

НОВЫЕ КОМПАКТНЫЕ ТРЕХФАЗНЫЕ КОНВЕРТЕРЫ GP100 ОТ GE CRITICAL POWER ДЛЯ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

GE
Critical Power

Бизнес-подразделение GE Critical Power, входящее в состав глобального концерна General Electric, специализируется на поставках оборудования электропитания приложений, для которых качество электроэнергии является крайне критичным.

Новые выпрямители серии GP100 мощностью 6000 Вт предназначены для преобразования трехфазного переменного тока в постоянный ток с напряжением от 44 до 58 В (в зависимости от модели). Все модели серии выполнены в конструктиве 1RU и могут быть установлены в стойки стандарта Rack Mount 1U, в том числе и в новые телекоммуникационные шкафы GE Edge Cabinet PDU.

Выпрямители серии GP100 рассчитаны на те же токи и напряжения, что и изделия других производителей, но занимают при этом в два раза меньше места по сравнению с конкурентными аналогами.

Корпорация General Electric Company и ее подразделение Critical Power

Сфера деятельности одной из крупнейших мировых корпораций — General Electric Company — охватывает промышленное производство оборудования для энергетики, авиационные двигатели, системы электропитания ж/д транспорта, медицинской техники, телекоммуникаций. Отделения фирмы расположены более чем в сотне стран по всему миру.

В настоящее время структурные подразделения GE объединены по следующим направлениям [1]:

- энергетика (GE Power & Water, GE Energy Management, GE Oil & Gas);
- медицинское оборудование;
- наземный транспорт;
- авиация;
- товары массового потребления (GE Lighting, Intelligent Platforms);
- финансы (GECAS, GE Money Bank).

Новое структурное подразделение GE Critical Power было образовано на базе приобретенной в 2011 г. американской компании Lineage Power Holdings [3–6]. Основное направление де-

ятельности GE Critical Power связано с оборудованием для тех систем электроснабжения, в которых необходимо гарантированное питание с минимальными пульсациями и наводками.

Своей целью GE Critical Power ставит создание недорогих и повсеместно доступных систем критического электропитания.

Преобразователи напряжений переменного тока GE Critical Power

GE Critical Power производит широкую линейку преобразователей напряжений переменного тока (AC/DC Power Supplies), перекрывающую практически весь диапазон входных и выходных параметров, необходимых для систем вторичного электропитания телекоммуникационного, промышленного, медицинского и специального оборудования [6].

В инфраструктуре вторичных источников электропитания можно выделить четыре основных типа:

- классическая централизованная архитектура электропитания (Centralised Power Architecture, CPA);
- архитектура распределенного электропитания (Distributed Power Architecture, DPA);
- распределенная архитектура с промежуточной шиной (Intermediate Bus Architecture, IBA);
- факторизованная архитектура электропитания (Factorized power architecture, FPA).

Основным недостатком классической архитектуры CPA является малоэффективная передача низких напряжений при больших токах. Вместе с тем в сложных современных системах необходимо распределять большие токи по многочисленным низковольтным входам. Эти и другие требования привели к появлению концепции модульного построения источников распределенного электропитания (DPA).

На рис. 1 показана упрощенная классическая структурная схема системы питания IBA [7].

На центральную входную шину источника питания DPA подается постоянное напряжение от мощного AC/DC-преобразователя. Обычно напряжение на центральной шине



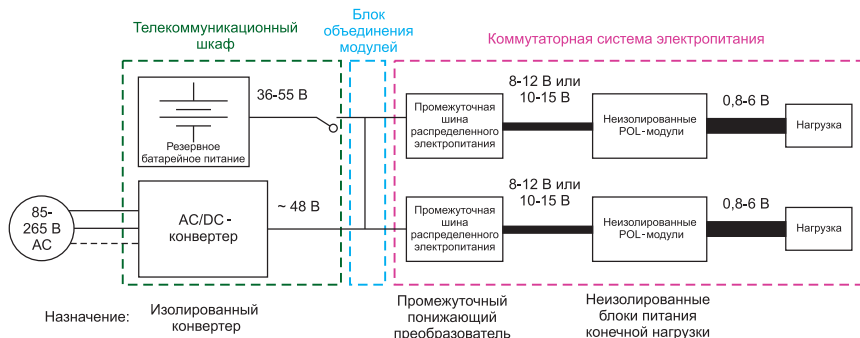


Рис. 1. Структурная схема системы питания распределенной архитектуры с промежуточной шиной, предназначенная для сложных микропроцессорных устройств

составляет 48 В. Для устройств с разными уровнями низких напряжений используется архитектура питания с промежуточной шиной. В этом случае функции DC/DC-преобразователя разделены между двумя устройствами: изолированными DC/DC и неизолированными DC/DC (POL).

В настоящее время GE Critical Power выпускает следующие серии AC/DC-конвертеров для систем DPA:

- CLP — маломощные бескорпусные однофазные AC/DC-конвертеры с нерегулируемым выходным напряжением 12 В;
- CCR — корпусные малогабаритные неохлаждаемые однофазные выпрямители малой мощности с выходом 12 В;
- CAR — полностью законченные, охлаждаемые однофазные AC/DC-преобразователи средней мощности (800–2900 Вт) в конструктиве 1U, с напряжениями 12, 48 и 54 В;
- CP — полностью законченные, охлаждаемые однофазные AC/DC-конвертеры средней мощности (2000 Вт) с универсальным входом и программируемым выходом (42–58 В, DC) в конструктиве 1RU;
- EP — полностью законченные, охлаждаемые однофазные AC/DC-конвертеры средней мощ-

ности ($U_{\text{вых}} = 48 \text{ В}$, $I_{\text{вых}}$ до 33 А) для жестких условий эксплуатации, в форм-факторе 1U;

- GPS (Galaxy Power System) — мощные (больше 1000 А) трехфазные AC/DC составные конвертеры;
- GP100 — мощные (100–125 А), трехфазные, миниатюрные AC/DC-конвертеры с напряжениями 44–58 В.

