

Входные модули компании GAIA Converter

для высоконадежных источников питания

Разработка любого источника питания ответственного оборудования связана с необходимостью применения схемотехнических решений для защиты от паразитного электромагнитного излучения, различных переходных процессов, просадки напряжения питания и т. д. Для этих целей компания GAIA Converter предлагает отдельные серии вспомогательных компонентов в модульном исполнении, обеспечивающих соответствие требованиям наиболее распространенных международных отраслевых стандартов.

Константин Верхулевский

info@icquest.ru

Введение

Широкое внедрение модульных принципов построения является основой создания современных импульсных источников вторичного электропитания коммерческого и специального назначения. Использование при проектировании отдельных функционально законченных узлов (модулей) позволяет упростить разработку, снизить затраты, повысить надежность и качество электрического питания, а также ускорить процесс получения готового устройства. Кроме того, возможные корректировки в схеме (регулировка диапазона питающих напряжений, необходимость добавления защиты, резервирования и т. д.), возникающие как на этапе разработки, так и при опытной эксплуатации, могут быть внесены в конструкцию без особых проблем.

Многие известные компании, производящие компоненты для источников питания, предлагают широкий выбор устройств в модульном исполнении. Среди них можно отметить VPT, International Rectifier, Vicor, Power One, XP Power. Компания GAIA Converter также ориентируется на данный подход, и в настоящее время номенклатура ее продукции насчитывает более 3500 наименований AC/DC- и DC/DC-преобразователей, а также дополнительных входных модулей для применений, предъявляющих повышенные требования к надежности аппаратуры [1, 2]. Модули изготавливаются серийно, поэтому их цена достаточно привлекательна для изделий такого класса.

Все выпускаемые устройства подразделяются на две категории: для промышленных (Industrial) применений и высоконадежные (Hi-Rel). Первые обеспечивают компромисс между стоимостью и техническими характеристиками, допустимые температуры эксплуатации находятся в пределах $-40 \dots +95$ °C.

Высоконадежные решения предназначены для работы в жестких условиях окружающей среды, например могут использоваться в аэрокосмическом, военном и высокотехнологичном промышленном оборудовании. Они выполнены в герметизированных металлических корпусах, обладающих высокой теплопроводностью в соответствии с военной приемкой, диапазон температур расширен до $-40 \dots +105$ °C. Опционально доступны изделия, способные работать при температуре от -55 °C и прошедшие отбор по стандарту MIL-STD-883C. Для обеспечения возможности использования в системах специального назначения все устройства подвергаются климатическим испытаниям по стандартам MIL-STD-810, MIL-STD-202 и MIL-STD-461. В рамках данной статьи рассматривается только группа высоконадежных модулей.

На рис. 1 приведена предлагаемая компанией GAIA Converter типовая структурная схема источника питания с постоянным и переменным входными напряжениями, каждый из блоков выполняет одну или несколько функций. Для реализации модульной архитектуры питания используются DC/DC-преобразователи мощностью 4–200 Вт, AC/DC-преобразователи с ККМ, рассчитанные на мощность 35–350 Вт, ЭМИ-фильтры на токи 2, 10 и 20 А и напряжения до 50 В, модули поддержания напряжения с выходной мощностью 50–300 Вт и модули защиты от переходных процессов [3].

Несмотря на то, что главной частью любого ИП являются AC/DC- и DC/DC-преобразователи, большое значение имеют и вспомогательные входные модули, позволяющие обеспечить соответствие разрабатываемой схемы регламентирующим стандартам. У GAIA Converter к таким устройствам относятся модули серий FGDS, PGDS, LGDS и HUGD. Рассмотрим их подробнее.

ЭМИ-фильтры

Компоненты данного класса служат для подавления электромагнитных помех во входных цепях импульсных источников питания. При этом использование модульного подхода позволяет подобрать экономически целесообразное для конкретного устройства решение исходя из области применения и, соответственно, руководящих документов, регламентирующих допустимые типы и уровни паразитных воздействий. Помехоподавляющие фильтры FGDS-2A-50V, FGDS-10A-50V и FGDS-20A-50V, выпускаемые GAIA Converter для питающих сетей постоянного тока, рекомендованы производителем для обеспечения требований по электромагнитной совместимости авиационных и военных стандартов DO-160 (версии C, D, E, F и G) и MIL-STD-461 (C, D, E и F). Помимо защиты от наведенных и излучаемых кондуктивных помех, создаваемых в цепях коммутации постоянного тока, они выполняют очень важную роль в ослаблении возникающих на входной шине питания импульсных выбросов напряжения (табл. 1). Все фильтры GAIA Converter способны выдерживать скачки напряжений до 80 В/100 мс (по стандарту MIL-STD-704A/D/E/F) и до 100 В/50 мс (по MIL-STD-1275A/B/C/D).

В таблице 2 представлены их основные технические характеристики. Модули фильтров обладают широким диапазоном рабочих напряжений (9–50 В DC), выходной мощностью до 50 Вт и рассчитаны на уровни тока 2, 10 и 20 А соответственно. Стандартные изделия предназначены для использования в диапазоне рабочих температур –40...+105 °С. Кроме того, доступны дополнительные модификации с допустимой температурой эксплуатации от –55 °С (суффикс /Т в наименовании), а также прошедшие выходные испытания по методам, изложенным в стандарте MIL-STD-883С (суффикс /S).

Все функциональные узлы модулей размещаются в корпусе размерами 35,5×20,5×10,7 мм, предназначенном для сквозного монтажа [4].

