

# Технология ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ для использования в электроснабжении

Клифф Скапеллати  
и Пол Треглия

## Общие сведения

Всю совокупность технологий, так или иначе относящихся к электроснабжению, можно назвать *технологиями преобразования энергии*. Технологии преобразования энергии предлагают нам множество типов источников питания и устройств для многообразия различных типов применения. Высоковольтные источники питания — это одна из многих узкоспециализированных ниш, существующих в этой широкой технологической среде. Оборудование подачи энергии (ОПЭ) — это еще более узкая специализация технологий высоковольтного преобразования энергии. Исторически так сложилось, по ряду причин, что ОПЭ разрабатывалось и производилось изготовителями подводного коммуникационного оборудования. Это было обусловлено критической важностью прикладных знаний, необходимых для разработки ОПЭ, и отсутствием этих знаний в более широких секторах технологии высоковольтных источников питания. Однако с быстрым развитием технологии преобразования энергии разработчику систем сложно выделять ресурсы, необходимые для поддержания современного уровня технологий.



## Привлечение подрядчиков как ключ к развитию технологий ОПЭ

В начале 1990-х годов началась стратегия привлечения подрядчиков для «неосновных технологий». Многие крупные компании, изготавливающие сложные системы, передавали разработку компонентов подсистем сторонним компаниям, специализирующимся на применимой технологии. Эта стратегия в то время использовалась компанией AT&T (текущее название Тусо Telecommunications) для нового недорогого проекта ОПЭ. Благодаря партнерству с производителем, специализирующимся на производстве высоковольтных источников питания, в сочетании с прикладными знаниями AT&T, для требований к ОПЭ были реализованы уникальные решения. (На рис. 1 показана подсистема преобразователя, разработанная для AT&T в начале 90-х годов).

На сегодняшний день подобный тип партнерства является самым перспективным для технологий ОПЭ. Основные преимущества заключаются в меньших размерах, более низкой цене, более низкой стоимости владения и более высокой надежности системы.

## Основы технологии высокого напряжения

**Начнем с предупреждения: потенциал высокого напряжения, используемый в любом ОПЭ, является смертельным! Только квалифицированные операторы и обслуживающий персонал должны использовать или иметь доступ к любому высоковольтному оборудованию.**



Рис. 1

Высоковольтный источник питания, используемый в ОПЭ, часто называют преобразователем. Это достаточно точное определение, потому что он преобразует одну форму постоянного тока (-48 В) в другую форму постоянного тока (постоянный ток высокого напряжения). В самом преобразователе есть несколько основных конструктивных блоков:

**Обработка входной мощности.** Обеспечивает фильтрацию входного питания и защиту цепей. В сфере телекоммуникаций часто используются аккумуляторные источники питания с двумя входами (BAT A и BAT B). Таким образом, обеспечиваются резервные источники входного питания для каждого устройства.

**Инвертор.** В любом современном преобразователе есть инвертор. Инвертор «инвертирует» источник питания постоянного тока в высокочастотный источник переменного тока. Такое решение позволяет использовать компактные магнитные узлы с высокими характеристиками, такими как сверхнизкая выходная пульсация и быстрое регулирование выходной мощ-

ности. В инверторе используются высокоскоростные транзисторы для «переключения» постоянного тока в сигнал переменного тока. (Так как источники электропитания в телекоммуникациях обычно питаются от 48 вольт, МОП-транзисторы представляют собой лучшую используемую технологию транзисторов).

Высоковольтный повышающий трансформатор. Высокочастотный источник питания переменного тока подключается к трансформатору с высоким коэффициентом повышения. В ОПЭ вторичная обмотка трансформатора должна быть изолирована от напряжений, равных или превышающих номинальное напряжение на выходе ОПЭ (обычно 2х, для обеспечения высокой надежности).

Выходной выпрямитель. Поскольку на выходе требуется источник постоянного тока, необходимо снова инвертировать переменный ток обратно в постоянный. Эта задача решается посредством высокоскоростных высоковольтных выпрямительных диодов. (Описанные этапы преобразования туда-сюда могут показаться глупым процессом для неспециалиста в сфере электропитания, но на самом деле это оптимальный способ достичь конечной цели).

Управление. Все конструктивные блоки преобразователя контролируются и управляются электронной схемой управления. В современных преобразователях в этих схемах используются усовершенствованные цифровые сигнальные процессоры (ЦСП) и программируемые пользователем матрицы логических элементов (FPGA). В ОПЭ схемы управления сообщаются с системным контроллером ОПЭ для управления и контроля.