Новая серия GP100 на сегодня включает в себя три модели трехфазных выпрямителей мощностью 6000 Вт в корпусе 1U. Упрощенная структурная схема однофазного AC/DC-конвертера показана на рис. 2 [8].

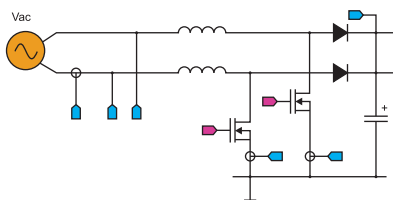


Рис. 2. Упрощенная структурная схема однофазного AC/DC-конвертера

Общие принципы работы бестрансформаторных AC/DC-конвертеров хорошо известны. Переменный ток с помощью выпрямителей кон-

вертируется в постоянный и подается на импульсный DC/DC-преобразователь. Для сглаживания наводок и пульсаций используется система фильтров. Встроенные микроконтроллеры управляют преобразователем постоянного тока и внешними интерфейсами. Более подробное описание принципов работы современных AC/DC-конвертеров можно найти, например, в [9, 10].

В принципе, для увеличения мощности можно объединить выходы однофазных AC/DC-конвертеров параллельно и подключить их входы к трем разным фазам трехфазной сети переменного тока. Однако при больших выходных токах форма полупериодов на разных источниках будет искажаться, что приведет к эффекту «среза вершин полупериодов». В свою очередь, этот эффект может вызвать такие крайне нежелательные явления, как разбаланс фаз и многочисленные высокочастотные гармоники в спектре выпрямленного тока.

В системах DPA большой мощности при неравномерной нагрузке возможны броски мощности, которые приведут к разбалансу фаз и выходу оборудования из строя. Дабы избежать подобных аварийных ситуаций в традиционных системах питания с отдельными однофазными выпрямителями, используются блоки управления (Power Distribution Unit, PDU). Такие системы управления требуют дополнительных затрат. Кроме того, для их размещения необходимы дополнительные объемы оборудования. Например, типичный телекоммуникационный шкаф позволяет разместить в нем до 42 блоков стандарта Rack Units 1U. Для питания такого шкафа, как правило, нужно использовать около пяти однофазных выпрямителей средней мощности и управляющие ими блоки PDU.

В современных DPA используют тысячи стоек, которые занимают большие объемы и выделяют огромное количество тепла. По-



Стоит отметить, что по умолчанию источники питания поддерживают все современные протоколы взаимодействия, такие как Ethernet и SNMP, при наличии контроллера Edge. Для удовлетворения потребностей рынка в 2016 году GE также выпустит уже 12,5-кВт источник по той же топологии, но с пассивным и водяным охлаждением с теми же габаритами. Кроме того, компания глобально сделает акцент на конвекционном и водяном охлаждении своих продуктов питания.

Николай Грунин,
инженер по внедрению департамента силовой электроники,
power@ptelectronics.ru



КОММЕНТАРИЙ
СПЕЦИАЛИСТА

нятно, что модуль электропитания должен вносить минимальный вклад в суммарную рассеиваемую тепловую мощность. Известно, что в среднем увеличение эффективности конвертера на 1% обуславливает снижение на 10% тепловой мощности на верхней границе диапазона. Поэтому увеличение эффективности работы преобразователя и снижение объема, занимаемого блоками систем электропитания, является одной из наиболее важных задач, возникающих при разработке нового оборудования.

Отмеченные выше недостатки однофазных конвертеров привели к тому, что в системах электропитания большой мощности стали все больше использоваться трехфазные преобразователи. В этих типах AC/DC-конвертеров выпрямительный блок подключается по схеме «звезда» или «треугольник» к первичной цепи трехфазного переменного тока. Такие трехфазные AC/DC-конвертеры имеют сложные встроенные системы управления нагрузкой и балансировки фаз и не требуют дополнительных внешних PDU. Современные контроллеры корректора коэффициента мощности (ККМ) позволяют значительно сократить число компонентов без снижения характеристик преобразователя. Таким образом, достигается значительный выигрыш в соотношении мощность/занимаемый объем.

Новые модели AC/DC-конвертеров Critical Power позволяют экономить при создании крупных промышленных и телекоммуникационных объектов значительные средства. Простые оценки показывают, что использование новых конвертеров серии CP100 позволяет освободить пространство, занимаемое пятью однофазными модулями старого образца в стандартном телекоммуникационном шкафу (server rack+power case+19"). В условиях крупного объекта, содержащего более 1000 стандартных шкафов, пространство будет эквивалентно пяти тысячам модулей конструктива 1U. За счет этого можно на той же площади разместить дополнительно около 120 шкафов [6].

На вход трехфазных AC/DC-конвертеров серии GP100 подается три фазы переменного тока, которые внутри преобразователя подключаются к «плюсу» и «минусу» выпрямительного блока. Принципиальная идея такая же, как и в схеме, показанной на рис. 2. Однако в случае однофазного конвертера на выпрямительный блок подается напряжение 220 В, а в варианте трехфазного конвертера — 380 В. В стандартном варианте во всех моделях GP100 фазы переменного тока подключены к выпрямительному блоку по схеме «треугольник». В англоязычной литературе это соединение называется Delta. В соединении «треугольник» фазы подключают таким образом, чтобы начало одной соединялось с концом другой. В другом варианте, при подключении типа «звезда» (Star), все три фазы соединяются в один узел, называемый нейтральной или нулевой точкой. Это значит, что у моделей с подключением «звезда», кроме выводов трех фаз, должен быть еще один дополнительный вывод для подключения нейтрали. Такие AC/DC-конвертеры предназначены для специальных приложений, в которых требуется отдельная заземленная нейтраль. Например, в медицинском оборудовании наличие шасси, подключенного к заземленной нейтрали, является обязательным условием.

