

# Как в половину уменьшить размеры DC/DC-преобразователя промежуточной шины

**Согласно современным тенденциям, сейчас для организации питания используются не мультишинные решения, как это делалось прежде, например, для питания промышленных компьютеров, а архитектура распределенного питания, когда от входного источника питания путем понижения напряжения формируется достаточно мощная промежуточная шина, от которой уже запитываются отдельные маломощные источники, приближенные и обслуживающие конкретные нагрузки. Однако здесь возникает проблема: этот источник питания промежуточной шины — DC/DC-преобразователь — в современных условиях превратился в достаточно громоздкий компонент. Данная статья, переосмысливая подход к его проектированию, дает решение указанной проблемы для ряда современных приложений.**

**Брюс Хауг (Bruce Haug)**

**Перевод и дополнения:  
Владимир Рентюк**

## Суть проблемы

Большинство промежуточных шинных DC/DC-преобразователей (Intermediate Bus Converter, IBC) в архитектуре распределенного питания служат только для гальванической развязки промежуточной шины от входных электрических цепей системы электропитания и преобразования уровня входного напряжения. Обычно это достигается с помощью достаточно громоздкого силового трансформатора. Кроме того, подобные преобразователи, как правило, для выходной фильтрации требуют использования LC-фильтров. Такой тип DC/DC-преобразователя обычно предназначен для организации распределенного питания в аппаратуре передачи данных, телекоммуникационном и медицинском оборудовании. DC/DC-преобразователи подходящего типа доступны от широкого круга поставщиков и обычно выполняются в форм-факторе Brick («кирпич»), в 1/16, 1/8 или 1/4 от полного формата. Типичный промежуточный шинный DC/DC-преобразователь рассчитан на номинальное входное напряжение 48 или 54 В и обеспечивает на выходе более низкое промежуточное напряжение 5–12 В с уровнем выходной мощности от нескольких сотен ватт до нескольких киловатт. Напряжение промежуточной шины используется как входное для организации стабилизированного питания по технологии POI (Point-of-Load — система питания, при которой источник питания максимально приближен к питаемой им нагрузке), оно, в свою очередь, будет предназначено для питания ПЛИС (FPGA), микропроцессоров, специализированных интегральных схем ASIC, устройств ввода/вывода (I/O) и других

низковольтных каскадов или нагрузок с относительно небольшим собственным потреблением.

Однако в целом ряде новых приложений, таких как приложения с непосредственным питанием от входной шины постоянного тока напряжением 48 В, гальваническая изоляция для промежуточной шины не требуется, поскольку вход 48 или 54 В уже изолирован от опасной сети переменного тока. Кроме того, в целом ряде приложений, использующих неизолированное решение промежуточного DC/DC-преобразователя, необходимо устройство с возможностью его горячей замены. В результате неизолированные DC/DC-преобразователи, формирующие напряжения для промежуточной шины в системах распределенного питания, находят применение во все большем числе новых приложений. А современная тенденция такова, что это, в свою очередь, предусматривает значительное снижение габаритов и стоимости с одновременным повышением его эффективности и обеспечением гибкости схемотехнического решения. Типичная архитектура, использующаяся для организации системы распределенного питания, показана на рис. 1.

Теперь, когда в некоторых архитектурах с распределенным питанием для формирования промежуточной шины допускается применение неизолированного преобразования, для его реализации можно рассмотреть возможность использования соответствующего задачам и целям одноканального понижающего DC/DC-преобразователя. Ограничения здесь следующие: такой преобразователь должен работать в диапазоне входного напряжения 36–72 В и выдавать выходное напряжение 5–12 В.