Таблица 1. Перечень регламентирующих стандартов для ЭМИ-фильтров GAIA Converter

Стандарт	Методы испытаний	Описание
MIL-STD-461D/E/F	CE102	Эмиссия кондуктивных помех в диапазоне 10 кГц – 10 МГц
	CS101	Восприимчивость к кондуктивным помехам в диапазоне 30 Гц – 150 кГц
	CS114	Восприимчивость к кондуктивным помехам в диапазоне 10 кГц – 400 МГц
	CS115	Устойчивость к кратковременным импульсам напряжения
MIL-STD-461C	CE03	Эмиссия кондуктивных помех в диапазоне 15 кГц – 50 МГц
	CS01	Восприимчивость к кондуктивным помехам в диапазоне 30 Гц – 50 кГц
	CS02	Восприимчивость к кондуктивным помехам в диапазоне 15 кГц – 400 МГц
	CS06	Устойчивость к кратковременным импульсам напряжения
DO-160C/D/E/F/G	–	Эмиссия кондуктивных помех в диапазоне 15 кГц – 152 МГц
	–	Устойчивость к воздействию кондуктивных помех в диапазоне 10 кГц – 400 МГц
MIL-STD-704A/D/E/F	–	Устойчивость к воздействию бросков напряжения 80 В/100 мс
MIL-STD-1275A/B/C/D	–	Устойчивость к воздействию бросков напряжения 100 В/50 мс

Таблица 2. Основные характеристики ЭМИ-фильтров GAIA Converter

Параметр	ЭМИ-фильтры		
	FGDS-2A-50V	FGDS-10A-50V	FGDS-20A-50V
Входные характеристики			
Входное напряжение (ном.), В	28		
Диапазон входных напряжений, В	9–50		
Допустимое импульсное напряжение, В/мс	80/100, 100/50		
Выходные характеристики			
Ток выхода (макс.), А	2	10	20
Выходная мощность (макс.), Вт	50	150	300
Рассеиваемая мощность (макс.), Вт	1	1,4	2,6
Общие характеристики			
Напряжение изоляции корпус-вывод (мин.), В	500		
MTBF (наземное оборудование при +40 °С), млн ч	23	27	
MTBF (наземное оборудование при +85 °С), млн ч	6	7	
MTBF (бортовое оборудование при +40 °С), млн ч	12,3	13	
MTBF (бортовое оборудование при +85 °С), млн ч	3,3	3,5	

Корпус, герметизированный компаундом, обеспечивает защиту элементов от механических повреждений, а также эффективный отвод тепла во внешнюю среду, его тепловое сопротивление составляет 16 °С/Вт. Значение среднего времени наработки на отказ (MTBF), вычисленное для различных условий эксплуа-

тации по стандарту MIL-HDBK-217F, может достигать 27 млн ч.

ЭМИ-фильтры компании GAIA Converter позиционируются для совместной работы с DC/DC-преобразователями напряжения серий MGDМ и CGDM с номинальной выходной мощностью 4–50 Вт. Согласно типовым

