходимо для обеспечения защиты

чувствительных цепей, устранения общего контура заземления, а также для соответствия устройства требованиям регулирующих органов. К сожалению, обеспечение изоляции повышает сложность разработки и снижает КПД вследствие различных факторов, в том числе из-за потерь в магнитном сердечнике и потерь в медных проводах обмотки силового трансформатора. Эти проблемы усиливаются по мере увеличения уровня мощности и входного напряжения. Кроме того, паразитная индуктивность рассеяния



может генерировать высоковольтные скачки напряжения на силовых полевых МОП-транзисторах, что приводит к еще большему снижению КПД и созданию нежелательных электромагнитных помех. Повышение КПД этих источников питания позволяет смягчить требование к охлаждению, уменьшить объем, вес и стоимость. Мостовые преобразователи энергии со сдвигом фазы стали популярными благодаря их возможности функционирования при наличии паразитных характеристик силового трансформатора и полевых МОП-транзисторов с целью значительного снижения коммутационных потерь и шума.

Микросхема LTC1922-1 в 20-выводном корпусе SSOP (с литерой G) или PDIP (с литерой N) (рис. 1) представляет собой полнофункциональный контроллер для создания мостового преобразователя со сдвигом фазы. LTC1922-1 имеет широкий рабочий диапазон (фазовый сдвиг 0–99,5%) фазового модулятора, а также содержит блок генерации программируемой (в диапазоне 10 кГц — 1 МГц) фиксированной частоты и режим управления по току с инновационной схемой обеспечения переключений при нулевом напряжении (ZVS) во всех рабочих условиях, благодаря чему осуществляется оптимизация КПД. Встроенная схема управления синхронным выпрямлением с удвоением тока еще больше увеличивает КПД и сокращает пульсации выходного напряжения. Благодаря низким пусковым токам и токам покоя в рабочем режиме нагрузка на внешние цепи смещения существенно снижается, а точный стабилизатор с малым падением напряжения на 5 В обеспечивает ток до 15 мА для питания вспомогательных цепей. Кроме того, в LTC1922-1 легко запрограммировать уровень

ограничения тока, длительность импульса гашения переднего фронта, параметры плавного пуска и цепи защиты от короткого замыкания, что уменьшает сложность схемы и сокращает время разработки.

Что представляет собой мостовой контроллер со сдвигом фазы?

Мостовой преобразователь со сдвигом фазы не обеспечивает резкого переключения силовых полевых МОП-транзисторов, как в случае со стандартными мостовыми или прямоходовыми преобразователями. Вместо этого он использует энергию, накопленную в индуктивности рассеяния силового трансформатора для плавного включения каждого из четырех силовых полевых МОП-транзисторов в составе полного моста. Переключение при нулевом напряжении происходит при включении и выключении внешних силовых полевых МОП-транзисторов, когда их соответствующие напряжения сток-исток равны или близки к нулю, что позволяет устранить мгновенные потери мощности при включении полевых МОП-транзисторов, возникающие из-за C_{OSS} (емкости сток-исток) и разряда паразитной емкости (рис. 2). Это помогает повысить КПД, снизить электромагнитные помехи, возникающие из-за переключений, и устранить необходимость в использовании снабберов в первичной цепи.

Управление сдвигом фазы

На рис. 3 показано, что диагонально расположенные ключи в полном мосту (A-D или B-C) открываются и закрываются одновременно, чтобы подавать энергию на нагрузку (во вторичную цепь). Каждый сигнал управления ключами имеет коэффициент запол-

нения 50% за вычетом небольшой задержки на переключение при нулевом напряжении. Выходные сигналы ключей A и B сдвинуты по фазе на 180° и меняют состояние каждый раз, когда генератор синхронизирует встроенный ШИМ-триггер. Аналогичным образом выходные сигналы ключей C и D сдвинуты по фазе на 180° и изменяют состояние каждый раз, когда сигнал источника пилообразного напряжения RAMP превышает уровень управления ШИМ, определяемый COMP. По мере увеличения уровня управления ШИМ происходит соответствующее расширение перекрываемых областей проводимости (A-D или B-C), иными словами, увеличение фазового сдвига. Максимальная перекрываемая область пары ключей составляет 50% от периода. Поскольку обе пары переключателей проводят ток во время периода работы трансформатора, максимально достижимый коэффициент заполнения составляет 100%. При закрытии ключа соответствующий импульс намагничивания трансформатора и индуктивности рассеяния во время управления фазовым сдвигом позволяет коммутировать напряжения соответствующих плеч моста в сторону нулевого напряжения.

