



Завод II, г. Бохольт, Германия



ИБП ENERTRONIC modular



Завод в России, Московская область, Домодедовский район



Выпрямитель SLIMLINE SE



Инвертор INVERTRONIC compact

**Высочайшая надежность без компромиссов!**



# О надежности систем постоянного тока как гарантии устойчивой работы энергоснабжения нефтегазовых объектов



В статье на примере продукции компании БЕННИНГ рассматриваются неотъемлемые части организации надежного электропитания в современных системах оперативного постоянного тока.

000 «Беннинг Пауэр Электроникс», г. Домодедово, МО

## Введение

Уже на протяжении многих лет системы постоянного тока (СПТ) являются одним из важнейших элементов различных технологических объектов (компрессорный цех, дожимная компрессорная станция, газораспределительная станция, понижительная подстанция и пр.), так как качество и надежность питания всего комплекса их защит и управления определяют способность объекта выполнять свои функции. Развитие техники и технологий современных устройств автоматизации и защиты выдвигает новые требования как к самим объектам, так и к системам постоянного тока, что влечет за собой изменение их конструктивных и функциональных особенностей. В статье рассматриваются неотъемлемые части организации надежного электропитания в современных системах оперативного постоянного тока: выпрямительные устройства разных поколений и их влияние на надежность системы в целом.

## Системы постоянного тока технологических объектов

Требования, предъявляемые к системам постоянного тока

Существующие тенденции в развитии энергетики транспорта, хранения и переработки газа и нефте-

продуктов, такие как изменение количества и мощности потребителей (включая средства контроля и автоматизации), подключаемых к энергосетям и системам постоянного тока, начинают формировать требования к следующему этапу развития, на котором СПТ должна быстро и эффективно реагировать на любые внешние и внутренние технологические возмущения. При этом для общества безусловно актуальными остаются удобство эксплуатации, экологичность и безопасность.

Современные технологические объекты уже отличаются высоким уровнем автоматизации всех своих узлов. Совокупность элементов, объединенных информационно-управляющей системой в составе объекта, обеспечивает надежное энергоснабжение и полностью автоматизированную работу даже в условиях отсутствия штатного обслуживающего персонала за счет связи с единой информационной диспетчерской сетью.

Высокая степень автоматизации таких объектов и их автономность порождают повышенные требования как к надежности всего объекта в целом, так и к устойчивости всех составляющих узлов и элементов в отдельности. Данные требования выполняются, во-первых, на конструктивном уровне за счет архитектуры, а во-вторых, за счет установ-

ки на объекте наиболее надежных устройств. Следствием высокой степени автоматизации является также наличие большого числа микропроцессорных устройств защит и телеметрии, нуждающихся в хорошем качестве и надежности питания, что в свою очередь формирует особые требования к оперативному току в их составе. В контексте оборудования для таких объектов систему оперативного постоянного тока следует рассматривать как элементарную базовую ячейку, оборудование которой должно позволять встраивать СПТ в общую систему защит.

Перечислим требования, предъявляемые к СПТ со стороны наиболее важных потребителей (например, электроприемников особой группы первой категории):

- ▶ высокая надежность;
- ▶ высокий КПД;
- ▶ точность стабилизации выходного напряжения в режиме поддерживающего заряда не хуже  $\pm 1\%$ ;
- ▶ пульсации напряжения при работе зарядного устройства (ЗУ) на полную нагрузку комплекта СПТ при отключенной батарее не должны превышать  $5\%$  Уном;
- ▶ отсутствие необходимости в частом техническом обслуживании, настройке, регулировке;
- ▶ поддержка протоколов МЭК 61850, МЭК 870-5-104, Modbus RTU;