Преобразователь устанавливается в легко заменяемый самоподключающийся блок, называемый «сменный блок» (FRU). Большая часть сменных блоков в ОПЭ оснащена самоподключающимися разъемами, что позволяет осуществлять быструю замену в случае отказа.

В ОПЭ часто используется несколько преобразователей для обеспечения модульности и соответствия различным конфигурациям выходного напряжения, а также для резервирования в случае, если какой-либо отдельный преобразователь выходит из строя.

### Уникальные требования к ОПЭ

На практике преобразователь фактически является наиболее часто используемым компонентом в ОПЭ. (Поэтому понятно, почему преобразовательная часть ОПЭ стала первой частью системы ОПЭ, переданной на подряд). Помимо преобразователя, ОПЭ имеет много других функциональных блоков, обеспечивающих перечисленные ниже функции.

Безопасность. Несмотря на некоторую неосознанность, безопасность является основным фактором при разработке ОПЭ. Поскольку кабель может питаться с любого конца (так называемое двухстороннее питание), существует возможность наличия высокого напряжения, даже если локальный ОПЭ выключен. В ОПЭ устанавливаются серьезные системы безопасности. Обычно они включают в себя высокоуровневые резервированные измерительные системы, отказоустойчивые коммутационные устройства, защитные барьеры, ключевые блокировки и системы доступа.

Надежность. Поскольку простои обходятся дорого, требования к высокой надежности в телекоммуникационном оборудовании, как правило, обязательны, и ОПЭ не является исключением. Высокая надежность в ОПЭ достигается за счет сочетания избыточности, применения компонентов с увеличенными против требуемых номинальными пределами и увеличения расстояния между всеми критическими компонентами. Предельные значения проверяются по строгому плану проверки для обеспечения ожидаемой работы оборудования в наихудших условиях. Во всех высоковольтных блоках внутри ОПЭ должна быть обеспечена защита от коронного разряда, что проверяется в каждом построенном блоке. Поддержание низкого уровня коронирования в высоковольтных блоках является сложной задачей. Она решается посредством узкоспециализированных методов, используемых в высоковольтной промышленности.

Распределение и мониторинг постоянного тока. Наличие автоматического выключателя защиты для каждого сменного блока и распределения постоянного тока для всего ОПЭ.

Локальный контроллер ОПЭ. Обеспечивает локальное управление и мониторинг ОПЭ посредством графического интерфейса пользователя (GUI). Локальный контроллер обычно состоит из промышлен-

ленного ПК (сервера), многоканального коммутатора Ethernet, соединяющего все другие модули внутри ОПЭ, клавиатуры, мыши, ЖК-дисплея и/или сенсорного экрана. Локальный контроллер напрямую связывается с системой сетевого управления кабельной станцией для мониторинга и контроля предельных значений ОПЭ. (Зачастую из соображений безопасности дистанционное управление настройками ОПЭ отсутствует. Однако современные ОПЭ могут предложить уникальные функции дистанционного управления, которые облегчают дистанционную диагностику проблем ОПЭ или кабелей).

Мониторинг кабеля и доступ к кабелю. Выход преобразователей питает подводный кабель с использованием сложных устройств контроля и защиты. Кабельный доступ и оконцевание (замыкание или размыкание) также обеспечиваются в точке выхода ОПЭ. Эта точка доступа может быть использована для подключения других устройств тестирования кабелей к кабельной трассе. В виду опасности наличия высокого напряжения в этой точке, а также во всем ОПЭ должны быть реализованы сложные функции безопасности. На рис. 2 показан кабель ОПЭ, контролирующий сменный блок, с механизмами доступа и оконцевания кабеля.



Рис. 2



Рис. 3

**Тестовая нагрузка.** Блок тестовой нагрузки позволяет тестировать преобразователь в шкафу ОПЭ, в то время как кабель получает питание от резервных преобразователей. Или аналогичным образом оба преобразователя могут быть протестированы тестовой нагрузкой. Тестовая нагрузка является уникальной концепцией

