

Дистанционное управление и внешняя синхронизация преобразователей напряжения

Данный материал посвящен вопросам использования и организации интерфейса входов дистанционного включения/выключения и синхронизации DC/DC-преобразователей напряжения от компании Crane Aerospace & Electronics. Функция управления внешним сигналом по входу обеспечивает выключение преобразователя напряжения без отключения входной шины питания. Сервисная функция внешней синхронизации делает возможной синхронизацию частоты преобразования модуля питания внешним генератором тактовых импульсов или другими устройствами. Статья написана на основе материалов, предоставленных компанией Crane Aerospace & Electronics [1, 2].

Виктор ЖДАНКИН
victor@prosoft.ru

Сервисная функция дистанционного включения/выключения

Дистанционное включение/выключение — это возможность включать и выключать преобразователь без циклического коммутирования входной мощности. Эта функция востребована в таких применениях, как: удержание преобразователя в выключенном состоянии для сохранения энергии в то время, когда не требуется выходное напряжение; формирование последовательности подачи выходных напряжений; уменьшение пускового тока; содействие предотвращению проблем с входным импедансом и задержка включения преобразователя до тех пор, пока его входное напряжение не установится и не станет стабильным.

Области применения

Задержка включения преобразователя до момента, пока его входное напряжение не установится, может быть особенно важной при медленном повышении входного напряжения. При медленном повышении входного напряжения преобразователь может включаться и работать при низких уровнях входного напряжения. Вследствие требуемой преобразователем постоянной мощности функционирование при низких входных напряжениях создает большие входные токи, чем могли бы возникнуть в других обстоятельствах при номинальном входном напряжении. Удержание преобразователя в выключенном состоянии внешним сигналом до тех пор, пока входное напряжение не возрастет и не станет стабильным, является способом уменьшения повышен-

ного значения тока, которое имеет место при медленном повышении входного напряжения. Использование функции внешнего включения/выключения также предоставляет способ для регулировки времени включения отдельных преобразователей так, чтобы пусковой ток не возникал в одно и то же время, таким образом уменьшая амплитуду тока [3]. Поскольку входной импеданс пропорционален квадрату входного напряжения, удержание преобразователя в выключенном состоянии внешним сигналом до тех пор, пока входное напряжение не повысится и не станет стабильным, может предотвратить проблемы с входным импедансом, которые могут возникнуть вследствие режима функционирования при низком напряжении входной шины, которое имеет место при медленном повышении выходного напряжения. Разнесение во времени моментов включения преобразователей может уменьшить проблемы с входным импедансом в дальнейшем.

Все преобразователи напряжения Interpoint оснащены функцией дистанционного включения/выключения со стороны первичной цепи, уровень сигнала которой отсчитывается относительно общей точки первичной цепи. Сигнал дистанционного включения/выключения (блокировки) со стороны первичной цепи выключает широтно-импульсный модулятор (ШИМ) преобразователя и блокирует переключение силовых компонентов для обеспечения минимальных потерь энергии.

Это может быть важным, когда необходимо сохранить энергию аккумулятора, так как потребление тока от 28-В шины питания будет значительно ниже, когда преобразователь выключен внешним сигналом, чем когда на-

грузка на выходе преобразователя не активна (режим холостого хода). В технической спецификации преобразователя приводятся значения входного тока в режиме блокирования работы внешним сигналом. Схема цепи сигнала дистанционного включения/выключения со стороны первичной цепи преобразователя, которая является общепринятой для многих преобразователей Interpoint, наряду с рекомендуемым интерфейсом командного входа, показана на рис. 1. Дiode D4 присутствует в некоторых моделях и отсутствует в других. Вход управления соединен с базой биполярного транзистора *n-p-n*-типа, сконфигурированного как эмиттерный повторитель, который обеспечивает смещение со стороны первичной цепи ШИМ-контроллеру и другим схемам первичной цепи преобразователя. Установка вывода управления в низкое состояние снимает смещение первичной цепи, что блокирует преобразование мощности. Переключение этого входа управления должно быть быстрым — так, чтобы смещение первичной цепи преобразователя не функционировало при промежуточных напряжениях в течение длительных периодов во время переключения.