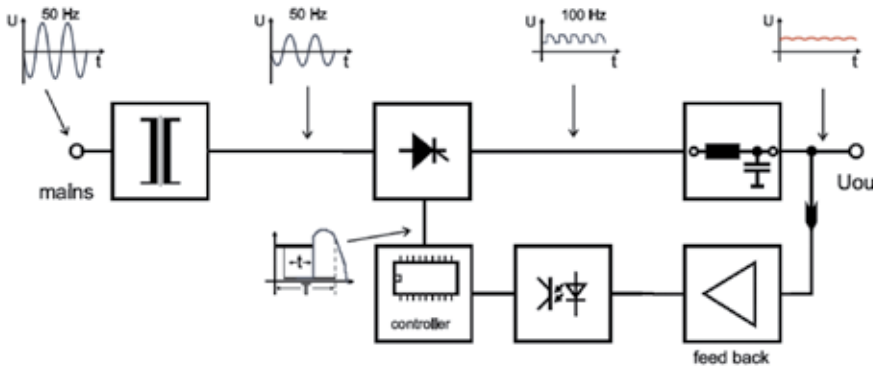


Рис. 1. Структурная схема тиристорного выпрямителя

► дистанционный контроль и управление системой.

Основные эксплуатационные характеристики СПТ определяются входящими в их состав зарядно-выпрямительными устройствами, к которым предъявляются высокие требования. В настоящее время существует три основных вида выпрямителей:

- тиристорные выпрямители;
- импульсные выпрямители с высокочастотным преобразованием;
- выпрямители на базе IGBT.

При этом тиристорная технология считается классической, а импульсные и IGBT-выпрямители – инновационными.

#### Тиристорные выпрямители

Сегодня наиболее широкое распространение получили тиристорные выпрямительные системы (рис. 1), которые зарекомендовали себя как надежные и простые в эксплуатации устройства. Данный тип выпрямителей характеризуется следующими преимуществами:

- высокая устойчивость к перенапряжениям на входе и перегрузкам на выходе;
- наличие гальванической развязки между звеньями постоянного и переменного тока;
- высокая устойчивость к внешним воздействиям;
- простота в обслуживании;
- естественное охлаждение.

Резервирование выпрямительного устройства осуществляется путем установки такого же устройства, соответственно стоимость и занимаемая площадь увеличиваются вдвое. Следует отметить, что современные системы управления тиристорными выпрямителями не уступают аналогичным системам выпрямителей

нового поколения и обеспечивают наивысшее качество управления, которое возможно при использовании данной технологии.

Тиристорная технология имеет следующие недостатки:

- большие габариты;
- большой вес;
- высокое искажение синусоидальности питающей сети (до 27% у 6-пульсных выпрямителей);
- высокие пульсации выходного напряжения постоянного тока (около 5% среднеквадратического значения без подключенной батареи);
- низкие динамические характеристики;
- коэффициент мощности 0,7–0,86.

Данные обстоятельства необходимо учитывать при построении объектов с особыми требованиями устройств автоматизации к СПТ, для которых указанные недостатки могут иметь значение. Вместе с тем перечисленные выше преимущества тиристорных систем позволяют выпрямителям на тиристорах сохранять конкурентоспособность и занимать важнейшее место на рынке зарядных устройств.

Импульсные выпрямители выполняются, как правило, по MOSFET-технологии и представляют собой двухступенчатое преобразовательное устройство. Напряжение сети с частотой 50 Гц (рис. 2) поступает на двухполупериодный мост, на выходе которого образуется напряжение 220 В частотой 100 Гц. Далее это напряжение подается на бустер на MOSFET-транзисторах, в котором происходит преобразование выпрямленного напряжения в импульсное 400 В с частотой 33 кГц и более. После понижающего трансформатора импульсное напряжение выпрямляется и сглаживается с помощью LC-фильтра, что уменьшает гармоники на выходе выпрямителя. Обратная связь реализована на операционном усилителе, сигнал обеспечен гальванической развязкой с помощью оптоэлектронной пары и поступает на контроллер широтно-импульсной модуляции (ШИМ), который управляет бустером и автоматически регулирует выходные параметры выпрямителя. Плюсом схемы является высокая стабилизация выходных параметров и их независимость от нагрузки, а также высокая скорость реагирования на изменение нагрузки.

