

Модули электропитания SynQor с расширенным функционалом

В статье представлены функциональные особенности модулей электропитания SynQor с расширенным набором опций. Подробно рассматривается механизм равномерного распределения токовой нагрузки между модулями при их параллельной работе, предоставляющий разработчикам широкие возможности по управлению и контролю параметров.

Сергей Воробьев

vorobyev@ranef.ru

Введение

Учитывая тенденции последних лет, ведущие производители модулей и систем электропитания оптимизируют решения для построения комплексных систем вторичного электропитания. Усовершенствования могут быть сделаны как на уровне архитектуры построения, например IBA (Intermediate Bus Architecture) [1], так и на уровне функциональных особенностей конкретных модулей. Обычно это связано с ужесточением требований, предъявляемых к подобным системам (КПД, надежность, массо-габаритные показатели, уровень пульсации, ЭМС и т. д.).

Современная система вторичного электропитания должна обладать стабильными электрическими параметрами при эксплуатации в различных условиях, а также обеспечивать контроль выходных параметров, возможность удаленного управления и т. д. В связи с этим при разработке основы системы электропитания разработчики вынуждены применять различные схемотехнические решения, такие как механизмы резервирования и контроля, наращивание выходной мощности и т. д. Однако реализация подобных систем довольно ресурсо-

затратна и требует использования ряда внешних компонентов. Например, параллельное включение модулей электропитания влечет за собой определенные сложности в организации равномерного распределения нагрузки. Без контроля данного параметра один из источников может быть нагружен больше, в результате чего существует вероятность его перегрузки с последующим выключением.

Для упрощения решения подобных задач компания SynQor, производитель модулей и систем электропитания [2], предлагает ряд DC/DC-преобразователей с расширенным набором опций (Full-feature mode). Full-feature mode подразумевает наличие у преобразователей дополнительного набора функциональных возможностей, которые позволяют контролировать процесс работы, а также встроенной системы равномерного распределения токовой нагрузки между модулями при их совместной работе. При формировании комплексной системы электропитания это позволяет организовать систему с более гибкой и функциональной архитектурой.

На рис. 1 показан источник электропитания SynQor в форм-факторе Half-brick, обладающий расширенным набором опций.

