

Радиационно-стойкие неизолированные импульсные стабилизаторы напряжения для локального преобразования энергии

Виктор Безродный

В статье представлены радиационно-стойкие неизолированные преобразователи напряжения с низкими значениями выходных напряжений, предназначенные для размещения в непосредственной близости от нагрузки (Point-of-Load, POL) с существенным переходным током. Преобразователи разработаны и производятся китайской компанией, входящей в Китайскую корпорацию электронных технологий (China Electronics Technology Group Corporation – CETC) и предназначены для применения в распределённых системах электропитания бортовой аппаратуры авиационной и космической техники.

Повышение производительности систем обработки и передачи информации в современной бортовой авиационно-космической аппаратуре требует применений микросхем цифровых сигнальных процессоров, FPGA, микросхем памяти, которым требуются низкие напряжения питания от 0,8 до 3,3 В. При этом предъявляются весьма жёсткие требования к стабильности напряжения, так как напряжение меньше требуемого может привести к снижению быстродействия транзисторов логических схем. Кроме того, при переходе цифровых схем от условий обработки при низкой производительности к условиям при высокой производительности возникают значительные переходные процессы в токе нагрузки. Импеданс электрической сети может вызвать задержку при обеспечении переходного тока, что приведёт к выходу напряжения за пределы допустимого для обеспечения нормальной рабо-

ты цифровых нагрузок. Существенно снизить влияние распределённой сети позволяет размещение источников питания в непосредственной близости от нагрузки (Point-of-load, POL). Неизолированные POL-преобразователи напряжения подключаются к промежуточной шине напряжения с номиналом 5 или 12 В, которая формируется мощным преобразователем. Системы питания с промежуточной шиной широко применяются в телекоммуникационном и сетевом оборудовании, автомобильном транспорте. Применение распределённой системы электропитания позволяет управлять включением или отключением некоторых локальных узлов электронного оборудования для уменьшения общего потребления электроэнергии. Для обеспечения длительных сроков функционирования аппаратуры ракетно-космической техники к элементной базе предъявляются исключительно высокие требования к надёж-

ности и стойкости к специфическим дестабилизирующим факторам космического пространства. Особенно важно обеспечить стойкость элементной базы бортовой аппаратуры к воздействию ионизирующих излучений космического пространства по дозовым и одиночным эффектам.

Для применений в распределённых системах электропитания современных цифровых устройств аппаратуры космических аппаратов компанией предлагаются неизолированные радиационно-стойкие преобразователи напряжения с различными выходными токами. Рассмотрим недавно представленные модули питания типа POL HNFA0510SS и HNFA0516SS, созданные по гибридно-плёночной технологии. Хорошие динамические характеристики регулировки выходного напряжения и номинальные значения выходного тока 10 А (HNFA0510SS) и 16 А (HNFA0516SS) обеспечивают полное соответствие требованиям к электропитанию нового поколения FPGA (Field-Programmable Gate Array) Vertex-7. Для обеспечения FPGA питанием необходимо несколько различных низковольтных шин питания с различными требованиями к напряжению и току. Чтобы избежать повреждения FPGA, эти шины должны включаться и выключаться в определённой последовательности. Преобразователи HNFA0510SS и HNFA0516SS выполнены по одинаковой схеме, имеют аналогичные функциональные параметры и отличаются только значениями выходного тока.

Общие характеристики неизолированных стабилизаторов напряжения HNFA0516SS и HNFA0510SS

- Диапазон входного напряжения от 4,5 до 5,5 В, номинальное значение 5 В.
- Выходное напряжение от 0,8 до 3,3 В (регулируемое).
- Выходной ток 16 А (10 А для HNFA0510SS);
- КПД до 94%.
- Удельная мощность 150 Вт/дюйм³ (93 Вт/дюйм³ для HNFA0510SS).

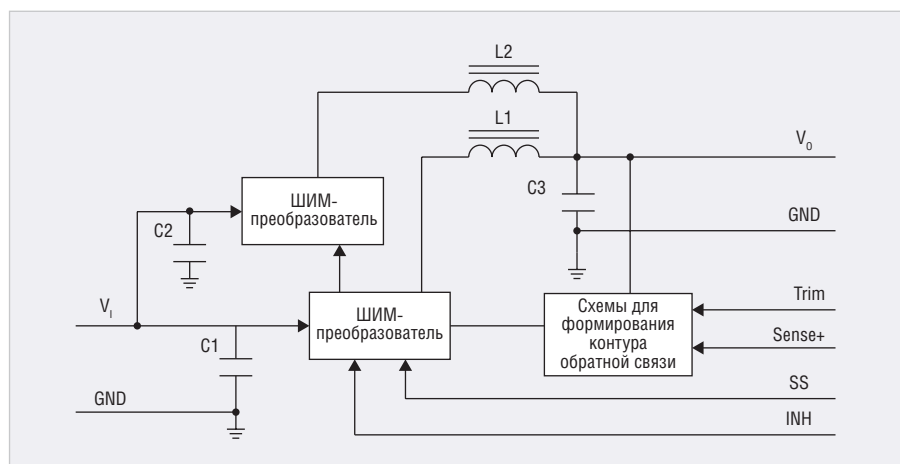


Рис. 1. Структурная схема преобразователей напряжения HNFA0510SS и HNFA0516SS



Рис. 2. Внешний вид конструкции модуля преобразователя напряжения HNFA0516SS

- Структура: понижающий Виск-преобразователь.
- Частота преобразования: фиксированная частота от 395 до 585 кГц, типичное значение 500 кГц.
- Сервисные функции: защита от короткого замыкания, дистанционное включение/выключение.
- Диапазон рабочей температуры от -55 до $+125^{\circ}\text{C}$ (основание корпуса).
- Габаритные размеры: $27,07 \times 27,07 \times 7,81$ мм ($27,57 \times 27,57 \times 8,9$ мм HNTA0510SS).
- Масса: 17 г (≤ 20 г HNTA0510SS).
- Суммарная накопленная доза 100 крад.
- Стойкость к воздействию тяжёлых заряженных частиц с линейными потерями энергии (ЛПЭ) 75 МэВ·см²/мг.
- Значение MTBF 3×10^6 час, рассчитано для условий орбитального космического полёта (SF) при температуре корпуса $+25^{\circ}\text{C}$.