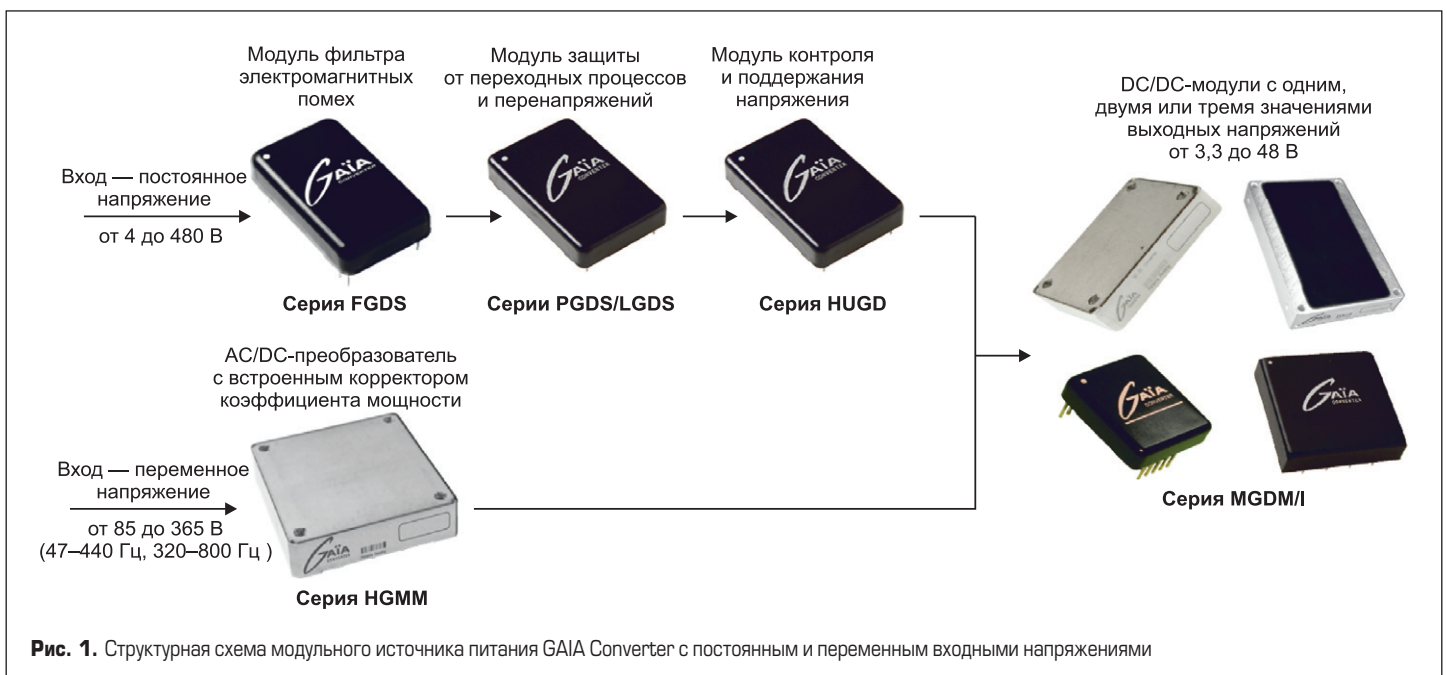


Рис. 1. Структурная схема модульного источника питания GAIA Converter с постоянным и переменным входными напряжениями

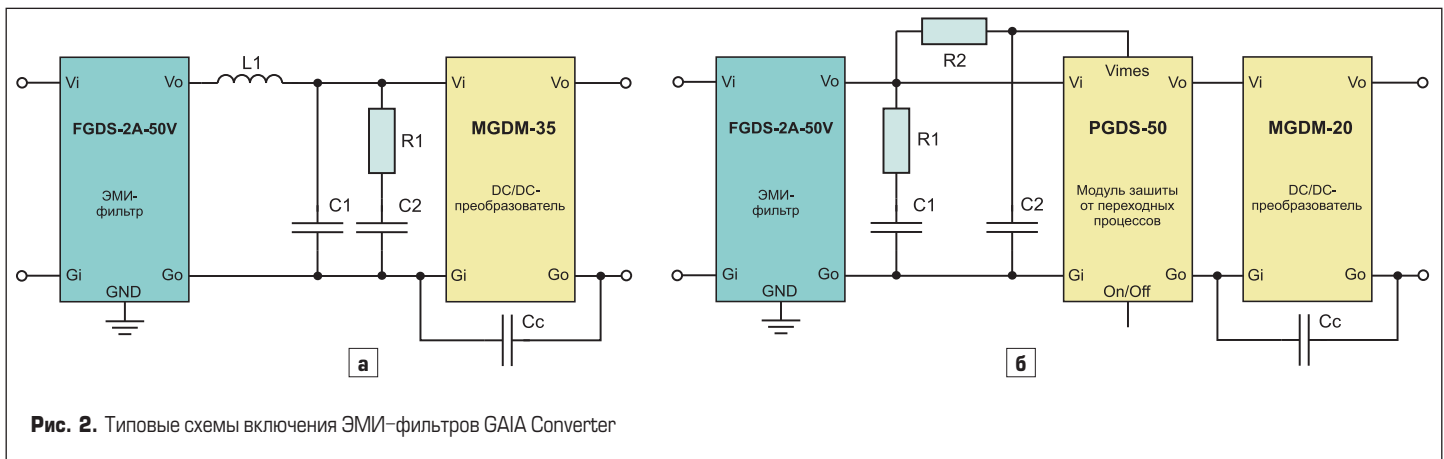


Рис. 2. Типовые схемы включения ЭМИ-фильтров GAIA Converter

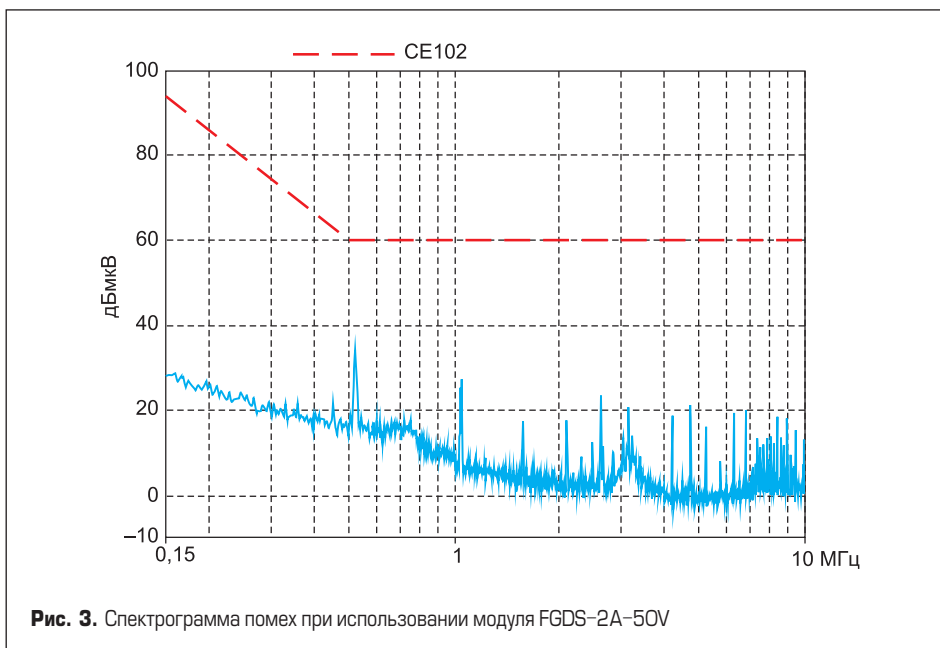


Рис. 3. Спектрограмма помех при использовании модуля FGDS-2A-50V

схемам включения они устанавливаются непосредственно перед конвертерами (рис. 2а) либо перед модулями защиты от переходных процессов в случае их использования (рис. 2б).