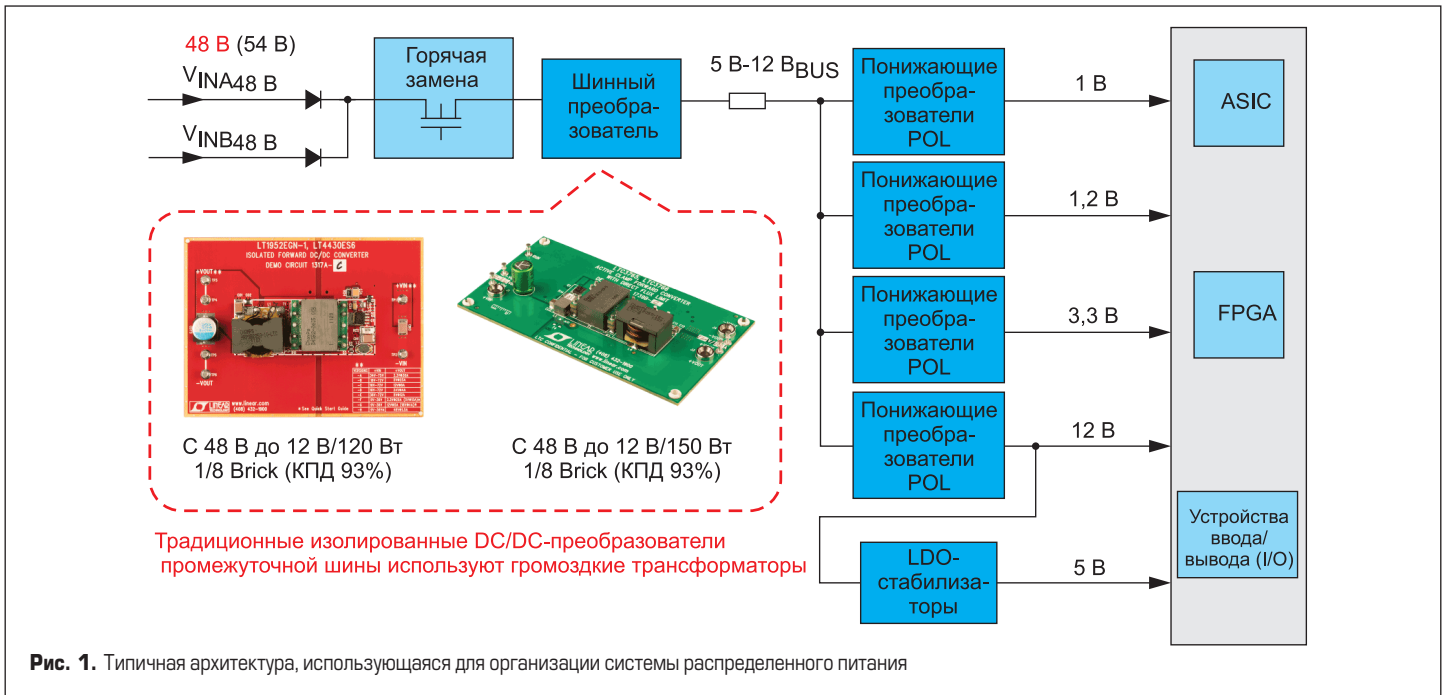


Рис. 1. Типичная архитектура, используемая для организации системы распределенного питания

Для этого может успешно служить понижающий DC/DC-преобразователь, выполненный на базе микросхемы контроллера одноканального синхронного понижающего с малым собственным потреблением преобразователя LTC3891 [1] от компании Analog Devices. Такой преобразователь, при работе на относительно низкой рабочей частоте 150 кГц, может обеспечить КПД около 97%. Использование контроллера LTC3891 на более высоких частотах приводит к снижению эффективности из-за роста коммутационных потерь на МОП-транзисторах ключей, которые имеют место при относительно высокой разнице между входным 48-В и выходным 5–12-В напряжениями.

**Новый подход**

Новый, инновационный подход к контроллерам понижающих DC/DC-преобразователей объединяет синхронный понижающий преобразователь и преобразователь на коммутируемых конденсаторах. Для понижения напряжения на схемах на коммутируемых конденсаторах это позволяет уменьшать входное напряжение в два раза, а уже затем подавать его на синхронный понижающий DC/DC-преобразователь. Такая архитектура уменьшения входного напряжения в два раза и последующего снижения выходного напряжения до желаемого уровня приводит к более высокой эффективности и значительно меньшему размеру конечного решения благодаря возможности его работы с гораздо более высокой рабочей частотой преобразования. Другие преимущества этого решения предусматривают более низкие потери при переключении и снижение напряжения на МОП-транзисторах ключей, что в свою очередь, из-за реализованной мягкой характеристики переключения (при нулевом напряжении), приводит к снижению уровня электромагнитных помех (ЭМП). На рис. 2 показано, как эта

комбинация реализована в гибридном контроллере синхронного понижающего преобразователя.