Функциональная структурная схема преобразователей показана на рис. 1.

Для формирования сдвоенной схемы понижающего Виск-преобразователя с параллельной чередующейся схемой используются два кристалла RS0508BCD. Кристалл RS0508BCD объединяет радиационно-стойкие силовые МОП-транзисторы и схемы управления. Сдвоенный чередующийся параллельный выход обеспечивает номинальное значение тока нагрузки 16 А (10 А для HNTA0510SS). Преимуществом подобной схемы является то, что можно избежать концентрации внутренней рассеиваемой тепловой мощности источника питания, распределить тепло более равномерно на поверхности основания корпуса и получить в то же время лучшие динамические характеристики, чтобы полностью соответствовать строгим требованиям к электропитанию FPGA V7.

Конструктивно преобразователь выполнен в корпусе из высокока-

Таблица 1. Тепловые сопротивления неизолированных преобразователей

| Модель | Внутреннее тепловое сопротивление, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ | Размер тепловода, мм | Рассеиваемая мощность, Вт | Материал тепловода |
|------------|---|----------------------|---------------------------|--------------------|
| HNFA0516SS | 2,82 | 240×100×2 | 7,2 | Медь |
| HNTA0510SS | 2,52 | 240×100×2 | 3,3 | Медь |

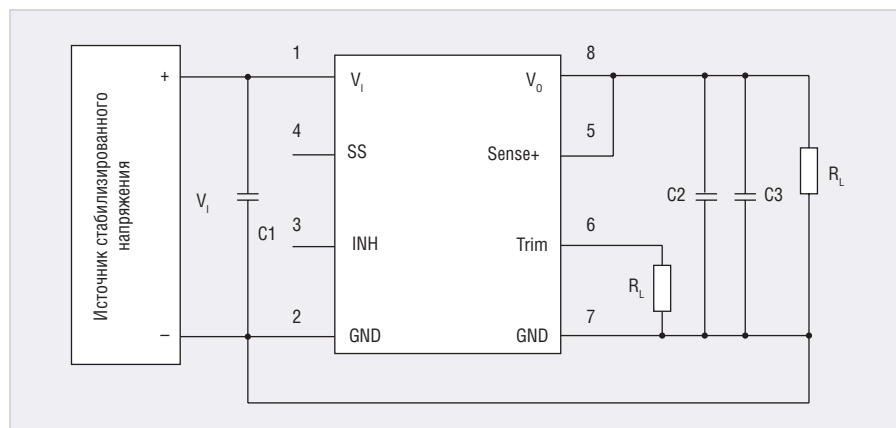


Рис. 3. Типовая схема подключения преобразователя напряжения

чественной холоднокатаной стали. Крышка приваривается с применением энергосберегающей технологии. Металлический корпус преобразователей имеет высокое значение теплопроводности. В табл. 1 приведены тепловые сопротивления модулей, выраженные в $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ рассеиваемой мощности. Для поддержания температуры корпуса ниже $+125^{\circ}\text{C}$ должен использоваться дополнительный теплоотвод. Значение теплового сопротивления используется для определения температуры перегрева модуля относительно окружающей среды и определения температуры окружающей среды, при которой модуль может работать без радиатора. Внешний вид модуля HNFA0516SS показан на рис. 2.

Типовая схема подключения преобразователя приведена на рис. 3.

Рассмотрим назначение выводов преобразователей напряжения и сервисные функции.

Мягкий запуск

Подключением конденсатора C_{SS} между выводами SS (Soft Start) и GND можно управлять скоростью нарастания выходного напряжения V_{OUT} для осуществления функции мягкого запуска, который используется для предотвращения выброса выходного напряжения, что может вызывать возникновение тока перегрузки на шине электропитания. Внутри корпуса стабилизатора между выводом SS и GND установлен конденсатор ёмкостью 22 нФ. Когда к выводу SS не подключён внеш-

ний конденсатор, время установления напряжения на выходе составляет около $3,1$ мс. В том случае, когда необходимо увеличить время установления выходного напряжения, необходимо добавить внешний конденсатор. Время установления выходного напряжения может быть определено по следующей формуле:

$$t_{ss} = V_{REF} \times (C_{SS} + 22 \text{ нФ}) / I_{SS}, \quad (1)$$

где C_{SS} – значение ёмкости конденсатора для задания времени запуска в нФ; V_{REF} – опорное напряжение, типичное значение $0,792$ В; I_{SS} – выходной ток из вывода SS, типичное значение $5,6$ мкА.

Управление включением/выключением

Вывод INH предназначен для организации внешнего управления включением/выключением модуля источника питания. Входная схема командного входа дистанционного включения/выключения внутри преобразователя приведена на рис. 4.

Вывод INH подключён к шине питающего напряжения через «вытягивающий» резистор 100 кОм (R_1), установленный внутри модуля преобразователя. Уровень напряжения на входе INH может управляться внешним переключателем S. Когда ключ S замкнут, и уровень сигнала низкий ($< 0,5$ В), устройство прекращает работу, и выходное напряжение не формируется; когда S разомкнут, уровень напряжения на входе INH высокий, и модуль работает в нормальном режиме и формирует выходное напряжение.