Оценка эффективности ЭМИ-фильтров GAIA Converter проводится с примени-

ем эквивалента сети (LISN, Line Impedance Stabilization Network). На рис. 3 представлена типовая характеристика, полученная при использовании модуля FGDS-2A-50V и DC/DC-преобразователя MGDM-10. Как видно, реальный уровень помех, измеренный в дБмкВ,

не превышает нормированное значение CE102, заданное в стандарте MIL-STD-461E.

Модули защиты от переходных процессов

Данные изделия обеспечивают защиту от импульсных помех, шумов и нестационарных процессов, возникающих во входной шине питания. К устройствам высоконадежного назначения, разработанным для применения в военной и аэрокосмической сферах, относятся три серии — PGDS-50, LGDS-100 и LGDS-300. Для них характерна работа в следующих режимах [5]:

- **Нормальный режим.** Используется, когда входное напряжение лежит в пределах номинального диапазона, при этом модуль практически не оказывает влияния на работу источника питания.
- **Режим подавления переходных процессов.** Срабатывает при появлении на входе импульсов напряжений, уровни которых превышают пороговые значения, заданные для каждой серии. Модуль ограничивает их величину с целью обеспечения соответствия требованиям международных стандартов MIL-STD-704A/D/E/F, EN2282, AIR2021E, DO160D (категории A, B и Z) и MIL-STD-1275A/B.
- **Режим поддержания выходного напряжения.** Доступен только в модулях серии PGDS-50, включается при уменьшении напряжения входной шины вплоть до 6 В. Встроенная повышающая схема обеспечивает на выходе уровни рабочего напряжения, необходимые для функционирования DC/DC-преобразователя.
- **Аварийный режим.** Запускается при критическом снижении напряжения питания, превышении максимального выходного тока (коротком замыкании), температуры корпуса и других условиях срабатывания. Модуль блокируется до устранения причин. Входные модули серии PGDS-50 оптимизированы для получения высокого КПД (до 96%) в диапазоне мощностей 4–50 Вт. В рамках серии выпускаются две стандартные модели: PGDS-50-N-K, способная работать при просадке напряжения до 10 В в течение 30 с и ограничивать переходные процессы величиной 80 В/100 мс, а также PGDS-50-O-K с аналогичными параметрами 6 В/1 с и 100 В/50 мс. Они предназначены для адаптации

Таблица 3. Основные параметры модулей защиты от переходных процессов производства GAIA Converter

Параметр	Модули защиты от переходных процессов			
	PGDS-50-N-K	PGDS-50-O-K	LGDS-100	LGDS-300
Входные характеристики				
Диапазон входных напряжений (тип.), В	17–37	12–37	9–42	
Время запуска, мс	15		6	
Допустимая величина переходных процессов (макс.), В/мс	80/100	100/50	202/350	100/50
Допустимая величина падения входного напряжения, В/с	10/30	6/1	–	
Ток собственного потребления (мин.), мА	25		10	
Выходные характеристики				
Выходные напряжения (тип.), В	16–40	9–36	$V_{in} - 125 \text{ мВ}$	$V_{in} - 150 \text{ мВ}$
КПД, %	96	98	99	
Выходная мощность (макс.), Вт	50	100	300	
Общие характеристики				
Встроенные схемы защиты	UVLO		UVLO, OCP, OTP, ICL	
Частота переключения, кГц	500		–	
Сопrotивление изоляции корпус-вывод (при 500 В), МОм	100		100	
MTBF (наземное оборудование при +40 °С), млн ч	1,7	1,3		
MTBF (наземное оборудование при +85 °С), млн ч	0,71	0,425		
MTBF (бортовое оборудование при +40 °С), млн ч	0,85	0,675		
MTBF (бортовое оборудование при +85 °С), млн ч	0,36	0,25		

напряжения питания DC/DC-преобразователей с входными диапазонами 16–40 и 9–36 В соответственно. Модули PGDS-50 могут эксплуатироваться в диапазоне температур –40...+105 °С (опционально –55 °С), конструктивно выполнены в металлических анодированных корпусах габаритами 40×26×8 мм. Остальные характеристики представлены в сводной таблице 3.

Упрощенная структурная схема модулей PGDS-50 показана на рис. 4. Из дополнительных особенностей можно отметить наличие вывода дистанционного управления (On/Off), отключение модуля осуществляется подачей сигнала с низким логическим уровнем (<0,2 В) относительно контакта Gi. Вывод Vimes, служащий для измерения уровня входного напряжения, соединяется с входом Vi напрямую либо через RC-фильтр для уменьшения возможного паразитного воздействия.

На рис. 5 изображена типовая зависимость выходного напряжения от входного для модуля PGDS-50-N-K. Здесь при уменьшении напряжения на входе ниже 16 В (минимально допустимого для DC/DC-модуля) подключается «бустерная» схема, поддерживающая необходимый уровень напряжения. Блокировка модуля включается при дальнейшем уменьшении напряжения до 9 В, обратное включение выполняется автоматически и возможно только при достижении 12 В.