На рис. 3 [11] показана классическая схема трехфазного двухполупериодного «выпрямителя Ларионова», которая

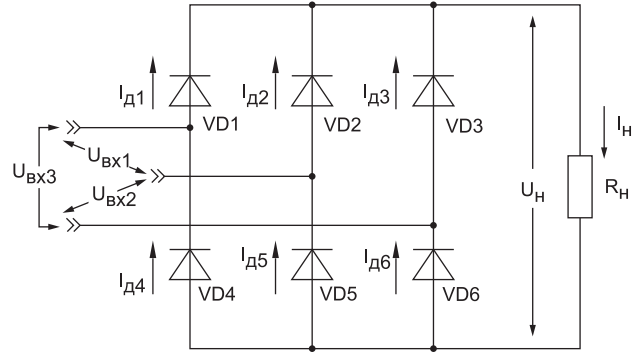


Рис. 3. Классическая схема трехфазного двухполупериодного «выпрямителя Ларионова»

в различных модификациях используется в современных бестрансформаторных AC/DC-конвертерах.

Аналогичная схема «выпрямителя Ларионова» может быть использована и в случае подключения типа «звезда». В этом случае исходной будет схема трехфазного выпрямителя «три полумоста параллельно, объединенные звездой Ларионова».

На рис. 4 приведены эпюры напряжений в различные моменты работы схемы при использовании соединения «треугольник».

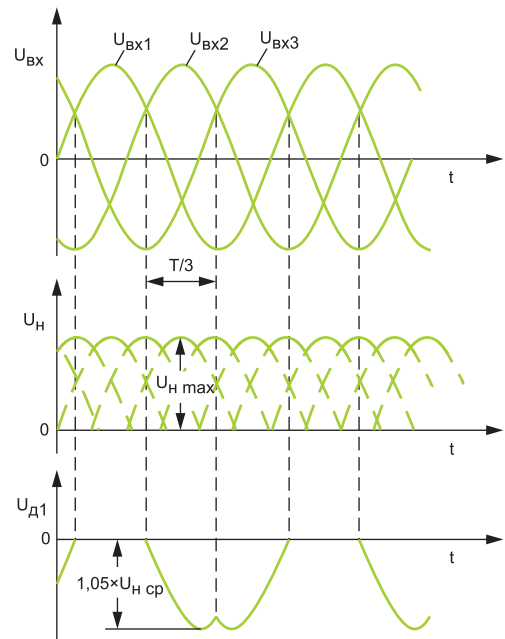


Рис. 4. Эпюры напряжений при соединении «треугольник»

В схеме «треугольник Ларионова» выделяют два периода работы. Основной, круговой период работы охватывает 360°. Промежуточный малый период работы соответствует 60° и повторяется внутри большого цикла шесть раз.

В свою очередь, малый период состоит из двух дополнительных полупериодов по 30° каждый, которые зеркально симметричны по отношению друг к другу. На холостом ходу и близких к нему режимах ЭДС той ветви, в которой она в данный момент времени наибольшая, закрывает диоды, которым в это время приложена меньшая ЭДС. В начальный момент открыты два верхних диода и один нижний. На следующем этапе одна из двух ЭДС растет до 1, другая уменьшается до 0,5, при этом третья ЭДС увеличивается от 0 до 5. В данной схеме используются обе полуволны трехфазного напряжения, что обеспечивает высокую эффективность и небольшую амплитуду пульсаций. Шесть последовательно коммутируемых диодов обеспечивают амплитуду первой гармоники пульсаций на выходе равной примерно 5,7% от среднего значения. Существуют варианты схем, в которых используются 12 и 24 выпрямительных транзистора. В подобных схемах пульсации еще меньше.

Таким образом, при подключении «треугольник» в трехфазном AC/DC-конвертере достигается наименьшее значение пульсаций выходного напряжения.

Одним из приоритетных направлений использования новых конвертеров серии GP100 фирма Critical Power считает центры обработки данных (ЦОД). Поэтому целесообразно остановиться на требованиях, предъявляемых к системам электроснабжения ЦОД, несколько подробнее. Большинство развитых стран имеют национальные стандарты на оборудование ЦОД, за основу которых взят американский стандарт (ANSI) TIA-942. В настоящее время широкое распространение получил стандарт BICSI 002 2010 Data Center Design and Implementation Best Practices, в создании которого участвовали более 150 ведущих мировых экспертов. В процессе окончательного формирования находится европейский стандарт EN 50173-5, на основе которого планируется реализовать ГОСТ, регулирующий проектирование и эксплуатацию ЦОД на территории РФ.

Одно из основных требований отмеченных выше стандартов заключается в том, что критически важные узлы дублируются по схеме N+1. Это требование означает, что всегда должен быть один запасной узел, который при аварии можно задействовать в автоматическом режиме. Повреждения силовых кабелей, аварии на питающих подстанциях, выходы из строя магистральных шин и другие подобные ситуации вполне вероятны на предприятиях, потребляющих большие мощности. Потому ЦОД должен быть оснащен аварийными источниками первичного и вторичного электропитания, такими, например, как дизель-генератор и резервные блоки AC/DC и DC/DC магистральных линий.

Требования к электроснабжению изложены в разделах TIA-942 5.3/5.4, а также в приложении TIA-942 G5. В стандарте регламентированы четыре уровня бесперебойной работы ЦОД, соответствующие надежности от 99,67% (1-й класс) до 99,995% (4-й класс):

- Tier 1 (N) — отсутствие резервного электроснабжения, источников бесперебойного питания, резервной инженерной инфраструктуры;
- Tier 2 (N+1) — наличие фальшполов, неполное резервирование источников электроснабжения, прекращение функционирования ЦОД при проведении ремонтных работ;
- Tier 3 1x(N+1) — однократное резервирование инженерных систем, проведение ремонтных мероприятий без остановки работы ЦОД;
- Tier 4 2x(N+1) — двукратное резервирование инженер-

ных систем, проведение ремонтных мероприятий без остановки работы ЦОД.