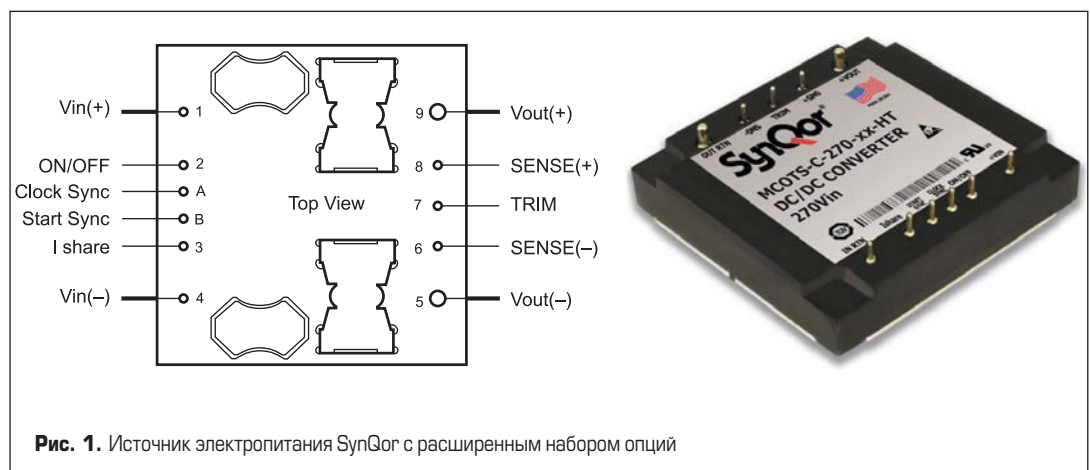





Рис. 1. Источник электропитания SynQor с расширенным набором опций

Таблица. Преобразователи SynQor с расширенным набором опций

Внешний вид	Серия	Диапазон входного напряжения, В (макс)	Ряд выходных напряжений, В	Максимальная мощность, Вт (один модуль)	Диапазон рабочих температур, °С	Тип корпуса	
	Группа InQor						
	IQ24	18–36 (50)	5; 2; 15; 24; 28; 40; 48; 50	500	–40...+100	HB, FB	
	IQ32	9–75 (100)		250			
	IQ48	34–75 (100)		600			
IQ4H	180–425 (475)						
	Группа Mil-COTS						
	MCOTS-C-28	16–40 (50)	5; 12; 15; 24; 28; 40; 50; 270	999/500	–55...+100	HB, FB	
	MCOTS-C-28E	16–70 (100)		400		HB	
	MCOTS-C-28V	9–40 (60)		250			
	MCOTS-C-28VE	9–70 (100)		600			
	MCOTS-C-48	34–75 (100)		300/600		HB, FB	
	MCOTS-C-270	155–425 (475)		8; 10; 28		400	HB
	MCOTS-C-270N	240–380 (200–350)		5; 28; 36		800	FB
MCOTS-C-270H	240–425 (475)						
	Группа Hi-REL						
	MQFL-28	16–40 (50)	1,8; 2,5; 3,3; 5; 6; 7,5; 9; 12; 15; 28; ±5; ±12; ±15	120	–55...+125	FL-Package	
	MQFL-28E	16–70 (80)		112			
	MQFL-28V	16–40 (5,5–50)		92			
	MQFL-28VE	16–70 (5,5–80)		112			
	MQFL-270	155–400 (475)		75			
MQFL-270L	65–350 (475)						

Одно из отличий данного модуля от стандартного — наличие дополнительных выводов, которые задействованы в организации параллельной работы. Расположение выводов у модулей электропитания SynQor стандартное, соответствующее типу Brick [2]: группа выводных контактов, отвечающих за взаимодействие с входной цепью, скомпонована на одной стороне, а группа выводных контактов, отвечающих за взаимодействие с выходной цепью, — на противоположной. Это позволяет обеспечить более качественную гальваническую изоляцию и повышенную стойкость к высоким значениям напряжения пробоя [3].

В настоящий момент в линейке SynQor присутствуют серии модулей электропитания категорий Industrial, Military и Hi-Rel, которые обладают расширенным набором опций (таблица).

Особенности работы параллельно подключенных модулей

Подключение модулей электропитания параллельно, без синхронизации и распределения нагрузки, обычно приводит к тому, что большая часть нагрузки оказывается сконцентрированной на модуле с самым высоким выходным напряжением. Подобный дисбаланс происходит из-за того, что у каждого источника есть определенный допуск на точность установки значения выходного напряжения. Такое включение в ряде случаев позволит получить относительно ровное распределение нагрузки, но при этом функциональная часть источника будет ограничена. Это касается, в первую очередь, подстройки и регулирования выходного напряжения, что является нежелательным. Реализация систем с сохранением всего функционала может быть осуществлена путем

использования модулей с Full-feature mode. Одним из вариантов реализации подобной системы является использование режима параллельного подключения по типу Master-Slave («ведущий»–«ведомый») (рис. 2).

Организация данного режима происходит путем соединения между собой выводов I share параллельно подключенных источников. Это позволяет модулям обмениваться информацией относительно загрузки. В каждом