LGDS-100 и LGDS-300 — однотипные малогабаритные входные модули с функцией подавления переходных процессов и импульсных помех, рассчитанные на максимальную выходную мощность 100 и 300 Вт соответственно. Они рекомендованы для ограничения импульсов с параметрами 202 В/350 мс (стандарт DEF-STAN 61-5, ч. 6), 100 В/50 мс (MIL-STD-1275A/B/C/D) и 80 В/100 мс (MIL-STD-704A/D/E/F, EN2282, AIR2021E и DO160). Корпусное исполнение и рабочие температуры соответствуют модулям серии PGDS-50, металлический корпус размерами 40,3×26,3×12,8 мм заливается двухкомпонентным теплопроводным компаундом и не требует применения дополнительного радиатора. Максимальный уровень рассеиваемой мощности достигает 1,5 Вт при номинальном входном напряжении и токе выхода 10 А.

Интегрированные схемы защиты от пониженного напряжения на входе (UVLO, Under Voltage Lock-Out), превышения максимального тока выхода (OCP, Over Current Protection), перегрева

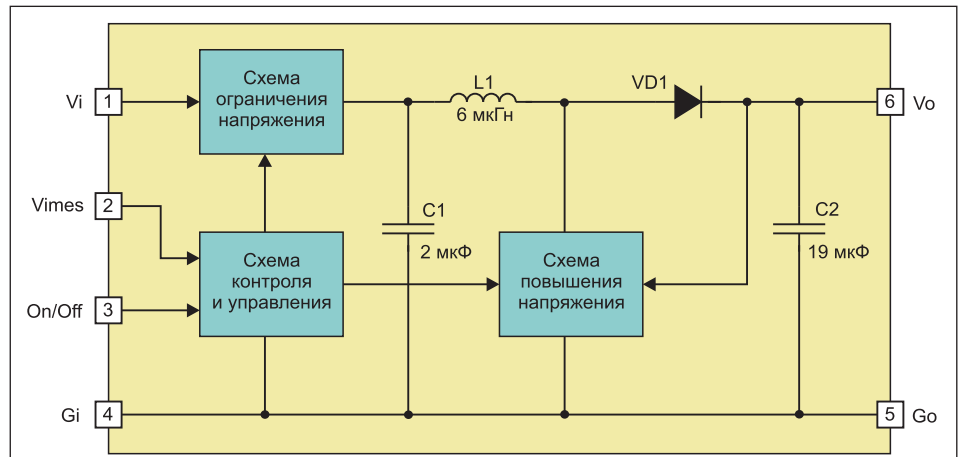


Рис. 4. Упрощенная структурная схема модуля серии PGDS-50

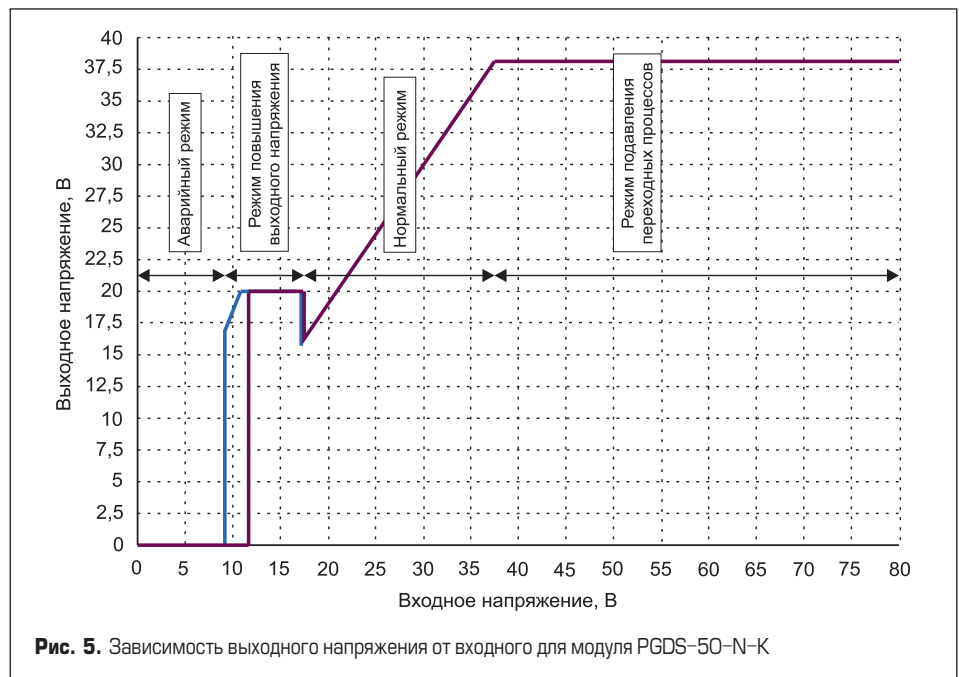


Рис. 5. Зависимость выходного напряжения от входного для модуля PGDS-50-N-K

(OTP, Over Temperature Protection) и ограничения пускового тока (ICL, Inrush Current Limitation) обеспечивают безопасность функционирования. Первые три из них являются источником принятия решения о переходе модуля в аварийный режим. Пороговые значения схемы UVLO устанавливаются при производстве, запуск осу-

ществляется при падении напряжения до 7 В, отключение — при 9 В. Схема OTP блокирует модуль при достижении внутренней температуры +120 (±5%) °С, повторное включение происходит только после остывания на величину соответствующего гистерезиса (рис. 6а). Непрерывная защита по току (рис. 6б) срабатывает, если