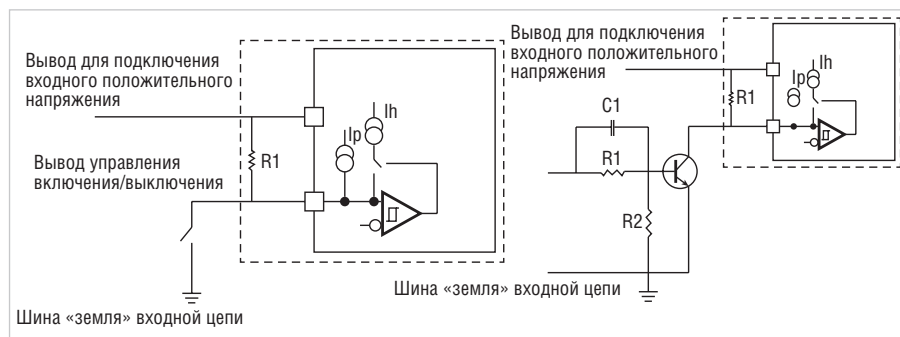


Рис. 4. Схема подключения вывода управления включением/выключением модуля INN

Таблица 3. Динамические характеристики модуля HNFA0516SS

| Параметр | Условия | Минимальный предел | Максимальный предел |
|--|--|--------------------|---------------------|
| Изменение выходного напряжения при изменении нагрузки (пиковое) | $V_o = 3,3 \text{ В}; I_o = 8 \text{ А} \rightarrow 6 \text{ А}$ или $I_o = 16 \text{ А} \rightarrow 8 \text{ А}$ | -300 мВ | +300 мВ |
| Время восстановления выходного напряжения при изменении нагрузки | $V_o = 3,3 \text{ В}; I_o = 8 \text{ А} \rightarrow 6 \text{ А}$ или $I_o = 16 \text{ А} \rightarrow 8 \text{ А}$ | | 350 мкс |
| Задержка появления выходного напряжения | $V_I 0 \rightarrow 5 \text{ В};$ $V_o = 3,3 \text{ В}; I_o = 16 \text{ А}$ | | 5 мс |

Таблица 4. Динамические характеристики модуля HNTA0510SS

| Параметр | Условия | Минимальный предел | Максимальный предел |
|--|---|--------------------|---------------------|
| Изменение выходного напряжения при изменении нагрузки (пиковое) | $V_o = 3,3 \text{ В}; I_o = 5 \text{ А} \rightarrow 10 \text{ А}$ или $I_o = 10 \text{ А} \rightarrow 5 \text{ А}$ | -250 мВ | +250 мВ |
| Время восстановления выходного напряжения при изменении нагрузки | $V_o = 3,3 \text{ В}; I_o = 5 \text{ А} \rightarrow 10 \text{ А}$ или $I_o = 10 \text{ А} \rightarrow 5 \text{ А}$ | | 250 мкс |
| Задержка появления выходного напряжения | $V_I 0 \rightarrow 5 \text{ В};$ $V_o = 3,3 \text{ В}; I_o = 10 \text{ А}$ | | 5 мс |

В том случае, когда нет необходимости в использовании функции управления включением/выключением модуля, вывод INN оставляют «плавающим» или подключают к шине входного напряжения через резистор с номинальным значением 10...100 кОм. Необходимо отметить, что значение напряжения на выводе INN не должно превышать 5,5 В.

Резисторы R1 и R2 делят входное напряжение так, чтобы напряжение на выводе INN находилось в приемлемом диапазоне. Сопротивление R2 должно быть рассчитано и выбрано в сочетании с наивысшим и наименьшим входным напряжением. Сопротивление R2 не должно быть слишком маленьким. Когда входное напряжение имеет наименьшее значение, необходимо удостовериться, что напряжение на выводе INN после деления напряжения имеет значение не менее чем 1,18 В. Когда входное напряжение имеет наивысшее значение, необходимо убедиться, что напряжение на выводе INN после деления напряжения не выше чем 5,5 В. Рекомендуется выбирать резистор R2 с номинальным значением 39 кОм. Когда входное напряжение имеет значение

4,5 В, уровень напряжения на выводе INN около 1,26 В; когда входное напряжение 6 В, напряжение на выводе INN будет примерно 1,68 В.

Регулировка выходного напряжения

Регулировкой сопротивления резистора между выводом TRIM и землёй могут быть получены различные выходные напряжения.

В табл. 2 приведены значения выходного напряжения в зависимости от значения резистора R_{TR} .

Выборка выходного напряжения

Вывод SENSE предназначен для выборки (замера) выходного напряжения. Как правило, вывод SENSE и вывод выходного напряжения V_o соединяются наиболее возможным коротким проводником для обеспечения стабильного напряжения на выводе V_o (вывод 8). Когда выходной ток относительно большой, а источник питания расположен далеко от электрической нагрузки, для исключения падения напряжения, вызванного паразитным импедансом соединительной линии,

Таблица 2. Значения выходного напряжения в зависимости от регулировочного сопротивления

| Выходное напряжение, V_o , В | RTR, кОм, эталонное значение |
|--------------------------------|------------------------------|
| 3,298 | 0,75 |
| 2,514 | 2,2 |
| 1,788 | 5,6 |
| 1,546 | 8,2 |
| 1,230 | 16 |
| 1,006 | 36 |
| 0,8 | Сопротивление не подключено |

можно использовать функцию внешней обратной связи, подключив вывод SENSE непосредственно к входному контакту удалённой нагрузки для обеспечения стабильного напряжения на выводе удалённой нагрузки. Необходимо обратить внимание, что, когда соединительная линия между источником питания и нагрузкой протяжённая, требуется предотвратить влияние на проводник SENSE для предотвращения колебаний выходного напряжения.