Преимущества импульсной технологии:

- компактные габариты;
- небольшой вес;
- небольшое искажение синусоидальности питающей сети (около 7%);
- низкие пульсации по выходу (менее 0,1% без дополнительного фильтра);
- высокие динамические характеристики;
- коэффициент мощности 0,99;

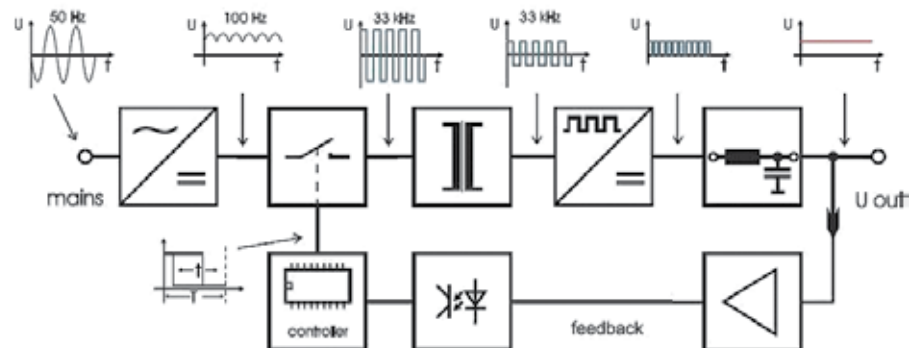


Рис. 2. Блок-схема выпрямителя с импульсным преобразованием



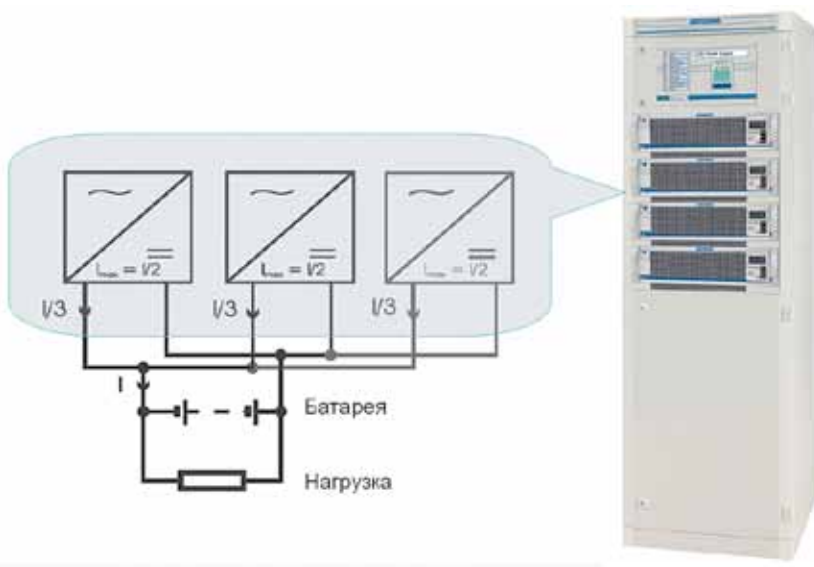


Рис. 3. Резервирование модулей в составе выпрямительной установки

- ▶ легкая замена модулей (технология «горячего включения» — hot plug);
- ▶ легкая расширяемость системы с помощью установки дополнительных модулей.

Применение современных выпрямителей позволяет выполнить требования к системам оперативного постоянного тока на интеллектуальных подстанциях. Модульная конструкция таких систем, как ТЕВЕСНОР 3000HDi Домодедовского завода «Беннинг», показанная на рис. 3, позволяет легко увеличивать выходную мощность и устанавливать резервные модули (обеспечить, например, резерв N+1, N+2 и т. д.) на уже введенной в эксплуатацию установке, в том числе без отключения оборудования (исполнение hot-plug и plug-and-play). Отличительной чертой модулей является их полная независимость от других модулей и от системы мониторинга и контроля. Так, при выходе из строя любого элемента системы оставшиеся модули продолжают в нормальном режиме питать нагрузку.

Импульсные выпрямители с естественным охлаждением

К сожалению, основной особенностью условий работы систем оперативного тока в российских условиях является широкий диапазон температурных перепадов и высокая степень запыленности. Из-за данных факторов при проектировании предъявляются особые требования к оборудованию, в том числе такие,

как отсутствие движущихся частей, например вентиляторов. При этом устройства поздних поколений, выполненные на основе полупроводников IGBT или MOSFET, имеют более высокие термонагруженные узлы и, как правило, оснащаются вентиляторами для обеспечения достаточного теплоотвода. Кроме того, устройства модульного типа имеют конструктивное исполнение, затрудняющее применение безвентиляторных устройств.