**Новый высокоэффективный преобразователь**

Микросхема контроллера понижающего DC/DC-преобразователя LTC7821 [2] компании Analog Devices объединяет в себе схему на коммутируемых конденсаторах с традиционным синхронным понижающим преобразователем, что позволяет сократить на 50%

габариты преобразователя постоянного тока по сравнению с традиционными альтернативными решениями. Это улучшение обеспечивается с помощью трехкратного увеличения рабочей частоты преобразования без снижения эффективности (КПД).

По сравнению с другими альтернативными решениями при работе на той же частоте вариант понижающего DC/DC-преобразователя, выполненный на основе гибридного контроллера LTC7821, может обеспечить до 3% более высокую эффективность. Другие преимущества предусма-

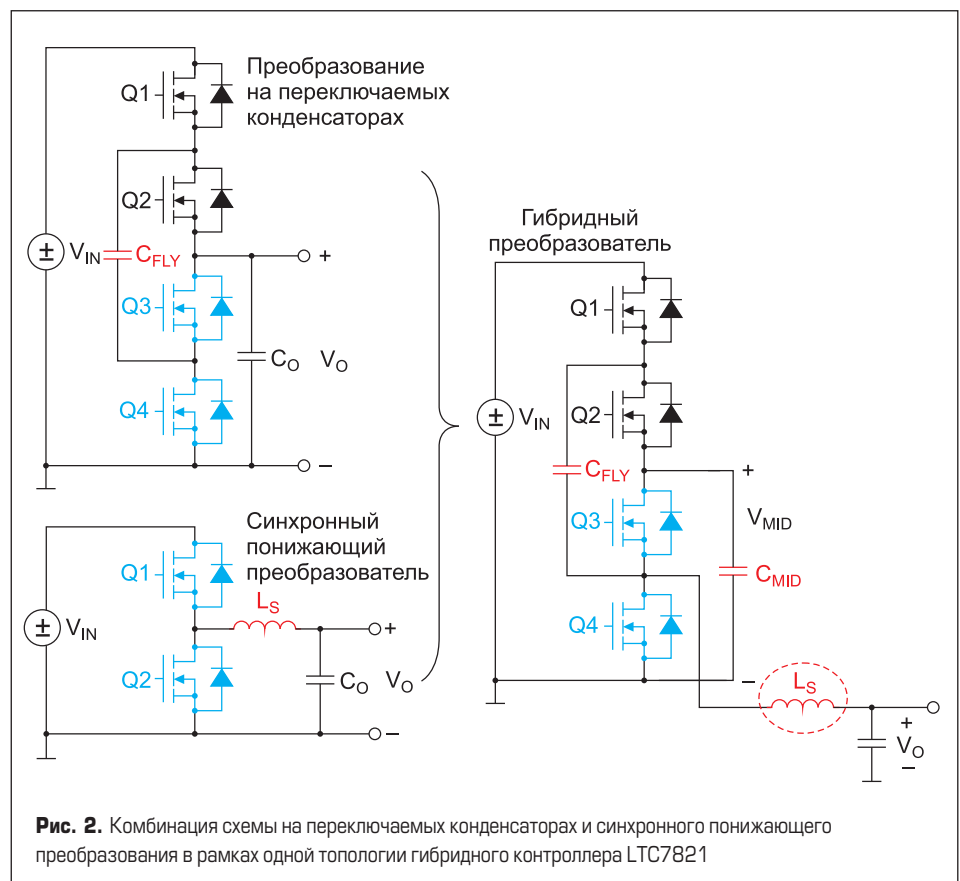


Рис. 2. Комбинация схемы на переключаемых конденсаторах и синхронного понижающего преобразования в рамках одной топологии гибридного контроллера LTC7821

тривают более низкие уровни излучения ЭМП, в первую очередь за счет использования технологии мягкого переключения. Можно сказать, что такой импульсный преобразователь является идеальным выбором для формирования напряжения неизолированных промежуточных шин в архитектуре распределенного питания, которая найдет применение в оборудовании для передачи данных и телекоммуникационном оборудовании, а также в появляющихся автомобильных системах с напряжением входной шины 48 В.