Четвертый уровень надежности, в котором подразумевается полное резервирование, ограничивает суммарный перерыв в работе ЦОД не более 15 мин в год. В частности, требования к системе электропитания ЦОД четвертого уровня надежности предусматривают полное резервирование всех блоков. Такой центр должен быть оснащен как минимум двумя полностью независимыми электрическими системами, включая резервные дизель-генераторы и источники бесперебойного питания (ИБП) переменного тока, фидеры электропитания, блоки питания входных магистралей провайдеров услуг связи, а также блоки питания шкафов и серверных линий. Одно из требований, которое регламентирует системы электропитания ЦОД с четвертым уровнем безопасности, определяет резервное батарейное питание ключевых блоков заказчика в случае серьезной аварии.

Следует отметить, что в требованиях для энергосистем ЦОД с третьим и четвертым уровнями безопасности рекомендуется использование трехфазных ИБП и AC/DC-конвертеров. На рис. 5 показана упрощенная схема системы гарантированного электроснабжения (СГЭ) для ЦОД с третьим и четвертым уровнями безопасности [12].

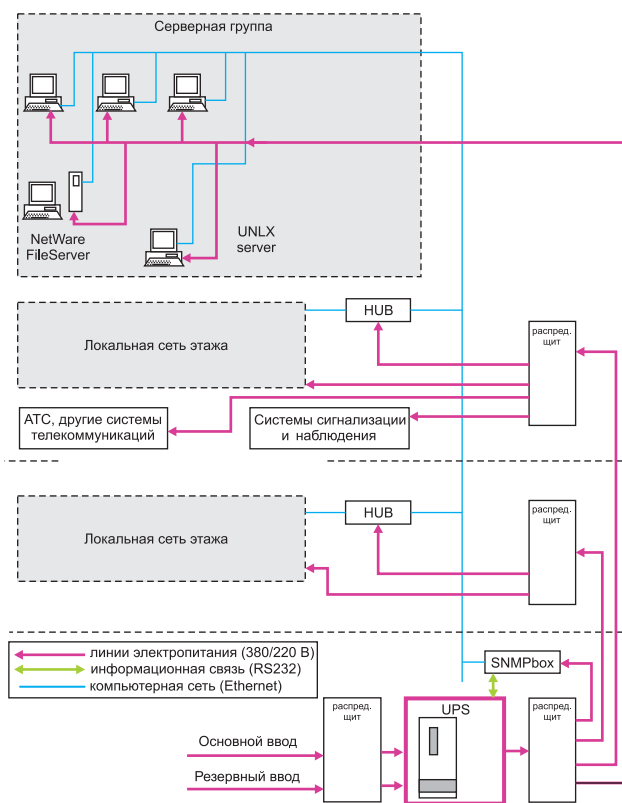


Рис. 5. Упрощенная схема системы гарантированного электроснабжения для ЦОД с третьим и четвертым уровнями безопасности [12].

Схема, показанная на рис. 5, получила название «Централизованная схема гарантированного электроснабжения» (ЦСГЭ). В этой схеме используются мощные трехфазные AC/DC-конвертеры и ИБП. Основное преимущество ЦСГЭ

заключается в том, что она практически защищена от локальных перегрузок и выдерживает короткие замыкания, переходное сопротивление которых превышает величину, определяемую запасом выходной мощности ИБП для этой системы. Альтернативой ЦСГЭ является распределенная схема гарантированного электроснабжения (РСГЭ), в которой используются однофазные AC/DC-конвертеры и ИБП. Следует, однако, отметить, что в чистом виде указанные схемы используются крайне редко. На практике применяются различные комбинации ЦСГЭ и РСГЭ. Более подробную информацию о системах электропитания ЦОД можно найти на сайте [12].

Трехфазные AC/DC-конвертеры серии GP100H3M

Новая серия преобразователей трехфазного переменного тока в постоянный предназначена для использования в промышленных и телекоммуникационных приложениях, например таких, как:

- промежуточные шины 48 В в мощных промышленных сетях с распределенным питанием;
- сети электроснабжения ЦОД;
- центры управления и обслуживания оборудования LAN/WAN/MAN;
- профессиональные беспроводные сети.

В состав серии входят три модели мощностью 6000 Вт, отличающиеся между собой управляющими интерфейсами и выходными напряжениями: GP100H3M54TE; GP100H3R48TE; GP100H3R48TEZ-IN11 [13]. Все модели предназначены для работы в трехфазных сетях переменного тока 380/480 В, поэтому они могут эксплуатироваться как в странах Северной Америки (480 В), так и в большинстве других стран мира (380 В).

В стандартном варианте фазы переменного тока подключаются к выпрямителям моделей серии GP100H3 по схеме «треугольник». Трехфазное питание подводится с помощью высоковольтного четырехконтактного разъема — фазы А, В, С, G (земля). Подробное описание процедуры подключения приведено в руководстве GP100 Rectifier Backplane Quick Start Guide [14].

В модели GP100H3M54TEZ имеется возможность точной регулировки выходного напряжения в пределах 44–58 В, с программируемым разрешением 0,012 В. Эта модель оснащена двумя управляющими независимыми интерфейсами I2C_0 и I2C_1. В двух других моделях в качестве управляющего интерфейса используется стандартный RS485. Выходное напряжение у преобразователя GP100H3R48TEZ (RS485) равно 52 В. Модель GP100H3R48TEZ-IN11 (RS485) рассчитана на выходное напряжение 48 В.