Адаптивная технология DirectSense

В LTC1922-1 принцип переключения при нулевом напряжении (ZVS) реализуется с помощью технологии DirectSense с обратной связью. Оптимальное время задержки ZVS является сложной нелинейной функцией, зависящей от тока нагрузки, емкости сток-исток полевого МОП-транзистора, межобмоточной емкости трансформатора, индуктивности рассеяния и намагничивания, а также выходной индуктивности. Кроме того, в зависимости от различных факторов

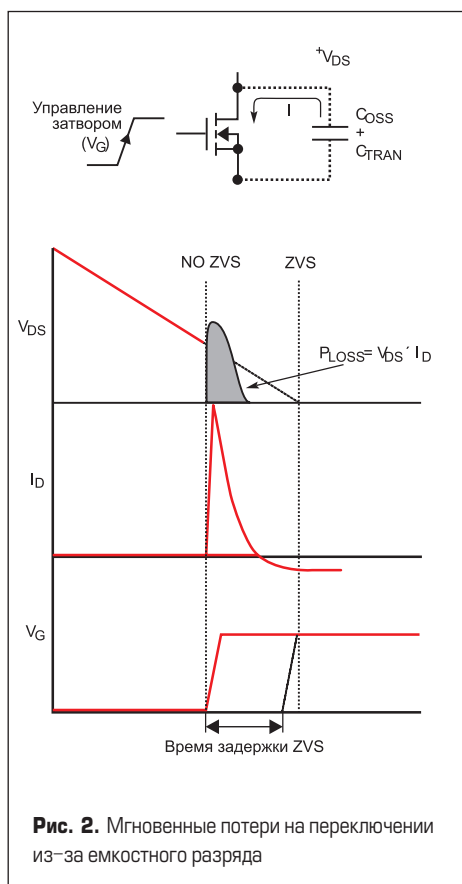


Рис. 2. Мгновенные потери на переключении из-за емкостного разряда

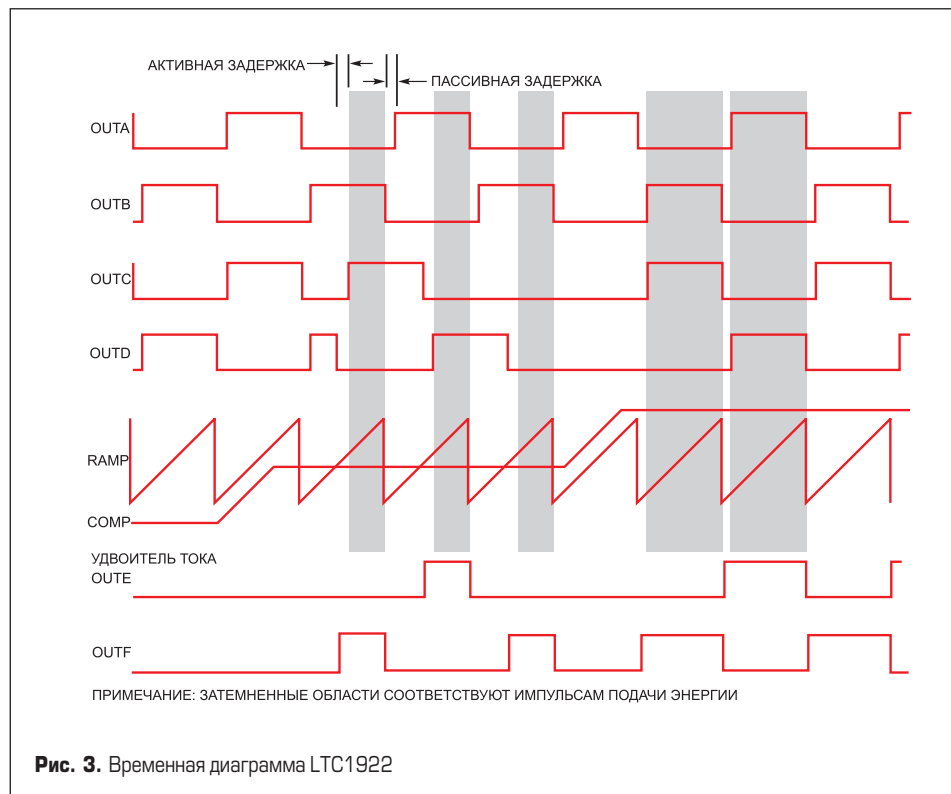


Рис. 3. Временная диаграмма LTC1922

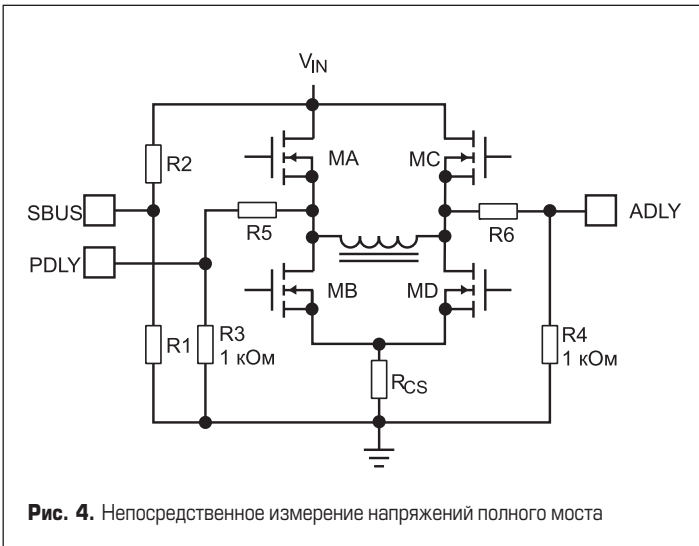