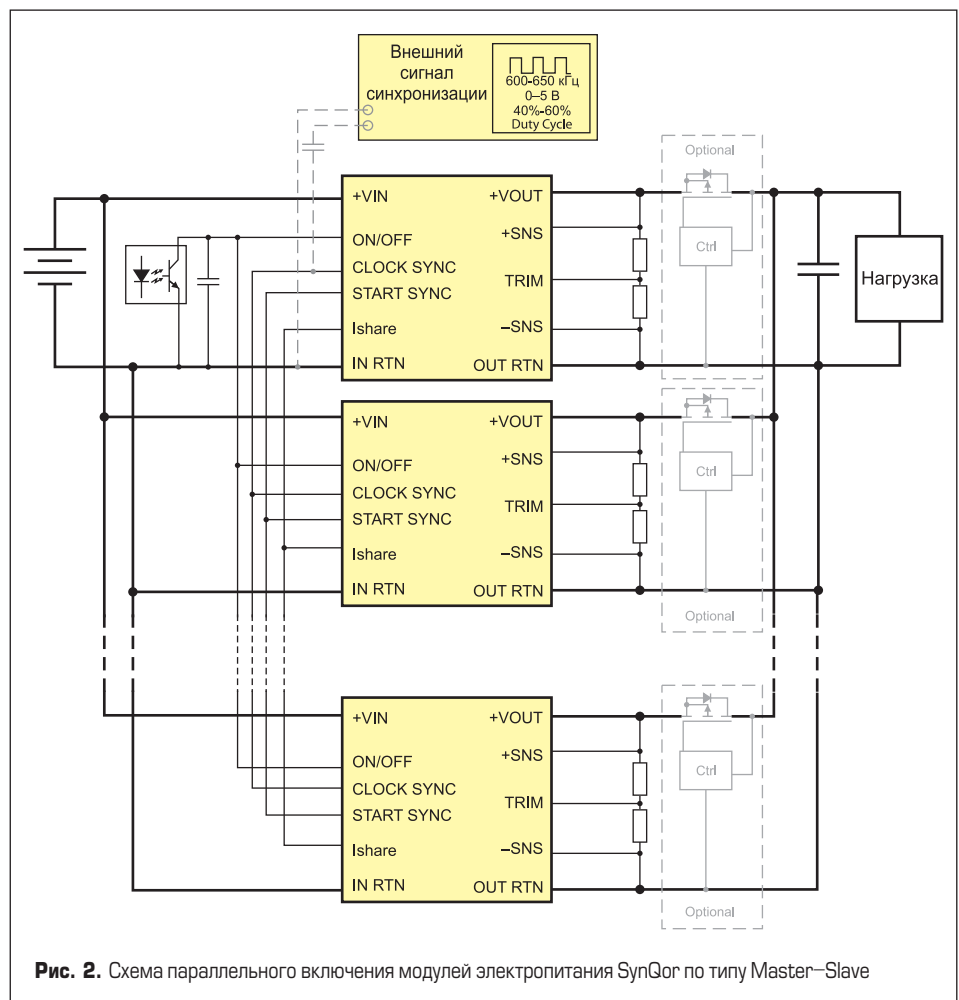


Рис. 2. Схема параллельного включения модулей электропитания SynQor по типу Master-Slave

преобразователе находится петля обратной связи по току, которая подключена к выводу I share, что позволяет контролировать токовую нагрузку на модуль. Роль «ведущего» выполняет модуль с самым высоким выходным напряжением, остальные же источники становятся «ведомыми».

Каждый из «ведомых» сравнивает свой выходной ток с выходным током «ведущего» и уравнивает его значение путем повышения выходного напряжения. Выходной ток модуля Master и нагрузка на него уменьшаются. При этом напряжение на общей точке I share соизмеримо среднему значению нагрузки одного модуля.

При работе в режиме Master–Slave выходное напряжение системы равно базовому выходному напряжению «ведущего» модуля, выходной ток которого всегда остается немного выше, чем у какого-либо из «ведомых». Данный режим работы позволяет достаточно точно распределить нагрузку между всеми модулями, подключенными параллельно, разница загрузки «ведомых» модулей не более 2% [3].

Запуск параллельно подключенных модулей

Следующей проблемой, с которой сталкиваются разработчики при параллельном включении модулей, является организация одновременного запуска. Особенно это актуально при создании мощных систем электропитания.

Когда модули подключены параллельно, необходимо, чтобы при подаче управляющего сигнала ON/OFF запуск был произведен одновременно. В противном случае, при неодновременном запуске, может возникнуть ситуация, при которой ток нагрузки на первом

запустившемся модуле превысит максимальное значение, сработает защита, модуль перейдет в режим ограничения тока и выключится. Следующий же модуль, который включится при выключении первого, также может попасть в аналогичную ситуацию. Возникнет так называемый hiccup-режим — работа с циклическим включением и выключением.