Специально для использования в таких условиях завод «Беннинг» разработал новую серию модульных выпрямительных систем ТЕВЕСНОР 4000, которые выполнены на современной элементной базе, но при этом отличаются от многих существующих на рынке модульных

устройств тем, что охлаждаются с помощью естественной конвекции, в их составе нет вентиляторов.

Поскольку посторонние вещества не могут активно проникать внутрь прибора (как у устройств с принудительной вентиляцией), данные выпрямительные системы пригодны для применения в критических условиях окружающей среды. Снижаются расходы на эксплуатацию, техническое обслуживание и регулярную замену вентиляторов. КПД модулей ТЕВЕСНОР 4000 достигает значения  $\geq 93\%$  в широком диапазоне нагрузок. Высокий показатель КПД в широком диапазоне нагрузок позволяет сократить потери электроэнергии в штатных режимах работы. Благодаря высокой энергоэффективности серии ТЕВЕСНОР 4000 существенно снижается потребление электроэнергии и сокращаются эксплуатационные расходы, из-за чего уменьшается и общая стоимость владения.

#### IGBT-выпрямители

Другая инновационная технология выпрямителей — их построение на основе так называемых биполярных транзисторов с изолированным затвором, то есть IGBT-транзисторов (рис. 4). При всей схожести IGBT- и MOSFET-технологий области их применения различаются: так, MOSFET целесообразно применять при мощностях единичного преобразователя до 5 кВт, то есть в типоразмерах модульных преобразователей. IGBT-технология более востребована при больших мощностях. Помимо того, за счет более

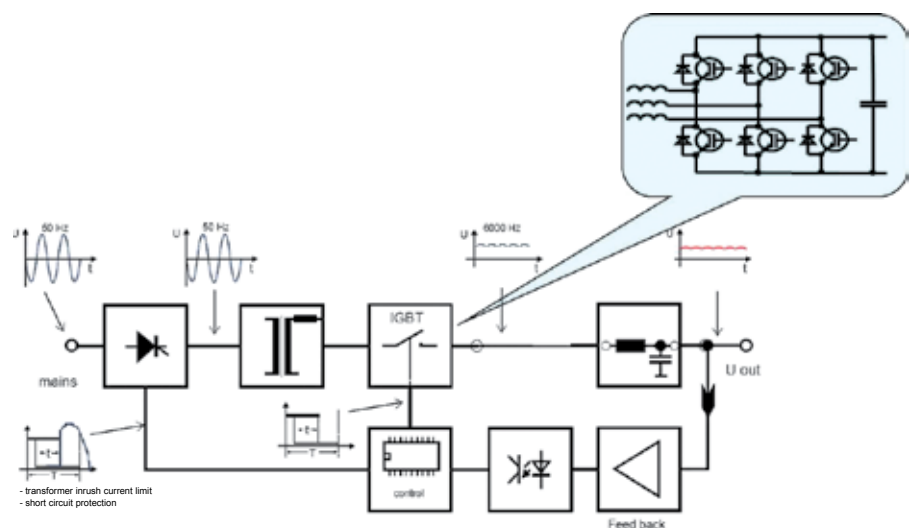


Рис. 4. Блок-схема IGBT-выпрямителя

линейной, чем у MOSFET, характеристики переключения транзистора происходит уменьшение образования гармоник как на входе, так и на выходе выпрямителя. На входе выпрямителя тиристорный ключ служит для защиты от коротких замыканий и ограничивает величину броска тока на трансформатор. После трансформатора напряжение подается на IGBT-бустер – выпрямитель, преобразующий переменное напряжение в постоянное. Бустер, как и тиристорные ключи, управляется с помощью микроконтроллера, который в реальном времени отслеживает изменение выходного напряжения выпрямителя и состояние нагрузки (величину выходного тока) и с помощью ШИМ-преобразования воздействует на бустер.

Резервирование таких выпрямителей возможно обеспечить с помощью установки двух систем, которые будут работать в режиме деления нагрузки.