Выводы входного и выходного напряжения

Для нормальной работы преобразователя к выводу V_I должен быть подключён конденсатор определённой ёмкости. Рекомендуется применять полимерные танталовые конденсаторы с низким эквивалентным последовательным сопротивлением (ESR). Ёмкость танталового конденсатора должна быть от 100 до 470 мкФ. Входной конденсатор должен быть размещён как можно ближе к выводам V_I и GND.

Внутри модуля на выходе установлен конденсатор фильтра 330 мкФ, но, когда источник питания обеспечивает питанием FPGA, выходной ток модуля преобразователя будет вызывать относительно большие колебания напряжения, для снижения колебаний выходного напряжения рекомендуется также устанавливать определённый танталовый конденсатор на выходном выводе V_o . Рекомендуется применять полимерные танталовые конденсаторы с низким значением ESR, подобным входным конденсаторам. Один танталовый конденсатор может иметь ёмкость от 100 до 680 мкФ. Добавление нескольких керамических конденсаторов улучшит подавление пульсаций. Рекомендуемые ёмкости керамических конденсаторов от 1 до 22 мкФ. Общая ёмкость внешнего выходного конденсатора должна быть в диапазоне от 100 до 5000 мкФ.

Особенности танталовых и керамических конденсаторов, используемых в схемах источников питания и силовых преобразователях, рассмотрены в статье [1].

Динамические характеристики

Импульсное электропотребление современных цифровых устройств предъявляет к преобразователям напряжения жёсткие требования по качеству выходного напряжения при скачкообразном изменении выходного тока.

В табл. 3 и 4 приведены динамические характеристики модулей преобразователей напряжения HNFA0516SS и HNFA0510SS. Размах изменения нагрузки задан в диапазоне 50%.

Для объективной оценки качества обработки преобразователями напряжения импульсной нагрузки в конкретном практическом приложении необходимо запрашивать требуемую информацию у производителя.

Типичные параметрические графики

Пульсации в устойчивом состоянии

При установленных на выходе дополнительных танталовых конденсаторах 330 мкФ и двух керамических конденсаторах 1 мкФ пульсация выходного напряжения составляет 7,8 мВ при выходном напряжении 1 В и токе нагрузки 8 А, и 10,8 мВ при токе нагрузки 16 А и комнатной температуре. На рис. 5 и 6 показаны пульсации выходного напряжения преобразователя HNFA0516SS при разных токах нагрузки.

Зависимость КПД преобразователя HNFA0516SS от тока нагрузки при различных выходных напряжениях и температурах корпуса +25°C, +55°C и +125°C показаны на рис. 7–9. Значение КПД снижается при уменьшении выходного напряжения и повышении температуры корпуса.

Обеспечение оптимального теплового режима позволяет достичь приемлемого срока функционирования устройства, так как повышенная температура увеличивает интенсивность отказов компонентов. Интенсивность отказов удваивается с увеличением температуры на каждые +15°C. Зависимость среднего времени наработки до отказа от температуры для преобразователя напряжения HNFA0516SS представлена на рис. 10.

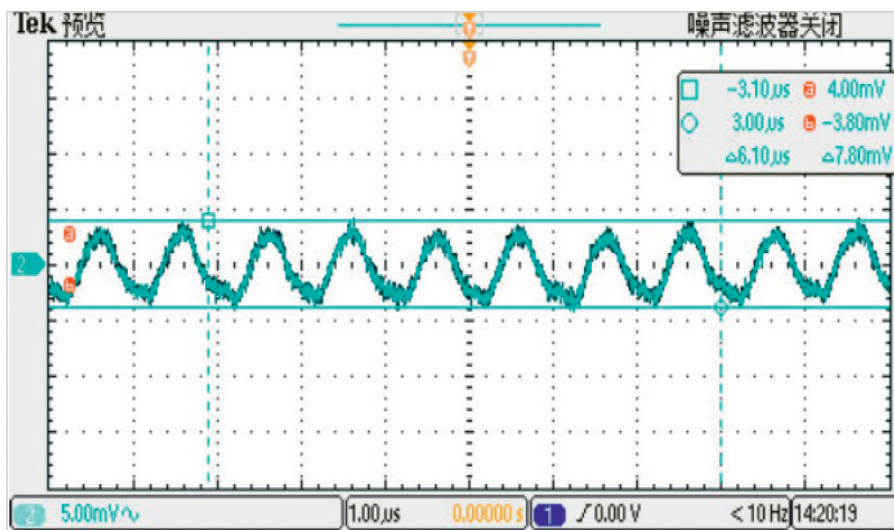


Рис. 5. Пульсация выходного напряжения HNFA0516SS при выходном напряжении $V_0 = 1$ В, токе нагрузки $I_0 = 8$ А, входное напряжение $V_I = 5$ В; $T = +25^\circ$