Гибридный контроллер LTC7821 работает в диапазоне входного напряжения 10–72 В (максимально допустимый уровень — 80 В) и в зависимости от выбора внешних компонентов рассчитан на выходные токи в несколько десятков ампер. Внешние МОП-транзисторы переключаются с фиксированной частотой, которая программируется в диапазоне 200 кГц — 1,5 МГц. В типичном приложении LTC7821 с входным напряжением 48 В и выходным 12 В при токе 20 А и рабочей частоте преобразования 500 кГц эффективность решения составляет 97%. Такое же значение КПД может быть достигнуто и в традиционном синхронном понижающем преобразователе, но только на частоте в 1/3 от указанной, что, однако, вынуждает

использовать гораздо большие по габаритам силовые дроссели и компоненты выходного фильтра. Мощные драйверы затворов МОП-транзисторов в одноканальном гибридном контроллере LTC7821 обеспечивают максимальную эффективность и для приложений с более высокой мощностью могут управлять сразу несколькими включенными параллельно МОП-транзисторами. Благодаря своей архитектуре управления в токовом режиме стабилизации несколько микросхем контроллеров LTC7821 способны действовать в параллельной многофазной конфигурации с отличным распределением тока, что приводит к низким пульсациям входного и выходного напряжения, позволяет использовать их в приложениях с еще большей мощностью без риска возникновения локального перегрева отдельных контроллеров.

Гибридный контроллер LTC7821 для надежной работы в широком спектре приложений снабжен развитыми функциями защиты. Кроме того, решения, разработанные на основе контроллера LTC7821, путем предварительной балансировки конденсаторов при запуске исключают высокий пусковой ток, обычно связанный со схемами на коммутируемых конденсаторах. Рассматриваемый контроллер координирует

выходное напряжение, ток, потребляемый нагрузкой, и свою внутреннюю температуру. Для защиты от перегрузки по току используется измерение тока нагрузки на основе резистивного датчика или уровня падения напряжения на силовом дросселе. В случае возникновения той или иной неисправности на выводе FAULT устанавливается высокий уровень напряжения, а встроенный таймер можно задать на соответствующее время перезапуска. Предусмотренный в контроллере вывод EXTV<sub>CC</sub> позволяет LTC7821 питаться от преобразователя с более низким напряжением или от других доступных источников с напряжением до 40 В, уменьшая тем самым собственное рассеивание мощности и повышая эффективность. Дополнительные функциональные возможности включают поддержку стабильности выходного напряжения на уровне не хуже ±1% во всем диапазоне рабочих температур, выход тактового сигнала (вывод CLKOUT) для синхронизации нескольких контроллеров в параллельной многофазной конфигурации, флаг POWER GOOD (вывод PGOOD, устанавливается при достижении выходного напряжения номинального уровня), защиту от короткого замыкания, плавный запуск выходного напряжения, возможность работы от внешнего источника опорного

