

# ИННОВАЦИОННЫЕ СХЕМЫ ПОДАЧИ ПИТАНИЯ

**ХЕНРИК ДАБРОВСКИ (HENRYK DABROWSKI)**, вице-президент отдела продаж, Vicor Corporation

*Многим приложениям с высокими уровнями потребляемой мощности необходимы системы подачи питания (PDN), рабочее напряжение которых превышает традиционные 12 В. Такие приложения как высокопроизводительные вычисления, средства связи, сетевая инфраструктура, автономные транспортные средства побуждают разработчиков систем питания искать новые архитектуры и технологии, обеспечивающие высокую эффективность и плотность тока преобразователей, локализованных к нагрузке. В статье рассматривается инновационная архитектура питания от Vicor, отвечающая самым современным требованиям.*

Каждый электронный блок оборудования или системы оснащен схемой подачи питания (PDN), состоящей из кабелей, шин, разъемов, медных слоев питания печатной платы, AC/DC- и DC/DC-преобразователей, а также стабилизаторов. Для управления характеристиками PDN-схемы используется распределение напряжения постоянного или переменного тока, соответствующие уровни напряжения и тока, а также определяется, когда и сколько раз она нуждается в преобразовании напряжения и его стабилизации.

PDN-схемы проходили отраслевую стандартизацию в течение многих лет: например, в оборонной и авиакосмической индустрии используются PDN-схемы на 270 и 28 В, в приложениях для коммуникационной инфраструктуры – отрицательное напряжение 48 В, а в автомобильных системах – 12 В (см. рис. 1). Это значение напряжения впоследствии стало стандартом для компьютерных серверов и промышленных приложений. На основе стандартных PDN-схем появились рынки объемом в миллиарды долларов.

По мере перехода отраслей на новые PDN-схемы, рассчитанные на напряжение 48, 400 и 800 В, открывается много новых возможностей по существенному повышению эффективности благодаря использованию нетрадиционных архитектур и технологий подачи питания.

Корпоративные и высокопроизводительные вычисления, средства связи и сетевая инфраструктура, автономные транспортные средства и другие транспортные приложения – лишь небольшая часть примеров быстро развивающихся отраслей, где требуется питание большей мощности. Проектирование высокопроизводительных систем на основе 12-В PDN-схемами затрудняется в случае приложений с постоянно растущим числом нагрузок и их величиной

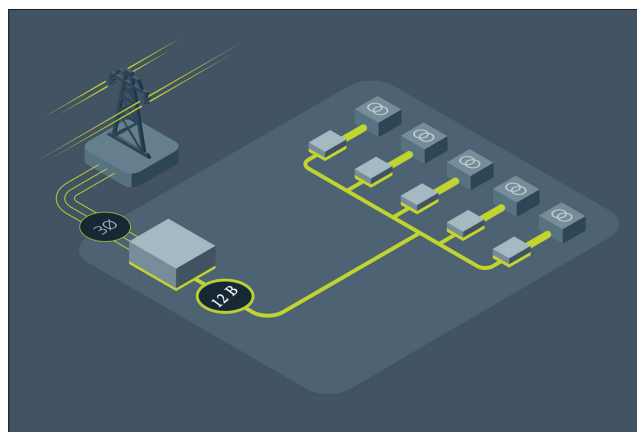


Рис. 1. 3-фазная схема подачи питания Vicor на 12 В

мощности (см. рис. 2). Увеличение рабочего напряжения PDN сопряжено со многими проблемами. Имеются веские причины, препятствующие переходу на более высокие уровни электропитания, что обусловлено продолжительной и успешной историей использования 12-В приложений, а также соответствующей огромной экосистемой, созданной за многие десятилетия.

## ПЕРЕХОД НА 48-В СИСТЕМЫ

В телекоммуникационной отрасли 48-В PDN-схемы применялись многие десятилетия. На то имеется несколько причин. 1. Это очень низкое безопасное напряжение (SELV), использование которого сопряжено с малым риском поражения электрическим током.