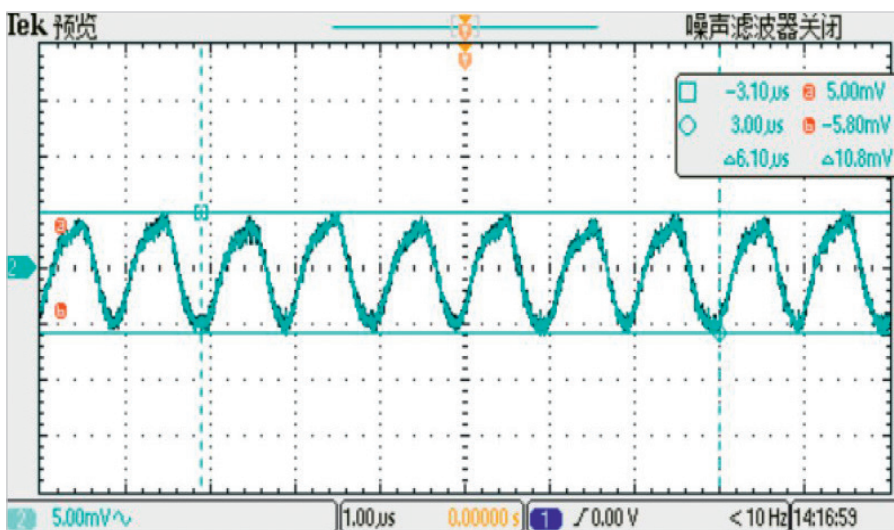


Рис. 6. Пульсация выходного напряжения модуля HNFA0516S при выходном напряжении $V_0 = 1$ В, токе нагрузки $I_0 = 16$ А, входном напряжении $V_I = 5$ В; $T = +25^\circ$

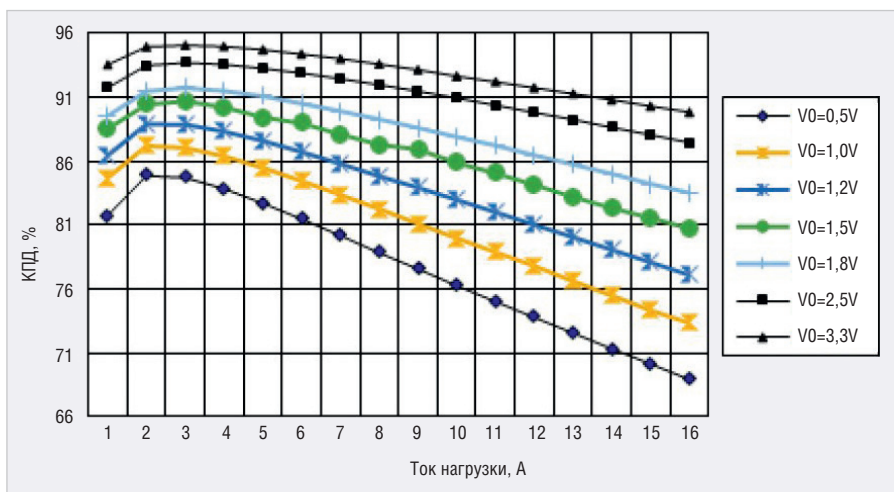


Рис. 7. Зависимость КПД от тока нагрузки при различных выходных напряжениях (температура корпуса 25°C, $V_I = 5$ В)

Защита от короткого замыкания

При коротком замыкании нагрузки модуль переходит в режим защиты.

В это время выходное напряжение снижается до значения менее 0,5 В, потребляемая мощность в режиме короткого

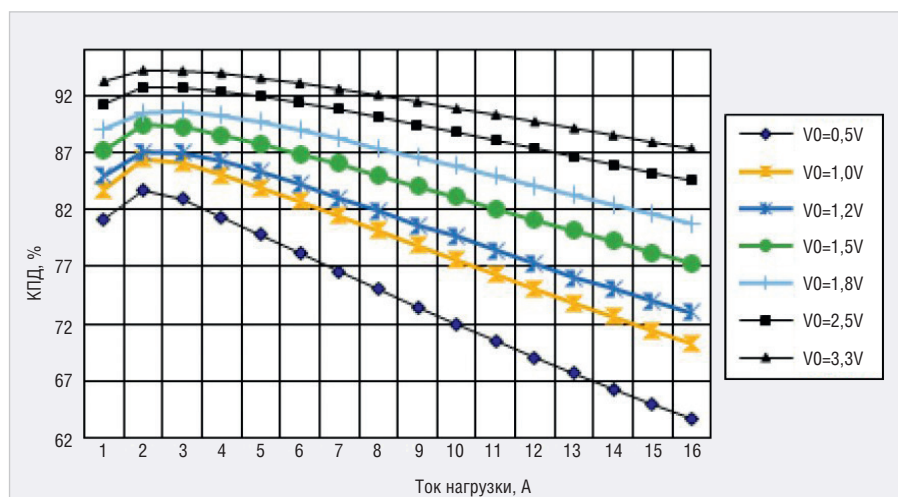


Рис. 8. Зависимость КПД от тока нагрузки при различных выходных напряжениях (температура корпуса +125°C, V = 5 В)

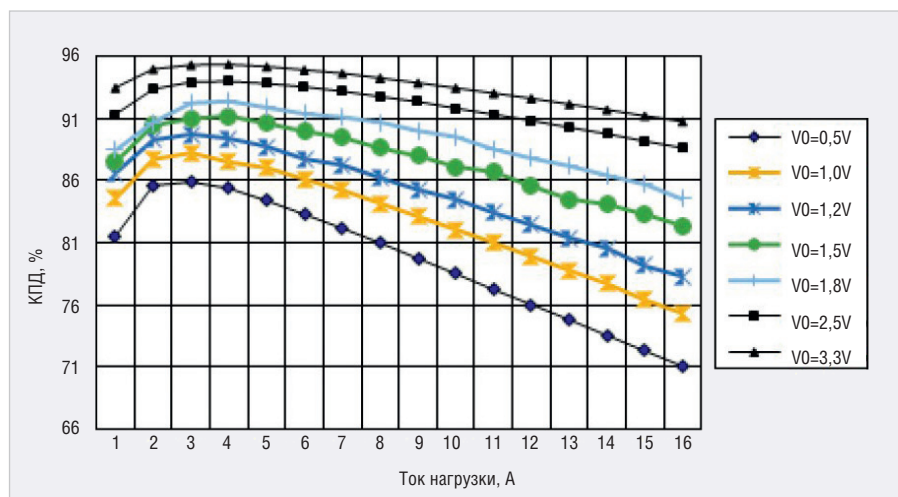


Рис. 9. Зависимость КПД от тока нагрузки при различных выходных напряжениях (температура корпуса +55°C, V = 5 В)