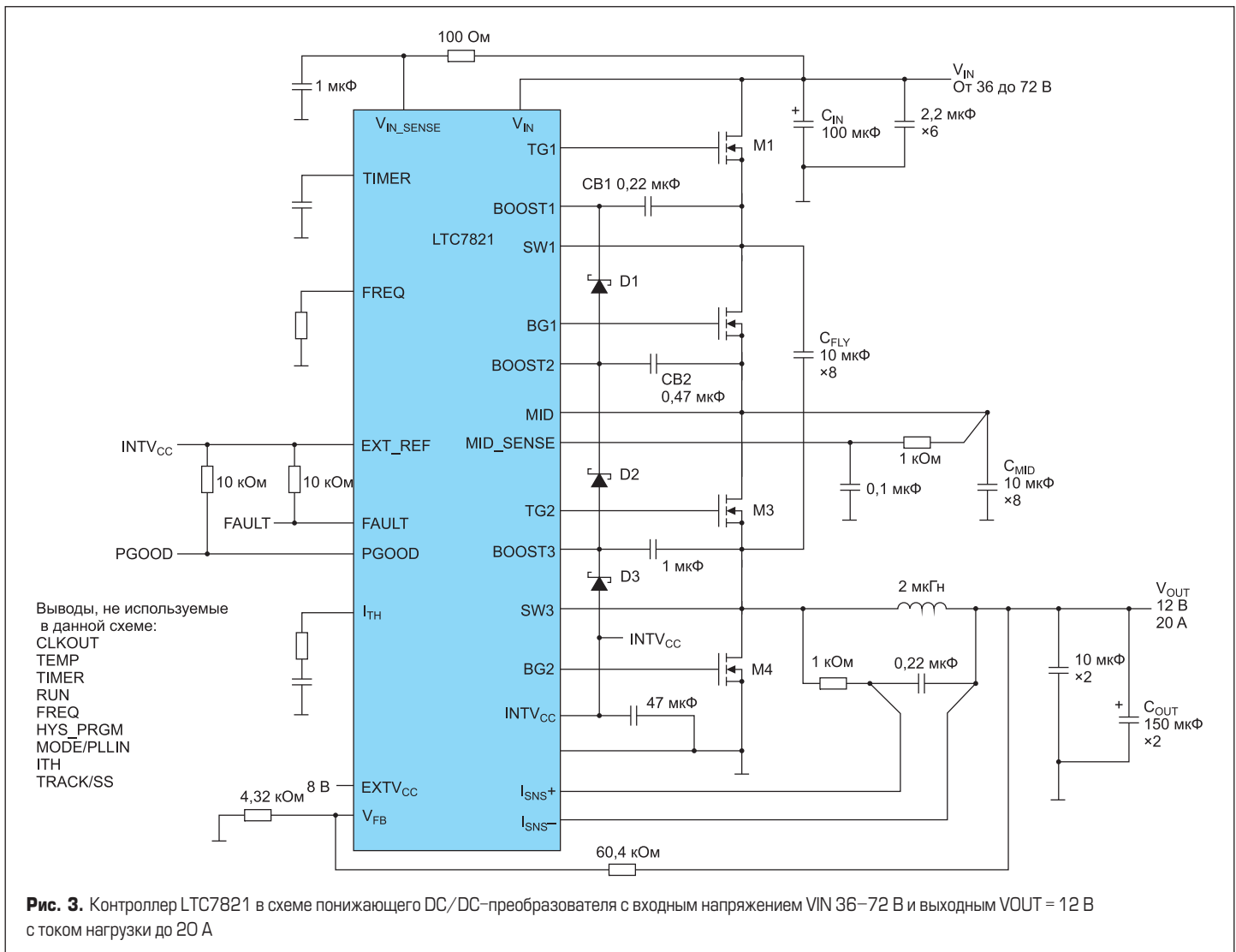


Рис. 3. Контроллер LTC7821 в схеме понижающего DC/DC-преобразователя с входным напряжением V<sub>IN</sub> 36–72 В и выходным V<sub>OUT</sub> = 12 В с током нагрузки до 20 А

напряжения, блокировку от недопустимо низкого напряжения по входу (undervoltage lockout, UVLO) и внутреннюю схему балансировки заряда конденсаторов. Диапазон рабочих температур гибридного контроллера LTC7821  $-40...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Поставляется

контроллер в 32-выводном корпусе QFN размером  $5\times 5\text{ мм}$ . На рис. 3 показана схема LTC7821 при преобразовании входного напряжения в пределах  $36\text{--}72\text{ В}$  в выходное  $12\text{ В}$  с током нагрузки до  $20\text{ А}$ , а блок-схема самого контроллера приведена на рис. 4.

Что касается эффективности, на рис. 5 для сравнения показаны зависимости КПД от тока нагрузки трех разных вариантов преобразователей для одного и того же варианта приложения, то есть преобразования входного напряжения  $48\text{ В}$  в выходное, равное  $12\text{ В}$ ,