Если рассматривать преобразователи SynQor без расширенного набора опций, то режим hiccup будет выглядеть следующим образом. После первого обнаружения перегрузки по току схема управления и контроля отключает преобразователь на 200 мс, далее происходит запуск модуля и последующий контроль уровня выходного напряжения. Если в течение 20 мс уровень выходного напряжения не устанавливается в номинальное значение, схема управления заново отключает модуль на 200 мс. Модуль электропитания будет находиться в hiccup-режиме до тех пор, пока причина не будет устранена, т. е. модуль будет постоянно выключаться на 200 мс, далее включаться на 20 мс и опять выключаться на 200 мс. После многочисленных неудачных попыток модуль синхронизирует свой запуск, и система перейдет в рабочее состояние. Однако подобный запуск будет сильно сказываться на выходном напряжении; при переходе модулей в режим ограничения тока, выключении и последующем включении на выходе могут быть различные шумы и всплески выходного напряжения (glitches).

Для решения данной проблемы в преобразователях SynQor с Full-feature mode предусмотрена функция синхронизации запуска, которая предоставляет полный контроль над запуском и выключением как всей системы с параллельно включенными источниками, так и отдельных преобразователей в ее составе. Для реализации данной функции необхо-

димо, чтобы выводы Start Sync всех модулей, подключенных параллельно, были соединены вместе (рис. 2). Сигналы запуска и выключения синхронизируются с сигналом Start Sync и затем направляются в соответствующие группы преобразователей, чтобы активировать или деактивировать их. Все модули, подключенные параллельно, отслеживают изменение сигнала на выводе Start Sync, и когда уровень становится низким, переходят в режим запуска.

Данный механизм запуска позволяет модулям всегда запускаться одновременно, при этом различные шумы и всплески выходного напряжения практически исключены.

Также следует отметить, что данная функция предназначена для использования не только при параллельном включении модулей электропитания, но и в любой произвольной системе, где необходимы получение произвольной комбинации значений выходных напряжений и одновременный запуск модулей.

Задание синхроимпульсов внешним генератором. ЭМС системы

Каждый модуль электропитания SynQor с Full-feature mode оснащен механизмом синхронизации рабочей тактовой частоты при условии задания синхроимпульсов внешним генератором. Для этого необходимо подключить генератор, задающий сигнал синхронизации, непосредственно к выводу Clock Sync (рис. 3).

Сигнал синхронизации должен представлять собой меандр, уровень сигнала TTL, скважность 25–75%. Частота сигнала синхронизации должна быть выше, чем собственная частота работы модуля электропитания. Попытка синхронизации сигналом с частотой ниже собственной рабочей частоты приведет к повреждению и выходу из строя всего модуля электропитания [3].

Также необходимо отметить, что синхронизация рабочей частоты модулей в любой системе, не только при параллельном подключении, снижает электромагнитные помехи, что положительно сказывается на электромагнитной совместимости (ЭМС) всей системы [3].

Разберем ситуацию, когда некоторое количество модулей подключены параллельно (рис. 3).

При синхронизации N параллельно включенных модулей электропитания тактами с одинаковой частотой и фазой входные пульсации тока для каждого источника будут иметь схожую частоту и фазу, что приведет к их наложению и увеличению общего тока пульсации на величину $N \times i_R$, где i_R — пульсации тока одного отдельно взятого модуля.

Для решения данной проблемы все преобразователи SynQor имеют внутренний входной ЕМI-фильтр типа PI. Это связано с наличием небольших пульсаций тока, которые исходят от источника входного напряжения. Тем не менее требования в области ЭМС последнее время становятся все более жесткими, и в связи с этим