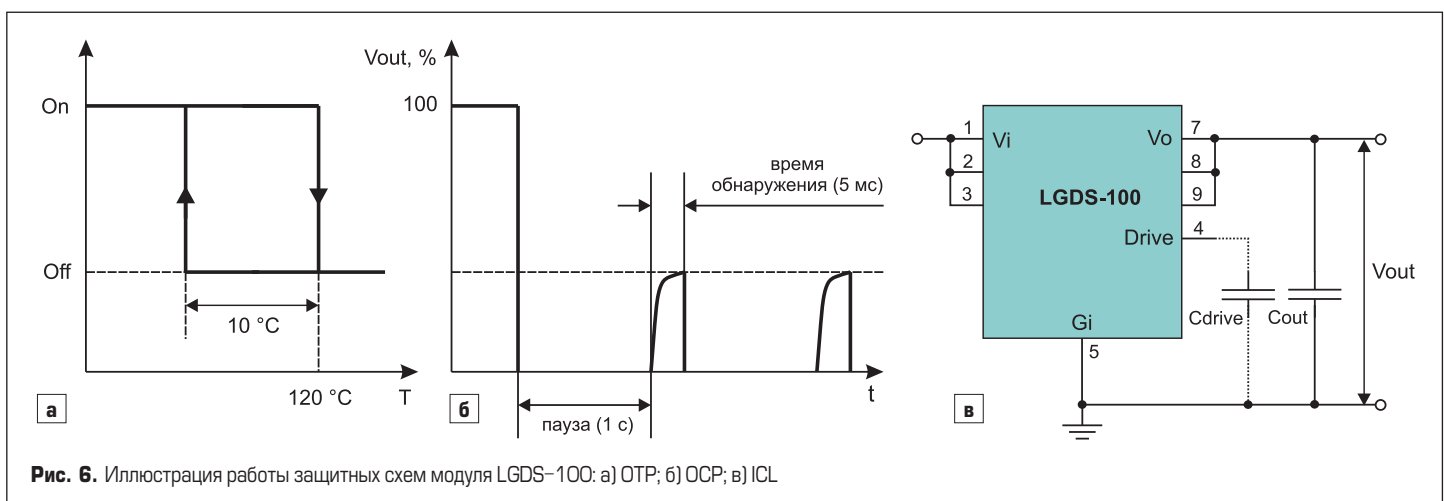


Рис. 6. Иллюстрация работы защитных схем модуля LGDS-100: а) OTP; б) OCP; в) ICL

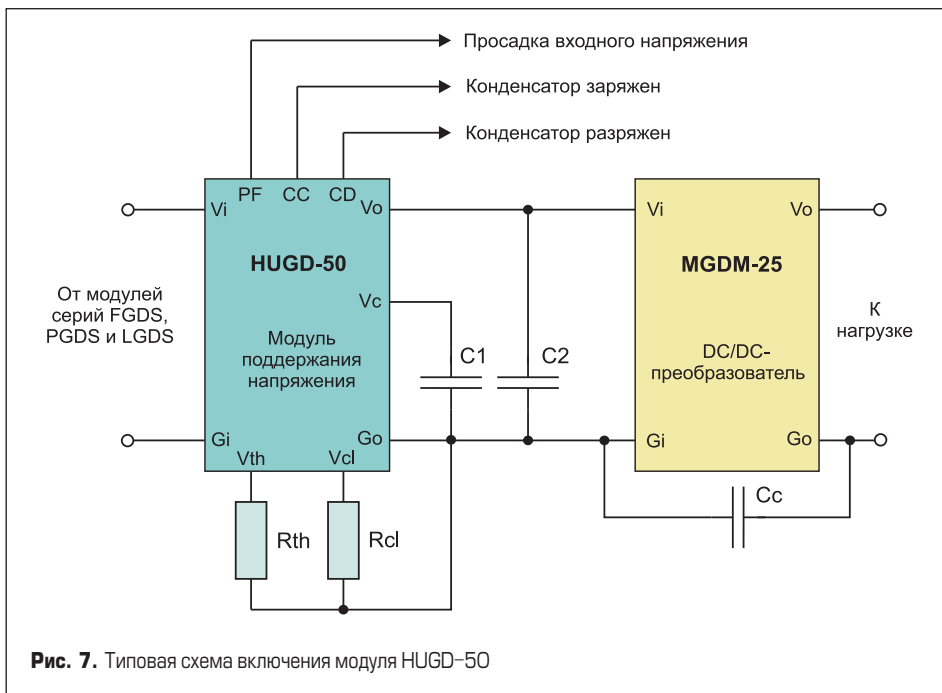


Рис. 7. Типовая схема включения модуля HUGD-50

сопротивление нагрузки оказывается слишком малым, а ток превышает определенное пороговое значение: 19 А для LGDS-100 и 30 А для LGDS-300. В этом случае модуль переходит в пульсирующий (hiccup) режим работы, в котором он включается на 5 мс для определения наличия перегрузки и выключается примерно на 1 с, если это подтверждается. После уменьшения выходного тока ниже заданного порога модуль автоматически стартует в режиме плавного запуска. Величина ограничения пускового тока зависит от скорости нарастания выходного напряжения и определяется из формулы:

$$I_{inrush} = C_{out} \frac{dV_{out}}{dt}$$

где C_{out} — конденсатор, подключенный к выходной шине. По умолчанию скорость dV_{out}/dt задана на уровне 5 В/мс, но может быть изменена при помощи дополнительного конденсатора, соединенного с выводом Drive (рис. 6в).