замыкания около 20 Вт, а режим короткого замыкания не может превышать 1 минуты. Длительное короткое замыкание запустит защиту от перегрева. Вышеприведённые параметры измерены у основания вывода выходного напряжения преобразователя при комнатной температуре окружающей среды. В том случае, если точка короткого замыкания находится на дальнем конце соединительной линии, а выходное напряжение зависит от импеданса соединительного проводника, выходное напряжение в этом случае будет выше 0,5 В.

Безопасная рабочая область при воздействии одиночных заряженных частиц

График безопасной работы преобразователей при воздействии одиночных заряженных частиц для различных выходных напряжений и токов представлен на рис. 11.

При испытаниях на циклотроне для получения ЛПЭ = 99,8 МэВ·см²/мг использовались ионы Вi, для ЛПЭ = 81,4 МэВ·см²/мг использовались ионы Та, для ЛПЭ = 65 МэВ·см²/мг использовались ионы Хе. Стойкость преобразователя к воздействию одиночных тяжёлых заряженных частиц зависит от режима работы.

Параллельная работа двух модулей

Повышение производительности программируемых пользователем матриц (Field-Programmable Gate Array, FPGA) требует дальнейшего повышения тока источника питания. Когда выходной ток 16 А не может удовлетворить фактическое требование конкретного применения, для получения большего значения выходного тока два модуля HNFA0516SS могут быть включены параллельно, а параллельное соединение может быть реализо-

вано применением метода гасящего сопротивления.

К каждому выходному выводу модулей устанавливаются последовательно сопротивления (Rp1 и Rp2 в схеме рис. 12). Номинальные значения резисторов должны быть 2,5 мОм для симметрирования импеданса проводников и уменьшения протекающего тока в режиме холостого хода. При компоновке и выборе монтажных соединений необходимо использовать симметричную схему, обеспечить одинаковую ширину и длину проводника конца соединения на печатной плате с резистором. На дополнительных резисторах будет определённое падение напряжения. Например, когда общий выходной ток 24 А, на каждом выходе будет ток 12 А, протекающий через сопротивление 2,5 мОм. Падение напряжения сформировано на резисторе 30 мВ, поэтому значение сопротивления должно быть выбрано в соответствии с фактическим выходным током и приемлемым падением напряжения.

При параллельном соединении модулей напряжение Vsense не может осуществлять функционирование внешней обратной связи, и вывод SENSE каждого канала должен быть подключён к входному концу резисторов Rp1 и Rp2 соответственно.

Для минимизации импеданса проводников печатной платы необходимо установить модуль как можно ближе к корпусу FPGA. Так как измерительная точка выходного напряжения замкнутой обратной связи находится в начале измерительного сопротивления, разумным является обеспечить стабильность напряжения в точках выборки Vout1 и Vout2. В том случае, когда импеданс проводников печатной платы слишком большой, это вызовет падение напряжения, и действительное напряжение на нагрузке уменьшится. Колебание диапазона напряжения за пределами порога может повлиять на производительность FPGA. При компоновке и выборе проводников количество переходных отверстий должно быть увеличенным, насколько это возможно, импеданс линии может быть уменьшен использованием таких методов проектирования, как применение силовых сплошных плоскостей в печатной плате.

Обеспечение нормального теплового режима работы

Определение пути отвода тепла

При преобразовании напряжения некоторое количество энергии будет теряться.

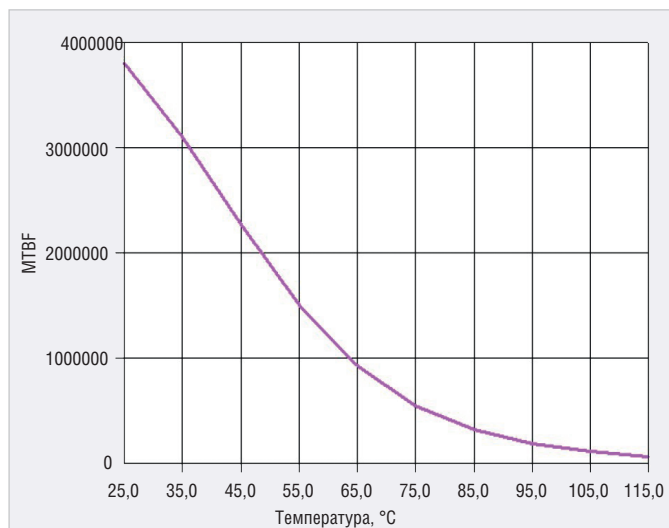


Рис. 10. Зависимость MTBF от температуры для условий орбитального космического полёта (SF)