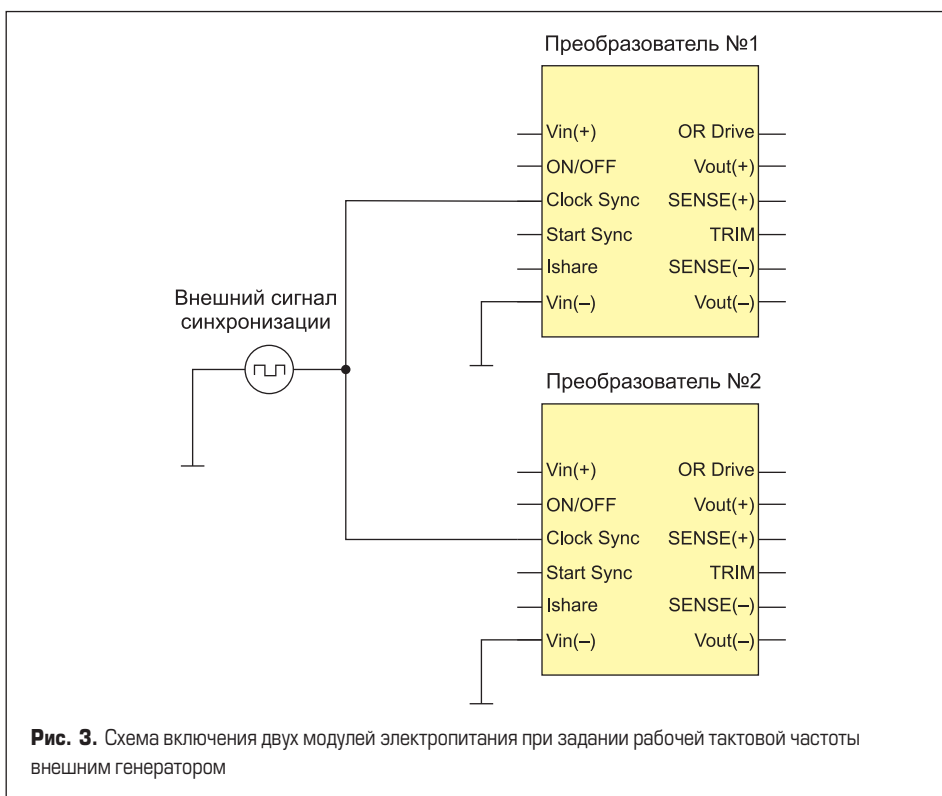


Рис. 3. Схема включения двух модулей электропитания при задании рабочей тактовой частоты внешним генератором

рекомендуется использовать внешний входной фильтр для параллельной системы [3].

Суммарные пульсации тока могут быть также уменьшены путем изменения фазы сигнала синхронизации для разных модулей. Например, чередованием фазы сигнала синхронизации между модулями можно не только значительно снизить пульсации тока, но и полностью их исключить (при определенных условиях эксплуатации) [3]. Еще одним преимуществом чередования фазы сигнала синхронизации является то, что основная частота пульсации тока увеличивается от f_R к $f_R \times N$, где N — это число модулей с разным сигналом синхронизации.

Таким образом, по сравнению с параллельными системами с одинаковым сигналом синхронизации, параллельные системы с измененной фазой задаваемого сигнала синхронизации позволяют существенно уменьшить габариты внешнего входного ЕМI-фильтра.

В общем случае, если N модулей подключены параллельно, то они могут быть синхронизированы с максимум N разных сигналов синхронизации, у которых разная фаза. Оптимальная фаза J -го тактового сигнала [град.]:

$$\theta_j = 360 \times (j-1)/N.$$

Например, в системе из трех подключенных модулей при подобном подходе сигналы синхронизации могут быть установлены с интервалами 0, 120 и 240°.

Однако использование N разных вариаций тактового сигнала для N модулей питания может быть непрактичным, и количество тактовых сигналов может быть сведено к некоторому количеству M , т. е. на каждый тактовый сигнал будет приходиться N/M преобразователей. При таком подходе шумы и пульсации будут выше, чем в системах, где используется N разных вариаций тактового сигнала для N модулей питания, но меньше, чем в случае использования единого тактового сигнала для всех модулей питания.

Например, половина модулей из общего количества N могут быть синхронизированы одним тактовым сигналом, а другая половина — таким же тактовым сигналом, но в противофазе. Реализация подобной системы довольно проста. Поскольку модули SynQor могут быть синхронизированы сигналом прямоугольной формы, второй тактовый сигнал может быть получен путем простого инвертирования, как показано на рис. 4.

При внешней синхронизации модули SynQor будут синхронизироваться на более высоких частотах, чем те, что предлагаются в справочных материалах, при этом рекомендуется не нарушать определенные пределы по двум причинам. Во-первых, высокая рабочая частота является менее эффективной из-за увеличения потерь при переключении ключевых элементов модулей электропитания. Во-вторых, при высокой рабочей частоте максимальная величина скажности, при которой модуль способен работать, уменьшается, что может привести к ухудшению стабилизации

с последующим снижением выходного напряжения.