Модули поддержания напряжения

В требованиях к источникам питания авиационной и военной аппаратуры современные стандарты регламентируют время, в течение которого должно обеспечиваться наличие

выходного напряжения при кратковременном снижении или даже пропадании входного. Так, согласно MIL-STD-704 и DO-160 для сохранения критически важных данных DC/DC-преобразователи должны гарантировать бесперебойную работу всей системы в течение 50–1000 мс, а в некоторых случаях и до 7 с. Обычный способ решения этой проблемы — подключение к входу преобразователей накопительных конденсаторов сверхвысокой емкости, заряжаемых до рабочего напряжения. Их номинальная величина определяется из выражения:

$$C = \frac{2P \times \Delta t}{h(V_1^2 - V_2^2)}$$

где P — выходная мощность; h — КПД преобразователя; Δt — время поддержания; V_1 — начальное напряжение на конденсаторе, V_2 — минимальное входное напряжение преобразователя.

Например, для поддержания рабочего напряжения в течение 200 мс при использовании 25-Вт DC/DC-преобразователя серии MGDM-25 с входным диапазоном 9–36 В и напряжении шины питания 28 В потребуются конденсатор с емкостью не менее:

$$C = \frac{2 \times 25 \times 0,2}{0,87(28^2 - 9^2)} = 16350 \text{ мкФ.}$$

Конденсаторы такой емкости отличаются немалыми габаритами, кроме того, для ограничения значительного пускового тока заряда приходится дополнительно модернизировать входные цепи.

Альтернативным способом является использование специализированных модулей, позволяющих значительно снизить величину накопительного конденсатора [6]. Для данных целей компания GAIA Converter предлагает устройства HUGD-50 и HUGD-300, обеспечивающие контроль напряжения на заданном уровне, выдачу аварийных и информационных сигналов и ограничение входного тока. Зарядка конденсатора до более высокого напряжения (например, до 38 В у модуля HUGD-50) позволяет при аналогичных условиях снизить расчетную емкость практически в два раза:

$$C = \frac{2 \times 25 \times 0,2}{0,87(38^2 - 9^2)} = 8433 \text{ мкФ.}$$

Для модуля HUGD-300, способного зарядить конденсатор до напряжения 80 В, разница будет еще более ощутимой.

Модули HUGD-50 и HUGD-300 с максимальным выходным током 5,6 и 30 А соответственно позиционируются для применения в источниках питания высоконадежных устройств с суммарной выходной мощностью до 300 Вт (табл. 4). Первый из них оптимизирован для совместной эксплуатации с DC/DC-преобразователями с диапазонами рабочих напряжений 9–36 и 16–40 В, второй подходит для устройств с входными рабочими напряжениями 9–45 В и 16–80 В. Обладающие КПД не менее 98% модули данных серий изготавливаются в металлических герметизированных низкопрофильных корпусах промышленного стандарта с размерами 40,2×26,2×8 и 40,2×26,2×12,6 мм. Базовые версии модулей предназначены для эксплуатации при температурах –40...+105 °С, также для ответственных применений доступны компоненты с увеличенным диапазоном рабочих температур и с расширенным перечнем тестовых испытаний согласно стандарту MIL-STD-883C (суффиксы /Т и /S в наименовании соответственно).

Согласно типовой схеме применения (рис. 7) модули HUGD-50 и HUGD-300 подключаются между шиной питания и DC/DC-преобразователями. При необходимости перед ними могут быть использованы фильтры для защиты от электромагнитных помех и переходных процессов (устройства серий LGDS, PGDS и FGDS).

Модули серии HUGD имеют три режима работы, рассмотрим их на примере HUGD-50:

- Режим зарядки. При повышении входного напряжения до порога зарядки, величина которого эквивалентна напряжению аварийного отключения, HUGD-50 начинает заряжать внешний конденсатор до напряжения 38 В, одновременно с этим питая DC/DC-преобразователь. Ток зарядки регулируется в пределах 100 мА — 2 А при помощи внешнего резистора, время зарядки напрямую зависит от уровня тока. Когда на-

Таблица 4. Основные параметры модулей поддержания напряжения компании GAIA Converter

Параметр	Модули поддержания напряжения	
	HUGD-50	HUGD-300
Диапазон входных напряжений, В	9–40	8–100
Ток выхода (макс.), А	5,6	30
Выходная мощность (макс.), Вт	50	300
Рассеиваемая мощность (при полной нагрузке), Вт	2	3,2
Рабочая частота, кГц	200	700
MTBF (наземное оборудование при +40 °С), млн ч	1,5	0,435
MTBF (наземное оборудование при +85 °С), млн ч	0,59	0,145
MTBF (бортовое оборудование при +40 °С), млн ч	0,73	0,22
MTBF (бортовое оборудование при +85 °С), млн ч	0,3	0,085