Преимущества IGBT-технологии:

- ▶ низкие пульсации (менее 1% без дополнительного фильтра);
- ▶ прекрасные динамические характеристики;
- ▶ коэффициент мощности 0,99 при нагрузке от 25 до 100%;
- ▶ небольшое искажение синусоидальности питающей сети (менее 5% при 100% нагрузке);
- ▶ компактная конструкция, небольшой объем.

К недостаткам IGBT-технологии следует отнести прежде всего высокую термонагруженность отдельных узлов и элементов установки, что ужесточает требования к системе охлаждения.

### Система мониторинга и контроля СПТ

Одним из основных условий эффективного функционирования подстанций является наличие надежных средств, обеспечивающих управление и контроль, защиту и автоматизацию всей системы, в частности – на уровне СПТ. Решение этой проблемы принципиально разделяется на две основные задачи.

Первая – использование системы мониторинга и контроля, в которой собирается информация с первичных датчиков, установленных на оборудовании, осуществляется мо-

нитинг состояния элементов системы, оценивается механический и коммутационный ресурсы аппаратов и готовность оперативных цепей, производится управление коммутационными аппаратами. Анализ входной информации и выполнение операций аппаратами осуществляется по алгоритмам, учитывающим процессы в оборудовании и внешнее влияние. Алгоритмы должны учитывать принципиальные особенности и конструктивное исполнение оборудования СПТ. В системе мониторинга предусматривается ведение журнала с сохранением в памяти событий, происходящих в системе. Основные значения параметров системы выводятся на дисплей, установленный на передней дверце шкафа, расположенные там же светодиоды сигнализируют об аварийных ситуациях и других событиях.

В функциях управления шкафа должна обеспечиваться возможность ручного и дистанционного изменения параметров системы. Также в системе мониторинга и управления СПТ предусмотрены связи для передачи информации соответствующим подстанционным системам.

Другая задача при создании надежной интеллектуальной СПТ – ее оснащение современными датчиками. Для выполнения системой мониторинга своих функций необходимо использовать современные приборы, наиболее оправдавшие себя на практике.

Примером такой системы является контроллер MCU 2500 Домодедовского завода «Беннинг», который обеспечивает местный мониторинг, контроль систем электропитания и ведение журнала неисправностей. Гибкая конфигурация, обширные возможности и ультрасовременная конструкция, разработанная с учетом всемирного опыта, позволяют называть данное устройство интеллектуальным и удовлетворяющим все требования, предъявляемые к оборудованию интеллектуальных объектов. Система MCU 2500 имеет модульную конструкцию. Базовый модуль (центр системы MCU) соединяется с электропитающим оборудованием (выпрямителями, инверторами, конверторами, панелями распределения нагрузки), измерительными моду-

лями, панелью управления и светодиодной картой мониторинга. Интерфейсные компоненты для дистанционного управления, такие как ТСР/IP-адаптер, модем или персональный компьютер, также подсоединяются к базовому модулю. Благодаря такой конструкции система конфигурируется исходя непосредственно из выдвигаемых к ней требований, что позволяет производить контроль всех важных параметров и не удорожать ее за счет ненужных функций.

### Заключение

Система оперативного постоянного тока является одним из важных элементов современного технологического объекта нефтегазового предприятия, поэтому к ней предъявляются высокие требования. Для обеспечения бесперебойной и качественной работы систем управления объекта необходимо ответственно подойти к выбору СПТ, основываясь на преимуществах и недостатках представленных выше систем, учитывая как характеристики систем, так и надежность оборудования, принимая во внимание опыт использования, наличие необходимых сертификатов и репутацию производителя.

### Литература

1. Стандарт ОАО «ГАЗПРОМ». Положение о построении и организации эксплуатации систем постоянного тока на объектах ОАО «Газпром». 2005.
2. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.40.041-2010 «Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования»
3. Стандарт организации СТО Газпром 2-1.11-081-2006. Технические требования к системам электроснабжения ГРС.
4. Отраслевые требования ОТТ-29.100.00-КТН-065-13 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Устройства гарантированного питания вспомогательных систем и систем автоматизации НПС. Общие технические требования» от 01.06.2013.

Б.Н. Новоселов, зам. генерального директора по развитию, ООО «Беннинг Пауэр Электроникс», г. Домодедово, МО, тел.: +7 (495) 967-6850, e-mail: benningbenning.ru, www.benning.ru