Несмотря на вышеизложенное, следует отметить, что пульсации тока при параллельном подключении модулей SynQor низкие по определению [2]. Это обусловлено схемотехникой, применяемой в источниках, и задание внешней тактовой частоты с измененной фазой для разных модулей не является необходимым, но представляет разработчикам более гибкий инструмент контроля и управления.

Использование модулей без нагрузки

Использование параллельно подключенных модулей электропитания без нагрузки, фактически в режиме холостого хода, может вызвать различные нежелательные эффекты. Например, если выходные напряжения параллельно подключенных источников имеют довольно значимый разброс, то возникает эффект, когда преобразователь с более низким значением выходного напряжения будет «захлебываться» током обратного хода. Как правило, это возникает при нагрузке до 5%. Таким образом, при отсутствии нагрузки и нескольких параллельно подключенных модулей электропитания часть из них будет выполнять роль «источника», а другая часть — «потребителя», причем значение тока потребления может достигать максимальной величины, которую могут выдать модули. В преобразователях SynQor предусмотрена защита от данного эффекта, однако при проектировании системы электропитания желательно учитывать данные особенности. Как вариант, можно отслеживать уровень загрузки всей системы. Преобразователи SynQor позволяют реализовать это путем контроля уровня потенциала на выводе I share, как описано выше. Это дает возможность удаленного контроля

и отключения части модулей при небольшой нагрузке, тем самым уменьшается общее потребление системы.

Подстройка выходного напряжения

Подстройка выходного напряжения параллельно подключенных модулей SynQor осуществляется путем установки внешнего резистора. Например, если необходимо увеличить выходное напряжение конкретного модуля, требуется установить резистор определенного номинала между выводами TRIM и SENSE+, а для уменьшения — между выводами TRIM и SENSE-.

Выходные напряжения параллельно подключенных модулей могут регулироваться отдельно, независимо друг от друга, но необходимо, чтобы у всех модулей электропитания был установлен единый уровень выходного напряжения.

Также необходимо, чтобы подстроечные резисторы обладали довольно высоким уровнем точности. Использование высокоточных резисторов (1%) позволит обеспечить не только точную установку уровня выходного напряжения, но и корректную работу схемы регулировки и распределение токовой нагрузки между модулями.

Помимо подстроечного резистора, на точность установки выходного напряжения также влияет топология печатной платы. Соединения и печатные дорожки между подстроечным резистором и выводом SENSE должны быть проложены отдельно и максимально изолированы от других соединений, по которым протекает большой ток.

Функция OR'ing

Модули SynQor с расширенным набором опций могут быть применены в системах с резервированием путем подключения их