Рис. 4. Непосредственное измерение напряжений полного моста

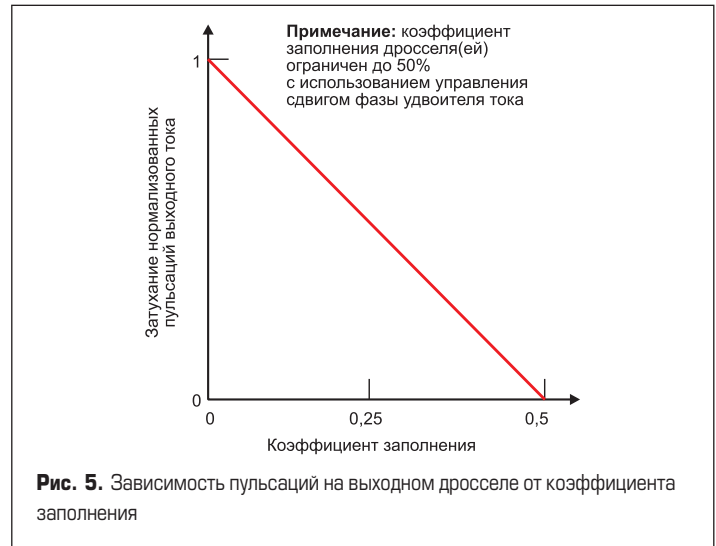


Рис. 5. Зависимость пульсаций на выходном дросселе от коэффициента заполнения

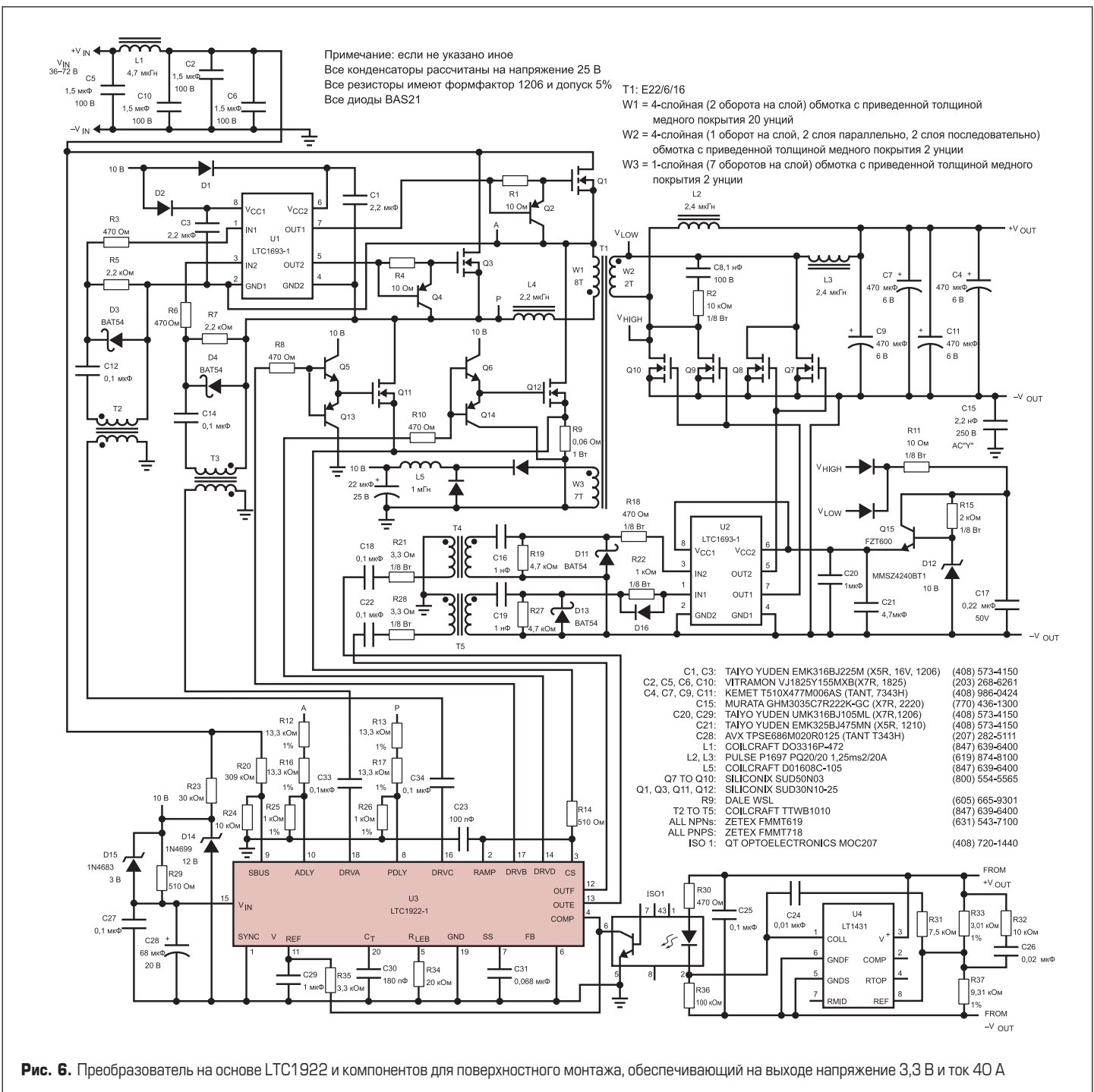


Рис. 6. Преобразователь на основе LTC1922 и компонентов для поверхностного монтажа, обеспечивающий на выходе напряжение 3,3 В и ток 40 А