Из основных характерных особенностей, отличающих конвертеры серии GP100H3M от аналогичных изделий других производителей, можно выделить следующие:

- диапазон входных напряжений 320–530 В трехфазного переменного тока;
- регулируемое выходное напряжение 44–58 В (модель GP100H3M54TEZ);
- КПД 96,5%;
- удельная мощность 30 Вт/дюйм³;
- низкий уровень пульсаций выходного напряжения (среднее значение 100 мВ в полосе 5–200 МГц);

- автоматическая балансировка выходных токов;
- активный контроль нагрузки;
- «горячая замена»;
- возможность использования в системах гарантированного энергоснабжения с резервом типа N+1;
- два интерфейса I²C или RS485 (в зависимости от модели);
- удаленное включение/выключение;
- возможность масштабирования;
- резервный вспомогательный выход 5 В/0,75 А (модель GP100H3M54TE).

Все модели серии GP100H3 изготовлены в корпусах стандарта 1U Rack Mount, предназначенных для монтажа в телекоммуникационные стойки и шкафы. Габаритные размеры модулей серии GP100H3 показаны на рис. 6.



Рис. 6. Габаритные размеры модулей серии GP100H3

Величина, которая задает дискретность размера модулей по высоте в стандарте Rack Mount, обозначается 1U или 2U. Высота модуля 1U составляет 1,719" (43,7 мм). Высота модуля 2U — 3,469" (88,1 мм). Следует отметить, что большинство трехфазных преобразователей с аналогичными напряжениями и мощностью изготовлены в корпусах большего размера (2U).

Преобразователи серии GP100 оптимально сочетаются с новыми телекоммуникационными шкафами GE Edge Cabinet. Стандартные шкафы с серверным и телекоммуникационным оборудованием имеют ширину 24". Однако современные модули Rack Mount занимают лишь 19". Новые панели Edge Cabinet PDU устанавливаются в неиспользуемое пространство внутри шкафа, что позволяет включать компактные трехфазные преобразователи GP100 непосредственно в разъемы панели. Таким образом, появляется возможность подключать с помощью GE Edge Cabinet до пяти конвертеров GP100 за пределами стойки. Преобразователи этой серии имеют встроенную систему охлаждения с потоком от передней панели. Скорость вращения вентилятора регулируется программно. Активный ККМ соответствует стандартам EN/IEC 61000-3-2 и EN 60555-2 и обеспечивает PF = 0,995. Для увеличения мощности возможно параллельное включение нескольких преобразователей.

Преобразователи серии GP100H3M имеют схемы защиты от перенапряжения, перегрузки по току и перегрева. Предельно допустимый диапазон входных напряжений составляет 320–530 В. При значениях входных напряжений, равных 300 и 540 В, срабатывает защита, и происходит автоматическое отключение преобразователя.

Таблица. Базовые технические характеристики трехфазных AC/DC-конвертеров серии GP100H3M

Параметр	GP100H3M54TEZ	GP100H3R48TEZ	GP100H3R48TEZ-IN11
Входное напряжение, переменный ток, 3 фазы, В	380/480		
Выходной ток, А	110	115	125
Постоянное выходное напряжение, В	Программируемое с шагом 0,012 в диапазоне 44–58 В	52	48
Код для заказа	150039274	150034309	150045497
Эффективность, % (50% нагрузки, 25 °С)	96,5		
Форм-фактор Rack Mount	1RU		
Удельная мощность, Вт/дюйм ³ (3 фазы)	30		
Интерфейс управления и контроля параметров работы	Два интерфейса I ² C совместимых PMBus	Изолированный RS485	
Коррекция коэффициента мощности (PF при нагрузке 50–100%)	Типовое значение 0,995		
Напряжение пробоя изоляции, переменный ток, В	2087		
Постоянное напряжение пробоя «выход–шасси», В	500		
Диапазон рабочих температур, °С	–10...+75		
Диапазон предельно допустимых входных напряжений, переменный ток, В	320–530		
Допустимый разбаланс фаз входного напряжения, %	–15...+10		
Пulsации напряжения на выходе, в полосе 5 Гц–20 МГц, пик–пик, мВ	250		
Рассеиваемая тепловая мощность (100% нагрузки), Вт	250		
Элементы защиты	Защита по напряжению, току и температуре		
Аварийный режим	Автоматическое переключение на аварийный модуль с захватом активной нагрузки		
Вспомогательный запасной выход	+5 В/0,75 А	Нет	
Охлаждение	Встроенный вентилятор с контролируемой скоростью вращения		
Удаленное включение/выключение	Remote ON/OFF		
Индикация режимов работы	Три светодиода		
Сервисное время жизни	Не менее 10 лет (80% нагрузки, +35 °С)		
Сертификаты и стандарты	EN/IEC/UL/CSA C22.2 60950-1 2nd edition +A1, CCC, FCC part 15, EN55022 Class A standards; CE mark; EN61000; IPC 9592 Class II standards, EN55022, FCC part 15, EN61000-3-2, Telcordia GR1089-COR, ANSI C62.41-2002, ENV 50140		

По выходу уровни защиты составляют: 59 В — отключение в течение 200 мс; 65 В — немедленное отключение. Температурная защита отключает модуль при 95 °С. В конвертерах серии GP100H3 предусмотрен режим аварийного переключения.

При параллельном включении в случае отказа одного модуля происходит автоматическое переключение на аварийный модуль с захватом активной нагрузки.

На передней панели модулей имеются три индикаторных светодиода, соответствующие различным режимам работы. Зеленый цвет светодиода AC_OK указывает на нормальные параметры переменного тока на входе. Второй светодиод DC_OK LED указывает на состояние выходного напряжения: зеленый цвет — нормальный режим работы; мигающий зеленый — перегрузка по току или напряжению; диод не горит — нет напряжения на выходе. Третий светодиод соответствует аварийной ситуации: постоянный красный цвет — неисправности в работе и преобразователь будет отключен; мигающий красный — неисправность в системе контроля.

Базовые технические характеристики трехфазных AC/DC-конвертеров серии GP100H3M приведены в таблице.