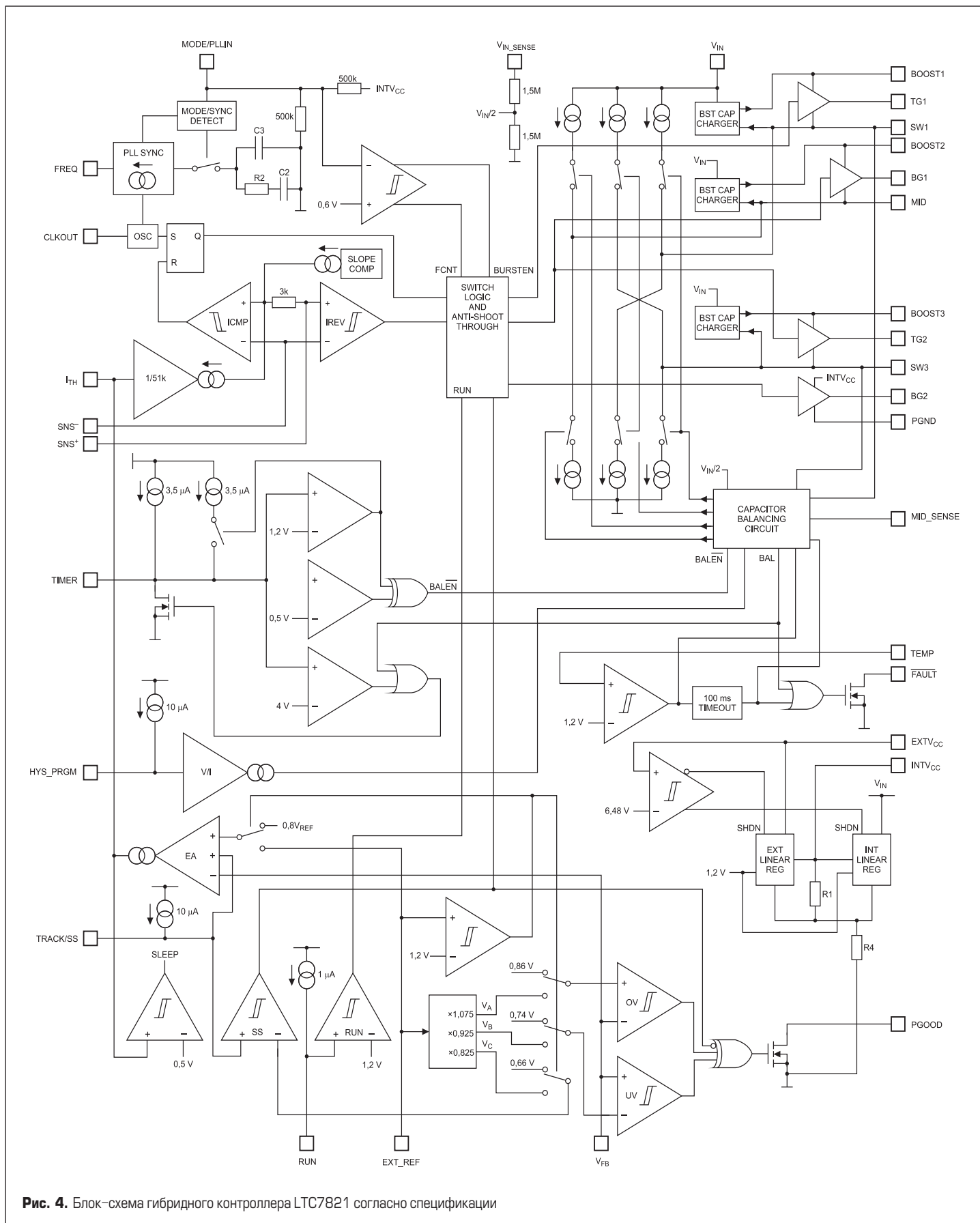


Рис. 4. Блок-схема гибридного контроллера LTC7821 согласно спецификации

с током нагрузки до 20 А. Интересующие нас зависимости представлены следующим образом:

- одноступенчатый преобразователь с рабочей частотой 125 кГц и выходным напряжением драйвера 6 В (синяя кривая);
- одноступенчатый преобразователь с рабочей частотой 200 кГц и выходным напряжением драйвера 9 В (красная кривая);
- гибридный преобразователь на контроллере LTC7821 с рабочей частотой 500 кГц и выходным напряжением драйвера 6 В (зеленая кривая).

Как можно видеть на рис. 5, схема понижающего DC/DC-преобразователя, основанная на гибридном контроллере LTC7821 с рабочей частотой преобразования в три раза выше обычной, демонстрирует ту же эффективность, что и другие решения. Однако именно эта более высокая рабочая частота приводит к 56%-ному сокращению размера силового дросселя и уменьшению на 50% общего размера конечного решения.