в развернутых высоковольтных системах, используемой только в ОПЭ. Традиционно тестовая нагрузка осуществлялась массивом пассивных фиксированных резисторов. Для изменения параметров нагрузки использовались реле высокого напряжения, реализующие выбор и перенастройку фиксированных резисторов. В настоящее время доступны электронные тестовые нагрузки. Для таких тестовых нагрузок используется массив активных МОП-транзисторов. Программирование транзисторов обеспечивает фактически бесконечный диапазон конфигураций нагрузки в пределах мощности ОПЭ. Кроме того, тестовые нагрузки могут быть очень компактными. Однако такие современные тестовые нагрузки стоят дороже. С другой стороны, их малый размер может обеспечить значительное уменьшение размера шкафов, используемых только для тестовой нагрузки. Современные ОПЭ могут быть реализованы в одном шкафу, включая тестовую нагрузку! На рис. 3 показана современная электронная тестовая нагрузка 5 кВт, а на рис. 4 — один из массивов МОП-транзисторов.

Для изменения параметров нагрузки использовались реле высокого напряжения, реализующие выбор и перенастройку фиксированных резисторов. В настоящее время доступны электронные тестовые нагрузки. Для таких тестовых нагрузок используется массив активных МОП-транзисторов. Программирование транзисторов обеспечивает фактически бесконечный диапазон конфигураций нагрузки в пределах мощности ОПЭ. Кроме того, тестовые нагрузки могут быть очень компактными. Однако такие современные тестовые нагрузки стоят дороже. С другой стороны, их малый размер может обеспечить значительное уменьшение размера шкафов, используемых только для тестовой нагрузки. Современные ОПЭ могут быть реализованы в одном шкафу, включая тестовую нагрузку! На рис. 3 показана современная электронная тестовая нагрузка 5 кВт, а на рис. 4 — один из массивов МОП-транзисторов.

**Шкаф.** Часто называемый «магазином», шкаф ОПЭ предлагает не только обычные, но и уникальные функции. Комплектное ОПЭ должно соответствовать сейсмическим требованиям по GR-63-CORE. Конструкция шкафа является критическим фактором для соответствия этому требованию. Из-за индивидуального характера оборудования ОПЭ шкаф также

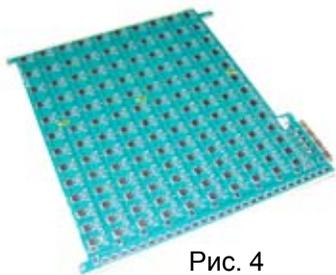


Рис. 4



является индивидуальной конструкцией. Предохранительные блокировки и высоковольтные кабельные трассы требуют индивидуальных решений. Современные ОПЭ с одним отсеком включают в себя уникальные механизмы автоматически закрывающихся дверей, которые позволяют демонтировать сменные блоки при наличии высокого напряжения. Автоматически закрывающиеся двери обеспечивают барьерную защиту с пружинным приводом, которая защищает от контакта с цепями под напряжением при демонтаже модулей. На рис. 5 показано внутреннее пространство шкафа ОПЭ. Практически все механизмы должны быть изготовлены по индивидуальному заказу.

#### ОПЭ для кабелепрокладочных судов

Необходимость в ОПЭ для кабелепрокладочных судов является менее известной, но столь же требовательной к характеристикам. При прокладке кабеля он тестируется с помощью бортовой системы ОПЭ. Во время бума отрасли прокладки кабелей в 90-х годах было введено в эксплуатацию около 100 судовых систем ОПЭ. Эти судовые системы ОПЭ функционально очень схожи со стандартным наземным ОПЭ, только с уменьшенной функциональностью и требованиями (и с существенно более низкой стоимостью). Бортовое ОПЭ судна может работать от 220 В переменного тока, подаваемого от судовых генераторов, и, как правило, может использовать больше типовых высоковольтных источников питания. (Не нужно перевозить аккумуляторы и надеяться на то, что в море не произойдет землетрясение). Но для судового ОПЭ надежность по-прежнему имеет первостепенное значение, поскольку отказ ОПЭ в море прервет развертывание кабеля до прибытия помощи.

#### Заключение

Оптимальным путем для разработки и развертывания высокотехнологичных решений ОПЭ оказалось привлечение экспертов в области питания для под-

водного коммуникационного оборудования и внедрение технологий высоковольтного преобразования энергии. Дальнейшее развитие отрасли видится в сокращении размеров систем с сохранением или увеличением характеристик по напряжению, а также разработке недорогих устройств с низким напряжением (например, для распределительного оборудования). Благодарим компанию Tyco Telecommunications за их вклад в развитие технологии ОПЭ, передачу опыта в сфере кабелей питания и за предоставленные фотографии.