Следует подчеркнуть чрезвычайно низкий для таких типов AC/DC-конвертеров уровень пульсаций выходного на-

пряжения. Благодаря инновационным разработкам Critical Power в модели GP100H3M54TEZ поддерживаются следующие уровни пульсаций выходного напряжения (48 В):

- среднее значение в полосе 5–200 МГц — 100 мВ;
- в размахе (от пика до пика) в полосе 5–200 МГц при нагрузке больше 10% FL — 250 мВ, меньше 10% FL — 400 мВ.

Для контроля параметров работы, управления и программирования в преобразователях серии GP100 можно использовать три разных метода: аппаратный; с помощью интерфейса I²C, совместимого с PMBus; с использованием протокола GE Galaxy на базе RS485.

Наибольшей функциональностью обладает модель 100H3M54TEZ. Поэтому остановимся на ее описании более подробно. Структурная схема организации контроля параметров и управления преобразователя GP100H3M54TEZ показана на рис. 7.

Преобразователь GP100H3M54TEZ имеет три независимых микроконтроллера (МК). Первый МК (primary μ Controller) ответственен за работу входного каскада. Второй (secondary μ Controller) управляет работой вторичного импульсного DC/DC-конвертера, преобразующего выпрямленное переменное напряжение в постоянное 48 В. Третий обеспечивает работу последовательных интерфейсов (I²C Interface μ Controller). Каждый из перечисленных МК имеет

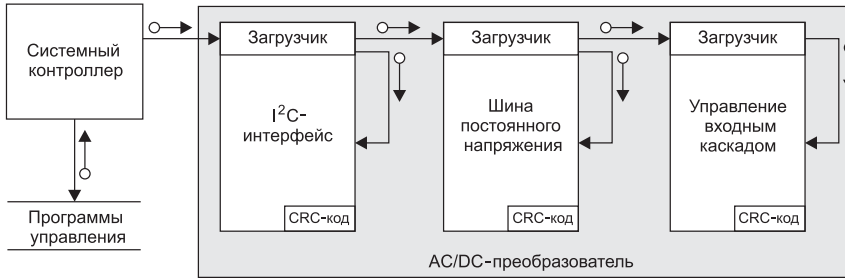


Рис. 7. Структурная схема организации контроля параметров и управления преобразователя GP100H3M54TEZ

свой собственный загрузчик и персональный раздел в энергонезависимой памяти. Энергонезависимая память используется для хранения параметров и конфигурации настроек режимов работы преобразователя. Следует обратить внимание на то, что не все настройки автоматически сохраняются в этой энергонезависимой памяти. Перечень сохраняемых параметров определяется таблицей команд, подробное описание которых приведено в технической документации на модель GP100H3M54TEZ [13].

Структурная схема работы последовательного интерфейса конвертера GP100H3M54TEZ под управлением цифрового сигнального процессора (DSP) показана на рис. 8.



Рис. 8. Структурная схема работы последовательного интерфейса конвертера GP100H3M54TEZ под управлением цифрового сигнального процессора (DSP)

В схеме преобразователя GP100H3M54TEZ цифровой сигнальный процессор (DSP), привязанный к шине Vout (-), обеспечивает дополнительные функции управления.

В конструкции AC/DC-конвертера GP100H3M54TEZ реализованы два независимых интерфейса I2C_0 и I2C_1, которые поддерживают свойство гарантированного электропитания с избыточностью N+1. Две независимые линии I2C позволяют последовательно запрашивать параметры работы конвертера и своевременно их корректировать. Так, например, короткое замыкание или обрыв соединения в одной из линий шины I2C не повлияет на способность передачи данных по другой линии I2C.

В преобразователе GP100H3M54TEZ все сигнальные линии, резервный выход и шины I2C привязаны к логическому нулю (Logic_GRD), который имеет емкостную связь с землей шасси (Frame_GRD) внутри преобразователя и гальванически изолирован от его выхода. Максимальная разность потенциалов между Logic_GRD и Frame_GRD не должна превышать 100 В. Поэтому необходимо подсоединять вывод Logic_GRD к шине надежного заземления конечного оборудования.

Двунаправленный цифровой изолятор предназначен для развязки интерфейсов I2C, силовой GRD, Vout (-) и Logic_GRD. Таким образом, реализуются гальванически разделенные каналы передачи цифровых сигналов, согласование уровней логических сигналов и исключение паразитных контуров с замыканием через зем-

лю. В отличие от оптронной развязки, в цифровом изоляторе по каждому каналу передается высокочастотный модулированный радиосигнал. Цифровой изолятор имеет линии данных (SDA), линии синхронизации (SCL), а также дополнительные однонаправленные линии сигналов управления передачей данных. Кроме того, этот изолятор оснащен схемой защиты от ошибок передачи данных, обусловленных подключением обесточенного устройства к работающей системе. Это свойство чрезвычайно важно при «горячей замене», когда неисправный блок заменяется без отключения питания всей стойки.

МК I2C μ Controller определяет инструкции обмена данными с сигнальным процессором DSP, а также обеспечивает независимое управление двумя шинами — I2C_0 и I2C_1. Этот МК при включении питания предназначен по умолчанию для управления интерфейсом I2C_0. В случае когда используется только один последовательный интерфейс, хост-контроллер должен быть подключен к шине через I2C μ Controller к шине I2C_0. В этом случае линия другого интерфейса — I2C_1 — будет полностью прозрачна и не задействована.

На рис. 9 показан пример использования двух независимых линий последовательного интерфейса. В этом случае используются два независимых хост-контроллера, один из которых должен быть подключен к шине I2C_0, а другой — к шине I2C_1. При включении питания хост «А» будет управлять линией I2C_0. В случае аварии управление по линии I2C_1 в автоматическом режиме будет передано хосту «В».

Параметры режима работы интерфейса I2C могут быть установлены таким образом, чтобы он автоматически перезапускался в случае, если в течение пяти секунд не будет зарегистрирована активность на его сигнальных линиях. Такой вариант используется для контроля ситуации, когда I2C μ Controller по какой-то причине при начальном запуске не успевает сработать и «подвешивает» линию.