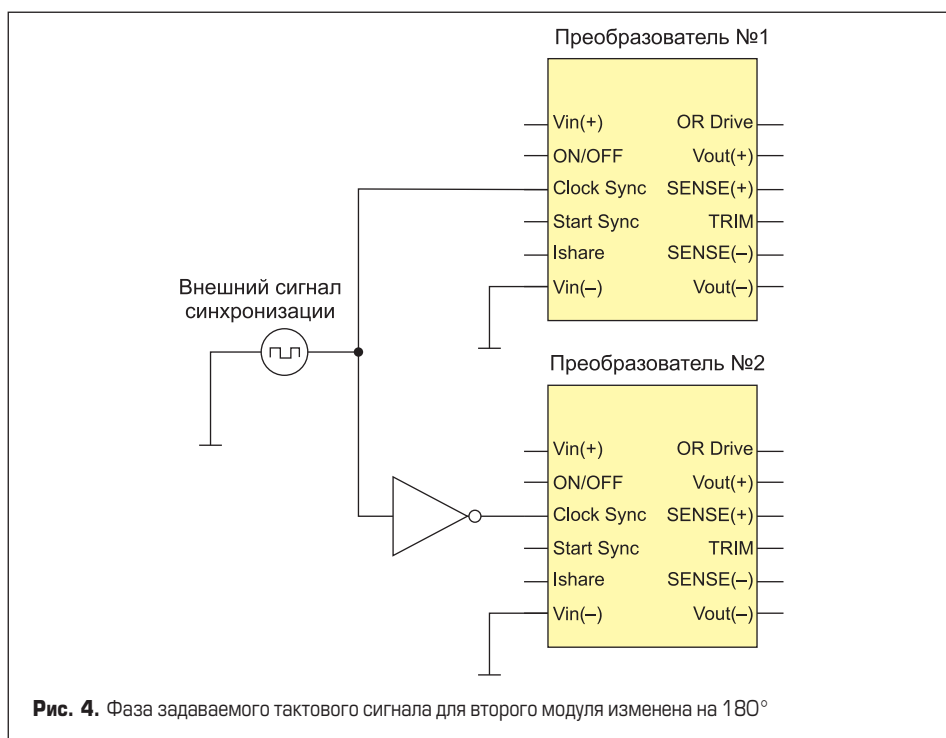


Рис. 4. Фаза задаваемого тактового сигнала для второго модуля изменена на 180°

к общей выходной шине через цепь OR'ing (рис. 5). Цепь OR'ing используется при объединении выходов нескольких модулей электропитания с целью образования резервной системы электроснабжения. При выходе из строя одного из источников питания мощность нагрузки делится между оставшимися модулями для предотвращения падения напряжения на выходной шине питания и возникновения пиковых обратных токов. В качестве OR'ing-элементов могут быть использованы мощные диоды Шоттки либо OR'ing-контроллер с мощным MOSFET.

Поскольку модули SynQor обеспечивают до 800 Вт выходной мощности (на один модуль), значения выходных токов довольно высокие при относительно низких выходных напряжениях. Поэтому не рекомендуется использовать диоды в качестве OR'ing-элементов, так как они имеют относительно большие потери.

Лучшим решением является использование MOSFET с низким сопротивлением открытого канала (OR-транзистор, OR'ing-элемент). Для этой цели могут быть использованы MOSFET с сопротивлением открытого канала в несколько миллиом. Недостатком применения OR-транзисторов является то, что они должны быть довольно быстродействующими, и для быстрого срабатывания по управляющему сигналу рекомендуется использовать специальную схему управления (ORing MOSFET Controller), например MAX 8535, которая будет выдавать данный сигнал [4]. На рис. 5 показан вариант реализации подобной системы. Систему электропитания образуют две платы с установленными

на них модулями SynQor, которые подключены параллельно с распределением нагрузки. В свою очередь, распределение нагрузки между платами обеспечивает контроллер UCC39002. В случае выхода из строя одного из преобразователей цепь OR'ing отключит его от общей сети, не нанося вред общей системе электропитания [4].

Зависимость импеданса от расположения источников

При построении системы электропитания с параллельно подключенными источниками необходимо учитывать особенности разводки печатной платы. В первую очередь, это относится к тем проводникам и печатным дорожкам, которые отвечают за цепь распределения нагрузки между модулями.

Внутренняя схема модулей электропитания, которая отвечает за распределение нагрузки, подключена непосредственно к выводу Vin₊ и выводу I share. Если импеданс от данных выводов источника к общей точке будет отличаться от модуля к модулю, это вызовет изменение напряжения на выводах, что приведет к рассогласованию и неправильной работе механизма распределения нагрузки. Для снижения данного эффекта необходимо, чтобы различия импеданса были сведены к минимуму путем прокладки всех трассировочных путей на печатной плате, относящихся к конкретному модулю электропитания, как можно более симметрично по отношению к общей отрицательной шине.

Как было сказано ранее, все выводы Vin₋ должны быть соединены непосредственно

друг с другом по выходу EMI-фильтра (при наличии фильтра). Однако при разводке печатной платы также стоит учитывать цепи, которые отвечают за подстройку выходного напряжения (выводы SENSE). Если импеданс между выводами отдельных модулей SENSE и точки удаленной регулировки напряжения различаются, то выходные напряжения модулей также будут отличаться. Это связано с тем, что если общее напряжение на выходе параллельно подключенных модулей повышается, то напряжение на выходе модуля с самым высоким импедансом на линии (источник-нагрузка) может подняться на довольно высокий уровень, достаточный, чтобы превысить предельное значение по напряжению. Кроме того, добавленная ошибка отдельных выходных напряжений модулей может сказаться на общем отклонении напряжения, а это приведет к превышению пределов регулировки схемы, отвечающей за распределение нагрузки между модулями.