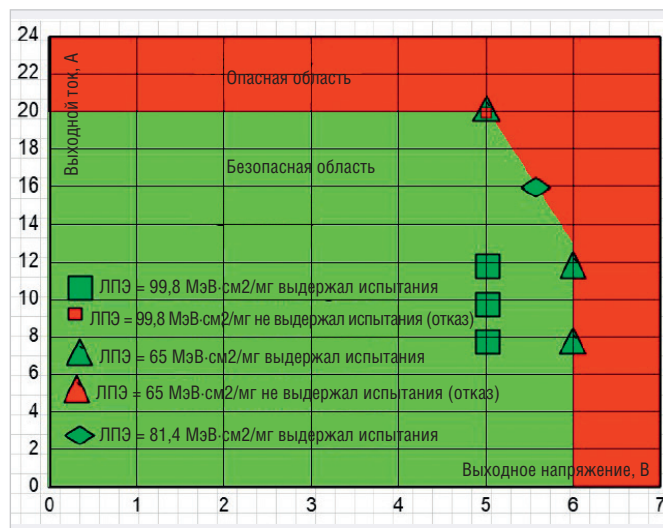


Рис. 11. Область безопасной работы при различных выходных напряжениях и токах при воздействии одиночных заряженных частиц

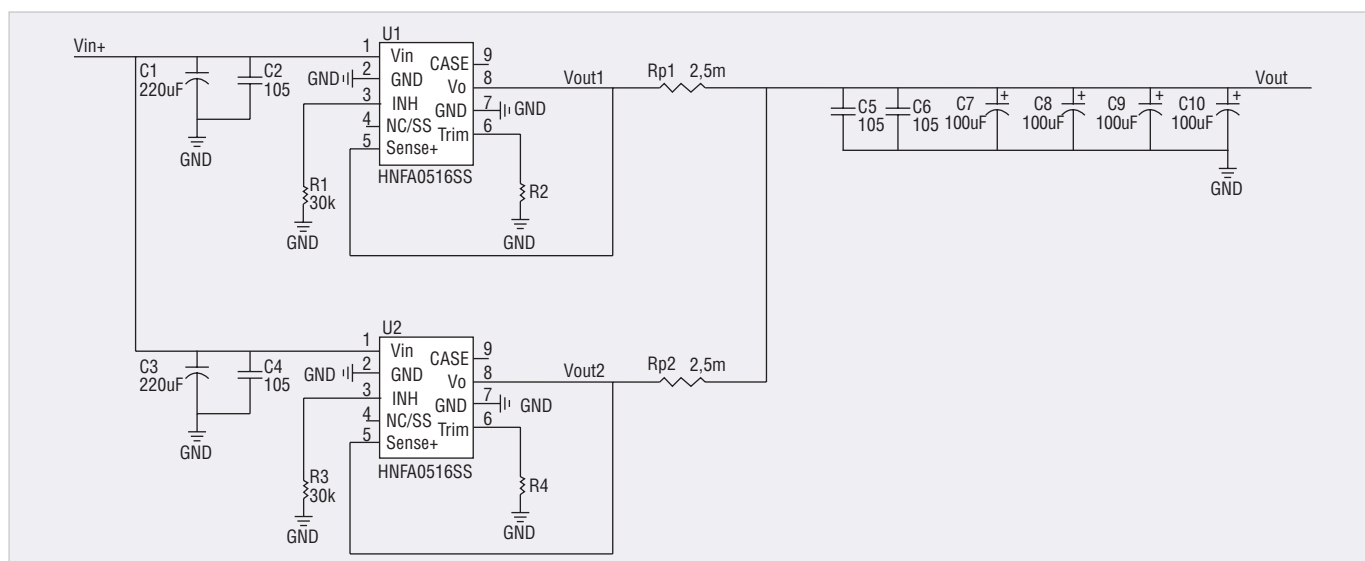


Рис. 12. Принципиальная схема параллельного соединения двух модулей HNFA0516SS

Часть энергии преобразуется в тепловую мощность. Поэтому должны быть сделаны определённые измерения рассеиваемой мощности, чтобы гарантировать, что температура перехода внутри устройства находится в безопасном диапазоне.

На рис. 13 показана типичная внутренняя конструкция гибридного толстоплёночного источника питания. Кристаллы непосредственно привариваются к керамической подложке, смонтированной в металлическом корпусе (обычно из ковара) к основанию корпуса. Тепло генерируется при работе кристалла, и, в конечном счёте, тепло проводится через основание корпуса керамической подложки устройства. Из внутренней конструкции источника, выполненного по гибридно-плёночной технологии, следует, что основание корпуса является наиболее эффективным

местом для рассеивания тепла, и тепло должно отводиться непосредственно от основания корпуса. Верхняя крышка играет очень небольшую роль при рассеивании тепла, и температура верхней крышки не может быть использована для определения температуры корпуса устройства. Определение реальной температуры позволяет выполнить точные расчёты надёжности.

Основные пассивные способы обеспечения тепловых режимов гибридно-плёночных преобразователей напряжения подробно изложены в статье [2].

При небольшой потребляемой мощности устройством для дополнительного рассеивания тепла может использоваться печатная плата. У многослойной печатной платы внутренний медный

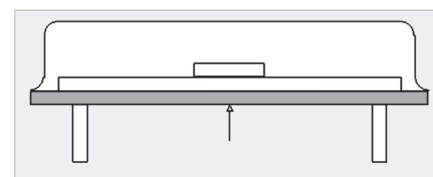


Рис. 13. Типичная конструкция гибридно-плёночного модуля питания

слой может быть использован для передачи тепла, верхний слой печатной платы должен быть подключён к внутреннему слою как можно большим числом металлизированных переходов.

Конструкция печатной платы с учётом минимизации шума напряжения

При обеспечении электропитанием FPGA и других устройств с динамическим потреблением тока необходи-

мо обратить пристальное внимание на конструирование топологии печатной платы. При работе FPGA будет генерироваться большая скорость изменения тока di/dt на выходе источника питания. Если имеется большая паразитная индуктивность на пути между входом и выходом, это будет способствовать генерированию значительного шума напряжения, который будет превышать максимальное пороговое напряжение микросхемы, и FPGA может выйти из строя. Кроме того, потребляемая мощ-

ность микросхемы должна быть учтена, и должны быть приняты соответствующие меры по рассеиванию тепловой энергии. Рекомендуется проектировать печатную плату в соответствии со следующими методами.