Хост-контроллер всегда выступает в роли «мастера» по отношению к «ведомому» последовательному

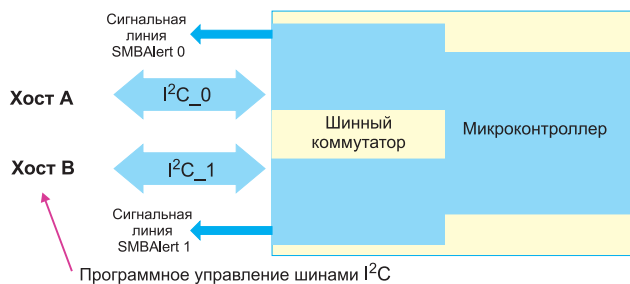


Рис. 9. Пример использования двух независимых линий последовательного интерфейса I2C_0 и I2C_1 конвертера GP100H3M54TEZ

интерфейсу, управляемому с помощью встроенного МК (I²C μ Controller). Микроконтроллер AC/DC-преобразователя играет роль «ведомого» и не может инициализировать соединение с хостом или управлять тактовой частотой по собственной инициативе. Поэтому он должен оперативно реагировать на внешние команды в соответствии с тактовой частотой, задаваемой хост-контроллером. Однако может возникнуть ситуация, когда I²C μ Controller не успевает работать с тактовой частотой, задаваемой контроллером хоста. В этом случае используется механизм удержания тактовых импульсов (Clock Stretching), который позволяет интерфейсу I²C задержать тактовые импульсы и снизить скорость передачи. Максимальный интервал Clock Stretch в этом AC/DC-конвертере составляет 25 мс.

Интерфейс I²C, используемый в модели GP100H3M54TE, совместим с открытым стандартом систем электроснабжения PMBus, который позволяет проектировать сложные системы питания и управлять силовыми устройствами различных производителей с центрального диспетчерского сервера.

Кроме стандартных двух сигнальных линий интерфейса I²C (I²C Serial Clock Line и I²C Serial Data Line), в модели GP100H3M54TEZ поддерживается линия SMBUSLERT#, соответствующая интерфейсу PMBus. Линия SMBUSLERT# определяет запрос прерывания, который инициирует работу с протоколом обработки аварийных событий.

Модель GP100H3M54TEZ полностью соответствует требованиям спецификации Power Management Bus, rev1.2 [15]. Скорость передачи при использовании PMBus в модели GP100H3M54TEZ может быть запрограммирована в диапазоне 10–400 кГц.

Стандарт PMBus определяет систему команд, предназначенных для управления режимами работы преобразователя, включая такие важные функции, как мониторинг выходного напряжения, регистрация и устранение сбоев, удаленное включение/выключение, контроль предельных эксплуатационных значений и др. Например, команда *Vout_Command* (0x21) используется для динамического изменения выходного напряжения. Кроме того, эта команда позволяет изменять заводские настройки параметров отсечки напряжения на выходе преобразователя. Команда *lout_OC_fault_limit* (0x46) устанавливает аварийные значения выходного тока, при которых преобразователь автоматически выключается. Команды *Fan_config_1_2* 0x3A, *Fan_command_1*, *Read_fan_speed_1* предназначены для управления работой системы теплоотвода. Подробно команды стандарта PMBus, поддерживаемые в модели GP100H3M54TEZ, описаны в руководстве пользователя [13].

Все действия, реализуемые через интерфейс PMBus, должны соответствовать протоколу Packet Error Checking (PEC). Мастер интерфейса PMBus должен генерировать корректные PEC-пакеты для любых транзакций, а также проверять PEC-сообщения, полученные от микроконтроллера преобразователя. Кроме программного управления преобразователем через интерфейс PMBus, можно также некоторые функции — такие, например, как контроль выходного напряжения, — реализовать через аппаратный вывод *Vprog*. Если напряжение на выводе *Vprog* меньше 3 В либо этот вывод не подключен, контроль выходного напряжения осуществляется аппаратно. Если напряжение на *Vprog* превышает 3 В, аппаратный контроль отключается. В этом варианте управление преобразователем будет осуществляться через последовательный интерфейс. Уровень напряжения на выводе *Vprog* устанавливается с помощью внешнего регулируемого источника опорного напряжения, позволяющего регулировать выходное напряжение преобразователя с высокой точностью. На рис. 10 показаны заводские установки состояния вывода *Vprog*, определяющие выходное напряжение.

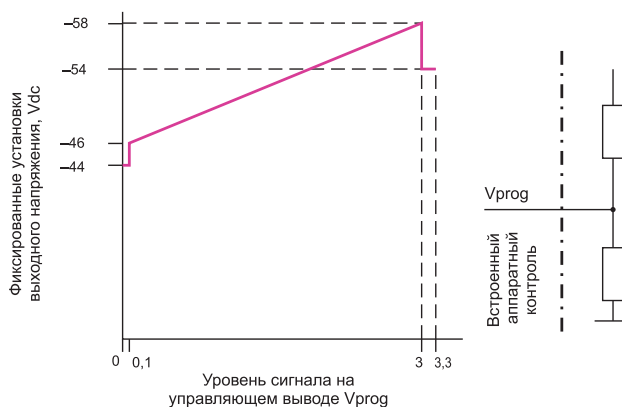


Рис. 10. Заводские установки состояния вывода *Vprog*, определяющие выходное напряжение преобразователя GP100H3M54TEZ

В качестве другого примера аппаратного управления можно отметить вывод ON/OFF. Низкое состояние этого вывода относительно *Logic_GRD* включает модуль. Подробно все управляющие выходы описаны в [13].