Подобный эффект также может быть сведен к минимуму путем прокладки всех трассировочных путей на печатной плате (особенно проводящих большие токи) как можно более симметрично.

Заключение

Модули электропитания SynQor с расширенным набором функций (Full-feature mode) предоставляют разработчикам достаточно богатый набор механизмов для построения современной системы электропитания. В первую очередь, это равномерное распределение токовой нагрузки между источниками при параллельном включении, а также широкие возможности по синхронизации и контролю выходных параметров.

Параллельное включение модулей позволяет создать эффективную систему электропитания, которая будет обладать такими преимуществами, как модульность, высокие показатели КПД и масштабируемость. При этом за счет наличия механизмов синхронизации возможно существенно улучшить ЭМС всей системы электропитания.

В данной статье описан механизм перераспределения нагрузки модулей SynQor, который функционирует по аналоговому принципу. В последующих статьях будет описан механизм перераспределения нагрузки, работающий по цифровому методу, который реализован в новых разработках SynQor.

Литература

1. Воробьев С. Построение системы электропитания по принципу IBA для высоконадежной радиоаппаратуры. Почему бы и нет? // Компоненты и технологии. 2015. № 6.
2. www.synqor.com
3. Current Sharing and other Full-Feature Applications. SynQor. 2011.
4. Mil-COTS 270V Half Brick Full Feature. Application Note. SynQor. 2014.

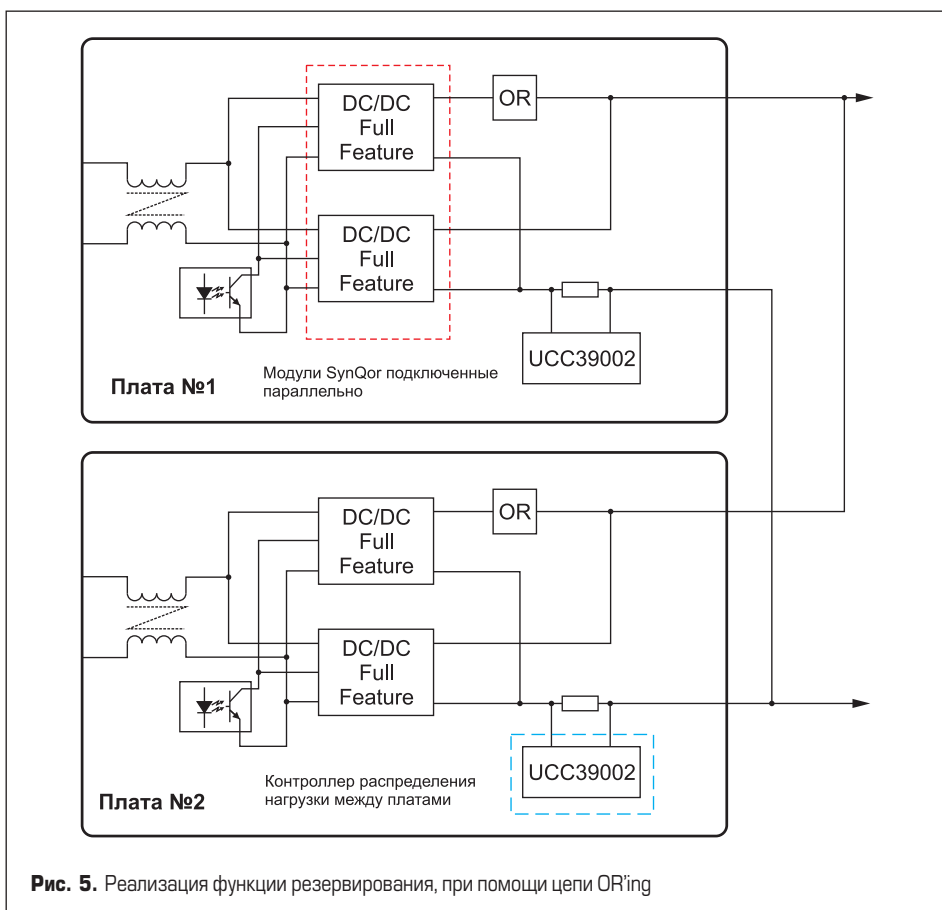


Рис. 5. Реализация функции резервирования, при помощи цепи OR'ing