каждое плечо моста может вести себя по-разному, из-за чего необходимо предусматривать различные задержки. Достижение оптимального времени задержки позволяет предотвратить резкое переключение и/или увеличение проводимости внутреннего диода, увеличить диапазон коэффициента заполнения и минимизировать электромагнитные помехи. Рассмотрим рис. 4. LTC1922 измеряет напряжение на каждом плече моста с использованием делителя напряжения на линиях PDLY и ADLY и измеряет входное напряжение питания с помощью делителя напряжения на линии SBUS. Встроенные высокоскоростные компараторы, логика изменения состояний и ШИМ, а также схемы обеспечения защиты формируют команду соответствующим верхним полевым МОП-транзисторам (MA, MC) на включение, когда возрастающие напряжения на PDLY и ADLY пересекают пороговый уровень, определяемый напряжением на SBUS. Кроме того, каждый нарастающий фронт сигналов на линиях ADLY и PDLY приводит к возникновению определенного тока с точным значением, вытекающего из ADLY и PDLY соответственно. Прохождение этого тока через внешний резистивный делитель приводит к формированию более низкого порогового уровня для использования, когда плечи моста коммутируются на «землю», обеспечивая переключение при нулевом напряжении для нижних полевых МОП-транзисторов (MB, MD). После прохождения заднего фронта сигнала ток сбрасывается. Изменяя напряжение на плечах моста и входное напряжение питания, LTC1922-1 может адаптироваться к любым изменениям тока нагрузки, температуры, допусков компонентов, смещения задержки схемы драйвера или входного напряжения. К преимуществам применения такой адаптивной технологии можно отнести простоту разработки, высокий КПД, увеличенный коэффициент заполнения, малый уровень электромагнитных помех, а также стабильность рабочих характеристик без необходимости проведения тонкой настройки.

Синхронное выпрямление

Синхронное выпрямление способно значительно повысить КПД, особенно при более низких выходных напряжениях и при оптимальной синхронизации переключения. Как показано на рис. 3, LTC1922-1 содержит цепи синхронизации и логики, необходимые для генерации управляющих сигналов для синхронных выпрямителей вторичной цепи. Эти интервалы переключения запрограммированы с целью предотвращения преждевременного включения и запоздалого выключения внешних синхронных выпрямителей, что дает преимущество по сравнению с кремниевыми диодными выпрямителями и барьерными выпрямителями Шоттки и устраняет необходимость в применении внешней логической схемы и дискретной схемы синхронизации.

Полевые МОП-транзисторы синхронного выпрямителя и силовой каскад вторичной цепи трансформатора собраны в схему удвоителя тока с чередованием. В удвоителе тока используются два дросселя, которые поровну распределяют выходной ток и, что более важно, обеспечивают сдвиг по фазе на 180°. Это значительно уменьшает ток пульсаций выходного конденсатора в зависимости от продолжительности включения (рис. 5), что в свою очередь сокращает пульсации напряжения и увеличивает срок службы выходного конденсатора, при этом обеспечивается в два раза больше выходного тока по сравнению с сопоставимыми силовыми каскадами с одним дросселем.

Изолированный преобразователь с входным напряжением 48 В, выходным напряжением 3,3 В и выходным током 40 А

На рис. 6 представлена схема, в которой LTC1922-1 используется для преобразования через изоляционный барьер входного напряжения 36–72 В в стабилизированное выходное напряжение 3,3 В с током 40 А. В этой схеме применяются только компоненты для поверх-

ностного монтажа. Максимальный КПД составляет чуть более 90% и снижается до 85% при нагрузке 40 А (рис. 7). Благодаря высокому КПД устраняется необходимость в использовании принудительного воздушного охлаждения, защитных пластин или громоздких радиаторов. Одна микросхема драйвера LTC1693-1 и миниатюрные сигнальные трансформаторы предназначены для управления затвором двух полевых МОП-транзисторов верхнего плеча. Вторая микросхема LTC1693-1 управляет синхронными выпрямителями во вторичной цепи. Программируемый источник опорного напряжения LT1431 и стандартный оптрон применяются в цепи обратной связи для передачи через изоляционный барьер информации о качестве стабилизации напряжения.