1. Все соединения к выводам должны быть как можно более короткими для уменьшения паразитной индуктивности линии.
2. Увеличивать ширину соединения выводов V1, Vo и GND для сокращения площади петли входа и выхода.

Рекомендуется использовать многослойную конструкцию платы и обеспечивать отдельный земляной слой GND.

3. Входные и выходные конденсаторы должны быть установлены как можно ближе к выводам V_1 и V_o устройства для исключения подключения избыточного числа внешних конденсаторов.

Закключение

Программируемый диапазон выходных напряжений позволяет компоновать рассмотренные неизолированные POE-преобразователи в различные схемы и обеспечивать питанием современные высокоэффективные цифровые схемы.

Высокие показатели стойкости к воздействию ионизирующих излучений космического пространства обеспечивают длительный срок функционирования в аппаратуре ракетно-космической техники на различных орбитах.

Для формирования промежуточной шины 5 В можно использовать радиационно-стойкие изолированные DC/DC-преобразователи, выпускаемые компанией для работы в бортовых системах постоянного напряжения 28 и 100 В и подробно рассмотренные в статьях [4–6].

Литература

1. *Чистяков А.* Конденсаторы для источников питания и преобразователей // Электронные компоненты. 2016. № 3.
2. *Жданкин В.* Обеспечение оптимальных тепловых режимов гибридно-плёночных DC/DC-преобразователей // Компоненты и технологии. 2016. № 7.
3. *Безродный В.* Радиационно-стойкие модули DC/DC-преобразователей напряжения для систем электроснабжения с постоянным напряжением // Компоненты и технологии. 2021. № 12.
4. *Безродный В.* Радиационно-стойкие модули DC/DC-преобразователей напряжения для систем электроснабжения с постоянным напряжением // Компоненты и технологии. 2022. № 1.
5. *Безродный В.* Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи из КНР. Часть 1 // Современная электроника. 2016. № 7.
6. *Безродный В.* Радиационно-стойкие DC/DC-преобразователи из КНР. Часть 2 // Современная электроника. 2016. № 8.



ВАШ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОПУТЧИК!

Полосковые дисплеи для транспорта

- ЖК-дисплеи серии SPANPIXEL™ с яркостью до 3000 кд/м²
- Размеры по диагонали от 6,2 до 65"
- Разрешение до 4K2K
- Угол обзора 178° (во всех плоскостях)
- Диапазон рабочих температур (некоторых моделей) –30...+85°C
- Возможна разработка под заказ
- Ресурс до 100 000 часов

PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

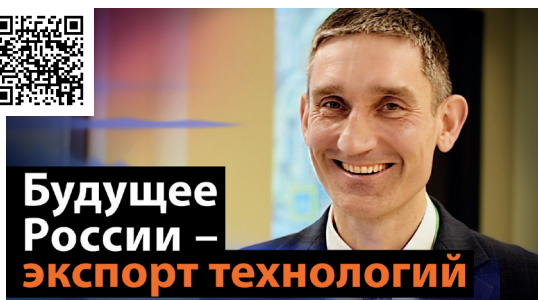
АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 • INFO@PROCHIPRU • WWW.PROCHIPRU



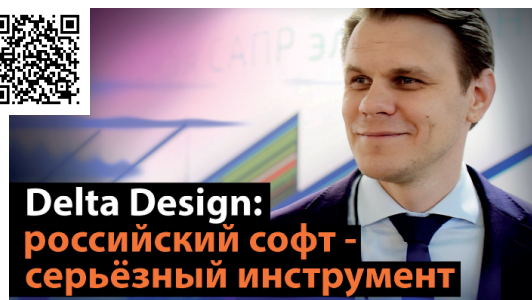
Реклама



Смотрите на канале СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА



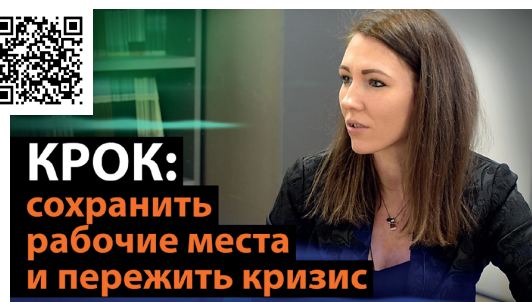
Будущее России –
экспорт технологий
Иван Покровский, АРПЭ



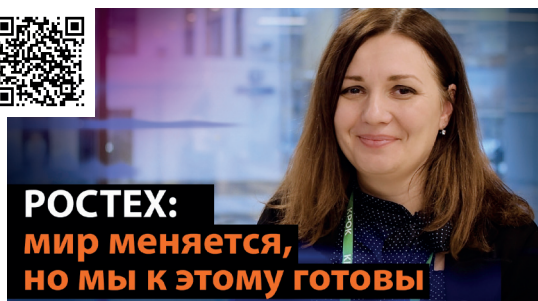
Delta Design: российский софт –
серьёзный инструмент
Антон Плаксин, ЭРЕМЕКС



FASTWEL I/O: российская
автоматика может быть надёжной
Александр Колесов, ВIOCAD



Крок: сохранить рабочие места
и пережить кризис
Наталья Софронова, КРОК



РОСТЕХ: мир меняется, но мы
к этому готовы
Виктория Кузнецова, РОСТЕХ



РУССОФТ: новый мировой порядок
не за горами
Валентин Макаров, РУССОФТ