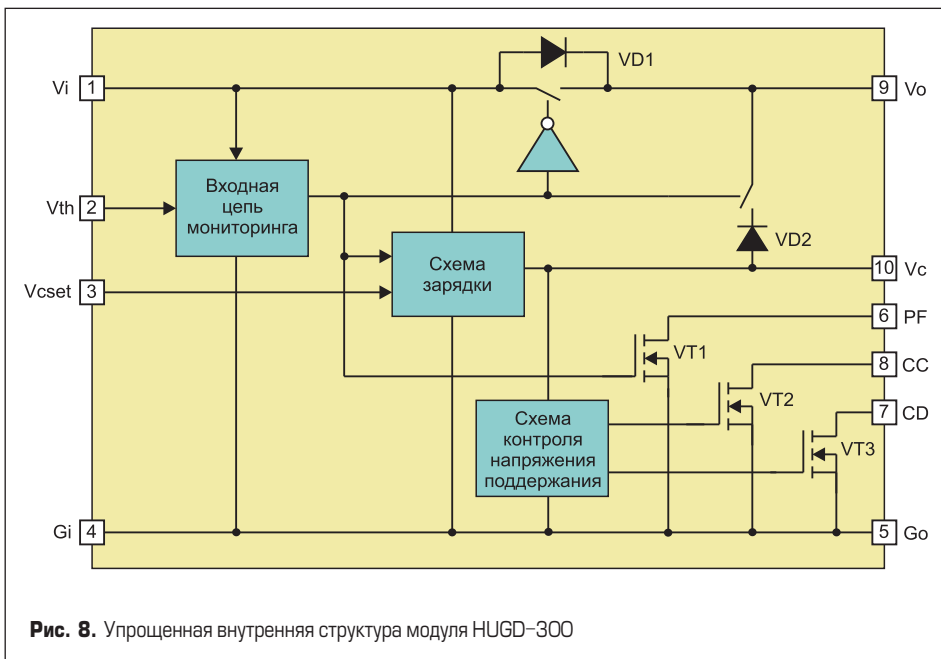


Рис. 8. Упрощенная внутренняя структура модуля HUGD-300

пряжение на конденсаторе достигнет значения 35 В, на выводе CC (capacitor charged) появляется активный сигнал «конденсатор заряжен» и модуль переходит в нормальный рабочий режим.

- Нормальный режим. В данном режиме для поддержания буферного конденсатора в заряженном состоянии HUGD-50 потребляет менее 1 Вт. Напряжение питающей шины лежит в пределах между порогом отключения и 40 В. Падение напряжения вход/выход в худшем случае не превышает 150 мВ.
- Аварийный режим. При низком питающем напряжении модуль отключает вход от выхода и подключает накопительный конденсатор ко входу DC/DC-преобразователей. При разрядке конденсатора практически до уровня аварийного порога на выводе CD (capacitor discharged) активируется сигнал «конденсатор разряжен».

Что касается внутренней структуры, можно выделить три основные части: входную цепь мониторинга, схему зарядки и цепь контроля напряжения поддержания (рис. 8).

Входная цепь осуществляет контроль напряжения шины питания и сравнивает его с пороговым значением V_{th} (аварийное напряжение), которое задается при помо-

щи внешнего резистора R_{th} и регулируется в пределах 8,8–15,3 В у HUGD-50 и 6–20 В у HUGD-300. Выбор величины V_{th} напрямую зависит от диапазона входных напряжений преобразователей (9–36/9–45 В, 10–100 В или 16–40/16–80 В). При уменьшении входного напряжения до порога автоматически подключается схема зарядки, а также генерируется информационный сигнал PF (power fail). Схема зарядного устройства используется для зарядки накопительного конденсатора до заранее предустановленного значения. В этой части есть некоторые отличия. У модулей HUGD-50 регулируется ток зарядки, а у модулей HUGD-300 — максимальное напряжение, до которого можно зарядить накопительный конденсатор (31–80 В). Настройка порогов выполняется при помощи резисторов R_{cl} и R_{set} , подключаемых к выводам V_{cl} и V_{cset} соответственно. Для выбора номиналов резисторов R_{th} , R_{cl} и R_{set} можно воспользоваться графиками из технического описания каждого модуля. Схема контроля напряжения поддержания отслеживает состояние буферного конденсатора. В зависимости от состояния на выводах с открытым стоком (CC или CD) устанавливаются активные флаги, которые мо-

гут быть использованы на системном уровне для управления питанием.

Накопительный конденсатор подключается к выводу V_c . К применению рекомендуются электролитические конденсаторы с низким значением ESR и расширенным диапазоном рабочих температур, при этом номинальная емкость не должна быть менее 470 и более 100 000 мкФ. Для поддержания выходного напряжения на время переключения модуля также необходимо использовать дополнительный буферный конденсатор, подключенный к выводу V_o . Для 300-Вт нагрузки достаточно применить электролитический конденсатор емкостью 330 мкФ, в случае более низких нагрузок эта величина может быть уменьшена.

Заключение

Использование модульного подхода при построении высокоэффективных источников питания гарантирует гибкость и простоту проектирования. Для обеспечения жестких требований стандартов и повышения стабильности работы на входе преобразователей постоянного тока необходимо включать дополнительные модули. Предлагаемые компанией GAIA Converter устройства данного класса, обеспечивающие защиту от воздействия ЭМИ-излучения, переходных процессов и пониженного напряжения шины питания, подходят для большинства высоконадежных применений.

Литература

1. Официальный сайт компании GAIA Converter. www.gaia-converter.com
2. Русскоязычная версия официального сайта www.gaia-russia.ru
3. Некрасов М. Модули преобразователей DC/DC и AC/DC компании GAIA Converter для высоконадежных и промышленных применений // Силовая электроника. 2011. № 2.
4. MIL-STD-461 EMI input filter FGDS-10A-50V: up to 10A current. Datasheet. July 2013. www.gaia-converter.com/docs/ds/FGDS-10A-50V.pdf
5. Hi-Rel limiter module LGDS-100: up to 100W power. Datasheet. November 2017. www.gaia-converter.com/docs/ds/LGDS100.pdf
6. Hi-Rel hold-up module HUGD-300: 300W power. Datasheet. February 2018. www.gaia-converter.com/docs/ds/HUGD300.pdf