Рис. 2. Силовые модули Vicor с максимальной эффективностью и плотностью мощности

- Ток проходит по небольшому стандартному проводу на большие расстояния, вызывая минимальное падение напряжения.
- Требование к приложениям постоянно быть в рабочем состоянии заставило отрасль использовать большие свинцово-кислотные последовательно соединенные батарейные блоки, обеспечивающие напряжение питания 48 В.

После того как сетевая инфраструктура усложнилась с появлением интернета, ноутбуков и мобильных телефонов, стали использоваться 48-В PDN-схемы для питания множества новых и сложных нагрузок – массивов сетевых процессоров, запоминающих устройств и систем контроля. Решение задачи по обеспечению питания стало затруднительным из-за того, что большая часть имеющихся технологий базировалась на использовании напряжения питания величиной 12 В, полупроводниковых преобразователей и стабилизаторов, оптимизированных под это напряжение.

Для решения проблемы по преобразованию –48 В в 12 В (см. рис. 3) начала применяться промежуточная шинная архитектура (Intermediate Bus Architecture, IBA), де-факто ставшая стандартом в инфраструктуре средств связи и сетей. Несколько компаний разработало промежуточные шинные преобразователи (Intermediate Bus Converter, IBC), представляющие собой изолированные нерегулируемые конвертеры с постоянным коэффициентом преобразования (1/4). Эти бескорпусные устройства, отвечающие требованиям стандартам DOSA и POLA по расположению выводов, обеспечивают питание множества нагрузок.

Архитектуре IBA SELV не требовалась гальваническая изоляция, т. к. положительные выводы батареи были заземлены для предотвращения электрохимической коррозии, что обеспечивало отрицательное напряжение 48 В. При использовании изолированного шинного преобразователя с постоянным коэффициентом в качестве DC/DC-трансформатора отрицательное входное напряжение 48 В преобразуется в выходное напряжение +12 В, которое подается на установленные далее PoL-стабилизаторы.

Современные приложения, к которым, в частности, относится искусственный интеллект (ИИ) в центрах обработки данных (ЦОД), требуют от PDN-схем перехода с рабочего напряжения 12 В на 48 В и использования новых архитектур вместо IBA. Значительный прирост мощности процессоров и соответствующих серверных стоек превысил возможности 12-В схем подачи питания и промежуточных архитектур.

Законодательные акты и новые стандарты для автомобильного рынка, требующие сократить выбросы углекислого газа в атмосферу, привели к поиску более совершенных способов электрификации транспорта. В результате были разработаны 48-В батареи для новых мягких гибридных и информационно-развлекательных систем, а также для повышения безопасности.

### PDN-СХЕМЫ С БОЛЕЕ ВЫСОКИМ РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

С ужесточением требований к системам питания появились PDN-схемы с рабочими напряжениями 380 и 48 В. Однако они являются более сложными, поскольку во многих отраслях по-прежнему используется локализованная к нагрузке 12-В PDN-инфраструктура. Кроме того, в новых PDN-схемах применяются новые высоковольтные объединенные источники питания для полностью электрических автомобилей.

В новых системах и приложениях подача питания осуществляется в три этапа. К ним относится:

- преобразование напряжения в 48 В;

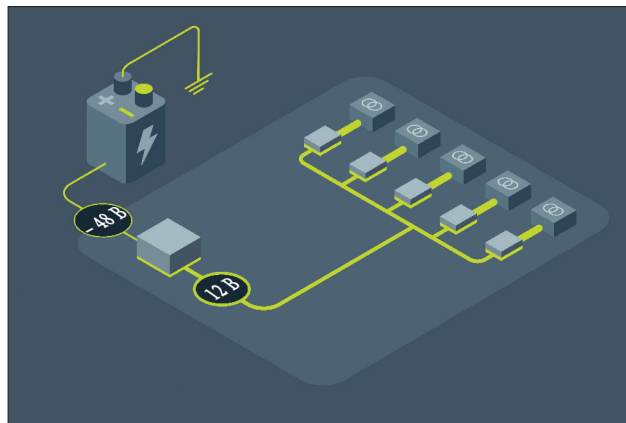


Рис. 3. PDN-схема Vicor на –48 В

- подача 48 В на промежуточную шину, последующее преобразование и иногда – стабилизация до 12 В;
- локализованная к нагрузке подача питания с преобразованием напряжения с 12 и 48 В и последующей стабилизацией.