### Предбалансировка конденсаторов первой ступени

Преобразователь на переключаемых конденсаторах, как правило, имеет очень высокий пусковой ток при подаче входного напряжения или при включении преобразователя отдельной командой, что может привести к перегрузке входного источника питания. Для того чтобы избежать этого

негативного эффекта, в гибридном контроллере LTC7821 имеется проприетарная схема (CAPACITOR BALANCING CIRCUIT, рис. 4), благодаря которой конденсаторы  $C_{FLY}$  и  $C_{MID}$  (рис. 3) еще до включения ШИМ-сигнала второй ступени преобразователя предварительно заряжаются до уровня напряжения, равного  $V_{IN}/2$ . Таким образом пусковой ток при включении питания минимизируется. В контроллере LTC7821 также имеется программируемое окно срабатывания защиты, что позволяет обеспечить надежную работу силового преобразователя. Эти функции приводят к тому, что выходное напряжение устанавливается с плавным нарастающим пусковым током, как и любой другой традиционный понижающий DC/DC-преобразователь с управлением по току. Дополнительная информация по гибриднему контроллеру понижающего преобразователя LTC7821 приведена в его спецификации (data sheet) [2].

### Организация и особенности петли управления

Как только фаза балансировки конденсатора будет завершена, произойдет включение второй ступени и начнется нормальная работа преобразователя. МОП-транзисторы M1 и M3 активируются от импульсов генератора тактовой частоты OSC, поступающих на вход S RS-триггера, и выключаются, когда компаратор, следящий за током в нагрузке, ICMP, сбрасывает триггер по входу

R. Затем включаются МОП-транзисторы M2 и M4. Пиковый ток силового дросселя отслеживается триггером Шмитта ICMP, который сбрасывает RS-триггер. Триггер Шмитта управляется по выводу  $I_{TH}$  в свою очередь, являющемуся выходом усилителя ошибки EA. Вывод  $V_{FB}$  принимает сигнал обратной связи по напряжению, который сравнивается с внутренним опорным напряжением через EA. Когда ток нагрузки возрастает, он вызывает некоторое снижение уровня  $V_{FB}$  по отношению к опорным 0,8 В ( $V_{REF}$ ), что, в свою очередь, приводит к увеличению напряжения на выводе  $I_{TH}$ . Увеличение происходит до тех пор, пока средний ток силового дросселя не будет соответствовать новому току нагрузки. После того как МОП-транзисторы M1 и M3 отключаются, МОП-транзисторы M2 и M4 включаются до начала следующего цикла. Во время переключения M1/M3 и M2/M4 конденсатор  $C_{FLY}$  поочередно подключается последовательно или параллельно  $C_{MID}$ . Напряжение в точке MID будет равно примерно  $V_{IN}/2$ . Таким образом, этот преобразователь работает только как обычный понижающий преобразователь со стабилизацией по току в режиме реального времени с быстрым и точным ограничением тока по рабочему циклу и возможностью совместного использования нескольких преобразователей в многофазном включении.

### Заключение

Сочетание понижения напряжения с использованием преобразователя на коммутируемых конденсаторах с уменьшением напряжения на входе традиционного синхронного понижающего преобразователя на основе индуктивности и создания таким образом гибридного решения до 50% сокращает размер конечного решения понижающего DC/DC-преобразователя по сравнению с традиционными альтернативными конструкциями. Это улучшение обеспечивается благодаря возможности втрое увеличить частоту преобразования без снижения эффективности (КПД). В качестве альтернативы существующим решениям предлагаемый преобразователь может обеспечить КПД выше на 3%. Эта новая гибридная архитектура DC/DC-преобразователя также обладает целым рядом преимуществ, среди которых мягкое переключение для снижения уровня ЭМП и нагрузки на ключи во время переключения. В предлагаемой архитектуре организации промежуточной шины в системе распределенного питания, в случае, когда требуется более высокая мощность, такие преобразователи могут быть легко включены параллельно с обеспечением необходимого токового баланса между ними.

### Литература

1. [www.analog.com/en/products/ltc3891.html#product-overview](http://www.analog.com/en/products/ltc3891.html#product-overview)
2. [www.analog.com/en/products/ltc7821.html](http://www.analog.com/en/products/ltc7821.html)