На осциллограммах характеристик первичной цепи (рис. 8) показаны очень четкие переходные процессы, свойственные мостовому преобразователю со сдвигом фазы. Поскольку LTC1922-1 представляет собой контроллер с режимом управления по току, его легко адаптировать к стандартным методам распределения нагрузки, используемым в системах резервного питания. К дополнительным функциям этого преобразователя относятся защита от защелкивания при низких напряжениях, плавный пуск, гашение переднего фронта, ограничение тока и защита от короткого замыкания.

Заключение

Мостовой преобразователь со сдвигом фазы — лучший вариант для осуществления изолированного преобразования высокого напряжения благодаря его высокому КПД и низкому уровню шума. LTC1922-1 представляет собой решение следующего поколения для управления преобразователями такого типа, обеспечивающее оптимальное переключение при нулевом напряжении и имеющее встроенную цепь управления синхронным выпрямителем, а также ряд других функций, предназначенных для высоковольтных систем.

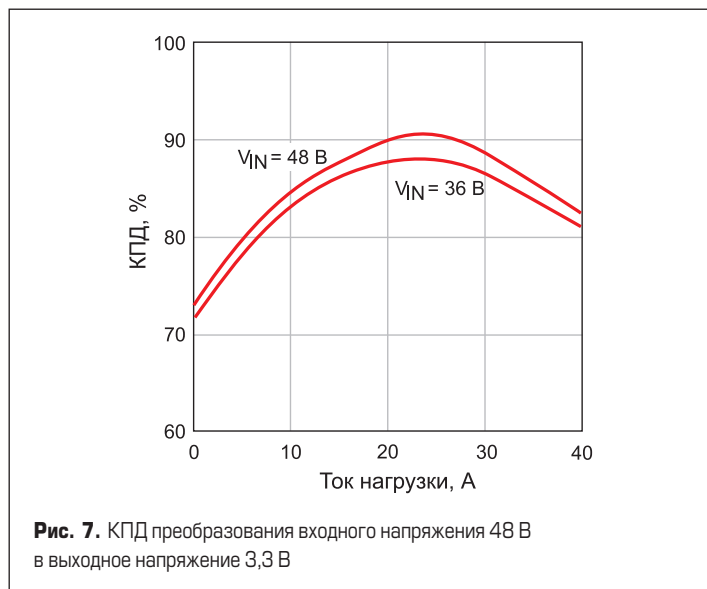


Рис. 7. КПД преобразования входного напряжения 48 В в выходное напряжение 3,3 В

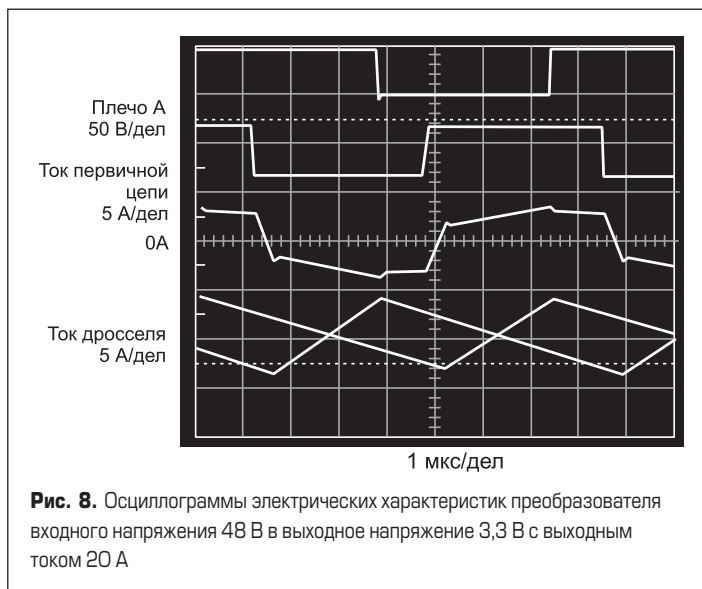


Рис. 8. Осциллограммы электрических характеристик преобразователя входного напряжения 48 В в выходное напряжение 3,3 В с выходным током 20 А