### ПОДАЧА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Инновационное преобразование большого количества энергии, подающейся на промежуточную PDN-схему с рабочим напряжением 48 В, позволяет:

- повысить плотность мощности;
- использовать модульный принцип, обеспечивающий избыточность и масштабируемость;
- применить усовершенствованные методы охлаждения благодаря планарному корпусу с адаптируемым тепловым режимом;
- использовать высокоэффективные конвертеры с постоянным коэффициентом преобразования и возложить задачу по стабилизации напряжения на компоненты, установленные далее по схеме.

Поскольку уровни потребляемой мощности растут, проектирование системы подачи питания усложняется. Основное внимание в большинстве приложений уделяется вопросам сокращения размеров, веса преобразователя мощности и его охлаждению из-за более высоких потерь энергии. Уменьшение массогабаритных показателей позволяет увеличить КПД преобразователя и обеспечить эффективный теплоотвод с помощью вентилятора.

Однако в большинстве случаев требуется более высокая плотность мощности. Разработчики систем питания должны учитывать преимущества использования силовых модулей для создания больших преобразователей, не полагаясь на дискретные компоненты. Силовые модули, применяемые

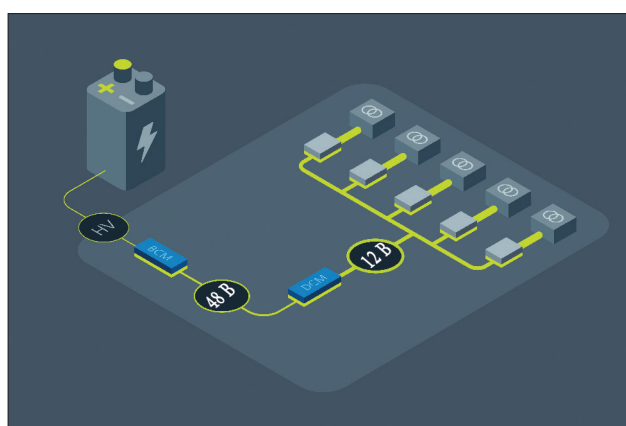


Рис. 4. Преобразование высокого напряжения в 48 В

в сочетании с инновационными архитектурами, топологиями, системами контроля и корпусами, позволяют найти новые способы по улучшению характеристик мощной PDN-схемы.

Мощному источнику напряжения переменного или высокого постоянного напряжения (см. рис. 4) требуется гальваническая изоляция. Изолирующий каскад вносит свой вклад в потерю мощности любого преобразователя, но стабилизация не понадобится, если PDN-схема с промежуточной шиной стабилизирует напряжение PoL-каскада при преобразовании 48 В в 12 В. При этом следует учитывать следующие факторы.

- 1) Диапазоны входного напряжения источника питания, последующих преобразователей и стабилизаторов.
- 2) В случае с трехфазным источником питания переменного тока системе требуется корректор коэффициента мощности (ККМ).

Поскольку центрам обработки данных и экзафлопсным вычислительным системам требуется максимальная производительность для обработки данных в ограниченном пространстве, необходимо обеспечить высокую плотность размещения компонентов и воспользоваться передовыми методами охлаждения. В некоторых случаях применяется полное охлаждение погружением, когда весь сервер установлен в ванну с фторинертом.

Известны и другие технологии охлаждения высокопроизводительных вычислительных систем с использованием тепловых трубок или холодных пластин. В этих приложениях для преобразования энергии требуются низкопрофильные планарные корпуса и стабилизирующие каскады.

### ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ШИНЫ И ЛОКАЛИЗОВАННАЯ К НАГРУЗКЕ ПОДАЧА ПИТАНИЯ

Перечислим возможности, позволяющие усовершенствовать 48-В схемы подачи питания с промежуточными шинами:

- 1) использование PDN-схем с неизолированными шинными преобразователями с постоянным коэффициентом для преобразования 48 В в 12 В;

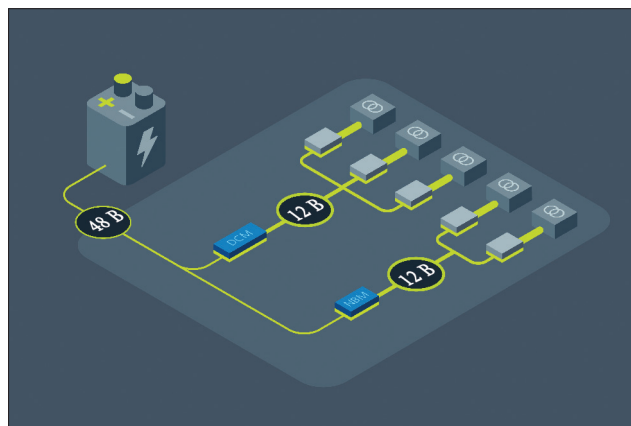


Рис. 5. Гальваническая изоляция между цепями с напряжениями 48 и 12 В



Рис. 6. DC/DC-преобразование и стабилизация

- 2) использование стабилизированных преобразователей в силовых модулях с высокой плотностью размещения компонентов;
- 3) применение факторизованной архитектуры питания (Factorized Power Architecture, FPA), производительность которой выше, чем у IBA.

Переход с 12-В PDN-схемы с промежуточной шиной на 48-В схему подачи питания достаточно сложен, но он обеспечивает множество преимуществ. Повышение напряжения питания до максимального значения 48 В и его подача PoL-стабилизаторам, установленным рядом с преобразователем, позволяет уменьшить длину кабелей, разъемы, медный силовой слой печатной платы, вес и стоимость решения (см. рис. 5). Поскольку из-за ограниченного пространства часто возникают проблемы вблизи нагрузки, от преобразователя требуется более высокая плотность мощности и КПД. Неизолированный шинный преобразователь с постоянным коэффициентом является наилучшим выбором, пока PoL-стабилизаторы справляются с перепадами напряжения на своих входах. Эта способность определяется отношением диапазона входного напряжения на шинном преобразователе к коэффициенту  $K (V_{вх}/K = V_{вых})$ . Мощный силовой преобразователь с достаточно большим запасом регулирования обладает несомненными преимуществами.

В тех приложениях, где у мощного силового преобразователя или источника питания (например, 48-В батареи) – широкий диапазон выходного напряжения, могут потребоваться регулируемые DC/DC-преобразователи в зависимости от указанного в спецификации входного напряжения PoL-стабилизатора. Добавление функции регулирования в преобразовательный каскад 48/12 В уменьшает КПД преобразователя на 2–4% в зависимости от его топологии.

Новая архитектура FPA компании Vicor (см. рис. 6) позволяет значительно улучшить работоспособность PDN-схемы и повысить плотность тока на участках, локализованных к нагрузке. В этой архитектуре преобразователь нового типа, или токовый умножитель с высоким КПД и плотностью мощности, напрямую обеспечивающий преобразование 48 В в напряжение нагрузки, установлен в непосредственной близости к нагрузке. В силовых приложениях это очень эффективное решение, которое уменьшает импеданс PDN между преобразователем и нагрузкой, являющийся источником очень больших потерь мощности. Кроме того, этот импеданс влияет на скорость изменения тока  $di/dt$  в переходных процессах.

Поскольку токовый умножитель является преобразователем с постоянным коэффициентом, в архитектуре FPA используется предваряющий каскад стабилизатора. Для максимального повышения эффективности и плотности при минимальных потерях мощности модуль стабилизатора работает и с входным, и с выходным напряжениями до 48 В; при этом коэффициент токового умножителя выбирается так, чтобы на нагрузку поступало требуемое выходное напряжение.

Итак, переход на использование схем подачи электропитания с более высоким рабочим напряжением облегчает решение проблем, связанных с повышением мощности в приложениях для разных сегментов рынка, но усложняет проектирование этих приложений. Разработчики должны по достоинству оценить новые топологии и архитектуры, предлагаемые производителями, чтобы в полной мере воспользоваться преимуществами значительного повышения эффективности систем. Для решения новых задач требуются новое мышление, новые идеи и методы. Своевременная и точная реакция на изменившиеся требования даст конкурентные преимущества. ◀