Важной отличительной особенностью модели GP100H3M54TEZ является процесс «горячей замены» неисправного блока, при котором в системах с дублированием N+1 в аварийной ситуации обслуживание переходит на запасной блок в автоматическом режиме. При этом запасной выпрямитель, находящийся в выключенном состоянии, самостоятельно перепрограммирует свои параметры и подключится к сети в автоматическом режиме.

В системах электроснабжения, в которых допускается замена блоков без отключения питания стойки, возможна механическая замена одного блока на другой в рабочем режиме. Если хост-контроллер обнаружил неисправность какого-либо блока, он дает соответствующую команду на активизацию процесса «горячей замены». В процедуре «горячей замены», в первую очередь, определяется адрес заменяемого блока. Преобразователю потребуется около 15 с, чтобы настроить свой адрес на шине. Получив этот адрес,

хост-контроллер выдаст разрешение на замену. При этом загорится соответствующий индикаторный светодиод. Через 15 с хост-контроллер снова опросит систему, чтобы определить, какой именно преобразователь был заменен. При «горячей замене» важно, чтобы внутренние настройки преобразователя соответствовали напряжениям и токам на входных и выходных шинах, которые определяются текущими условиями эксплуатации конечного оборудования. Если текущие входные и выходные параметры системы не соответствуют установленным настройкам преобразователя, то он не включится в автоматическом режиме, а будет ожидать дальнейших инструкций от хоста.

На аппаратном уровне процесс «горячей замены» контролируется с помощью вывода Interlock. Напряжение на этом выводе показывает, выключился ли преобразователь до того, как были разъединены силовые контакты, и включился ли он после того, как силовые клеммы были соединены. Более подробно процесс «горячей замены» описан в технической документации на эту модель [13].

Следует обратить внимание еще на одну важную область использования конвертера GP100H3M54TE. В системах гарантированного электроснабжения при авариях первичной сети жизненно важные блоки должны практически мгновенно переключаться на резервное аккумуляторное питание. На следующем этапе через некоторое время запустится дизель-генератор, который возьмет на себя функции первичного источника электропитания.

Благодаря тому что в преобразователе GP100H3M54TE предусмотрена возможность программируемых режимов работы, он может быть использован в качестве зарядного устройства аккумуляторных батарей в системах гарантированного электроснабжения. Поскольку этот преобразователь может контролировать и управлять токами заряда и напряжением на аккумуляторе, он может обеспечить безопасный, своевременный и надежный режим заряда резервных аккумуляторов.

В AC/DC-конвертерах GP100H3M54TE предусмотрена процедура обновления программного обеспечения всех трех встроенных МК. Программы для этих МК написаны специалистами GE Critical Power на языке Visual Basic, и для квалифицированных пользователей, желающих модернизировать ПО, скрипты этих программ, в принципе, доступны. Для тех пользователей, которые не хотят вникать в тонкости программного обеспечения, существует комплект разработчика Re-programming kit GE Critical Power. Он содержит полный набор программно-аппаратных средств, необходимых для перепрограммирования встроенных МК конвертера GP100H3M54TE.

Две другие модели серии GP100 — GP100H3R48TEZ и GP100H3R48TEZ-IN11 — в отличие от модели GP100H3M54TE оснащены интерфейсом RS485. Для работы с этим протоколом использован протокол GE Galaxy, RS485.

Конвертер GP100H3R48TEZ рассчитан на работу с выходным напряжением 52 В, а GP100H3R48TEZ-IN11 имеет выходное напряжение 48 В. В остальном технические характеристики этих моделей совпадают, поэтому нет оснований перечислять их заново.

Заключение

Фирма GE Critical Power, структурное подразделение глобального концерна General Electric, предлагает широкий диапазон продуктов и услуг, необходимых для построения систем электропитания любого типа архитектуры, начиная от миниатюрных неизолированных POL-модулей и заканчивая крупными энергетическими системами.

Новая серия GP100 трехфазных AC/DC-конвертеров мощностью 6000 Вт, рассчитанная на широкий диапазон входных напряжений 320–530 В, в настоящее время является наилучшим решением для интеллектуальных сетей гарантированного распределенного питания с магистральной шиной 48 В. Два независимых I²C интерфейса, полностью совместимых с PMbus rev1.2, обеспечивают гарантированную работу системы контроля и управления конвертера GP100H3M54TEZ в современных интеллектуальных мощных сетях энергоснабжения, в том числе и в крупных центрах обработки данных.

Благодаря уникальным разработкам фирмы Critical Power в модулях серии GP100 получена рекордная эффективность — 96,5%. Такое значение КПД в совокупности с конструктивом 1U позволило получить для модулей этой серии лучшее на сегодня в своем классе значение удельной мощности, равное 30 Вт на кубический дюйм.

Учитывая рекордно низкий для этого класса преобразователей уровень пульсаций, со средним значением в полосе 5–200 МГц (100 мВ), можно рекомендовать эту серию также для использования в магистральных сетях электропитания высокоточных электронных устройств с низким уровнем шумов.



Литература

1. www.ge.com/ru/
2. www.ge.com
3. www.geindustrial.com/products/critical-power
4. <http://products.geindustrial.com/IndustrialProducts/Dispatcher?CATALOG=ED>
5. www.geindustrial.com/products
6. www.geindustrial.com/products/embedded-power/ac-dc-power-supplies
7. <http://powerblog.vicorpower.com/2012/08/iba-versus-fpa/>
8. www.ti.com/lstds/ti/power-management
9. www.tutorialspoint.com/power_electronics/power_electronics_pulse_converters.htm
10. <https://www.elprocius.com/ac-to-ac-converter-working-and-supplies/>
11. www.club155.ru/circuits-diod-rectifier-3f2h
12. <http://cons-systems.ru/organizatciya-lektrosnabzheniyatcentrov-obrabotki-dannykh>
13. www.geindustrial.com/gsearch/GP100H3M54TE
14. <http://apps.geindustrial.com/publibrary/checkout/850048307>
15. www.pmbus.org