Способы сопряжения входа дистанционного включения/выключения

Как показано на рис. 1, предпочтительным сопряжением для сигнала управления дистанционного включения/выключения для большей части преобразователей Interpoint является транзистор с открытым коллектором или эквивалентное устройство (механический ключ, реле), которое замыкает вывод управления на общую входную шину, открывая транзистор, или оставляет вывод

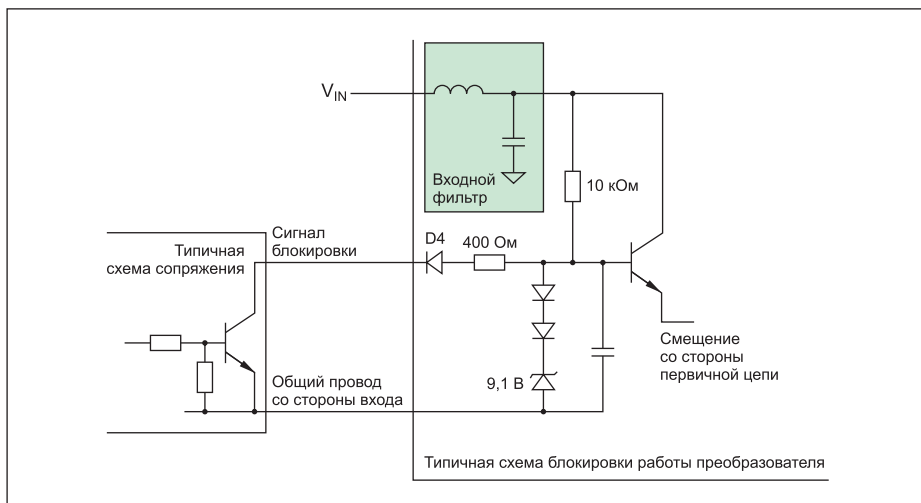


Рис. 1. Типовая схема сопряжения входа дистанционного управления включением/выключением и схема управления в первичной цепи преобразователя

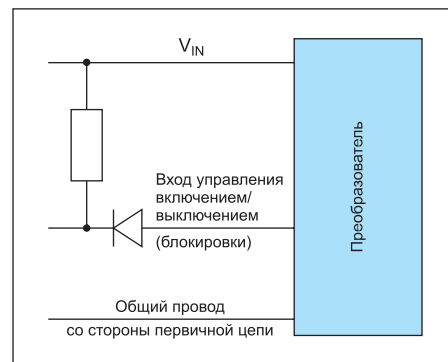


Рис. 2. Вход дистанционного включения/выключения с «вытягивающим» резистором и разделительным диодом

Одна схема сопряжения входа управления внешним сигналом для нескольких преобразователей

в разомкнутом состоянии, запирая транзистор. Внешние напряжения не должны прикладываться ко входу управления, если что-то другое не указано в технической спецификации преобразователя. Если в документации указывается высокое или низкое значение уровней напряжения для сигнала управления, это не должно интерпретироваться таким образом, что должно прикладываться внешнее напряжение к этому входу, за исключением, если это определено особо. Напряжение отпирания вывода управления, указанное в технической документации, обычно поступает от подтягивающих резисторов и стабилитрона, установленных в схеме преобразователя. Активный низкий уровень напряжения является максимальным рекомендованным напряжением на выводе управления, когда он подтянут к низкому уровню. Для обеспечения правильного выключения преобразователя ключ с открытым коллектором должен быть способен установить вход управления в состояние низкого логического уровня или ниже уровня, указанного в технической спецификации. Значение высокого логического уровня — это напряжение, которое предполагалось измерить на выводе управления в том случае, когда он был бы разомкнут. Некоторые преобразователи могут иметь другие схемы сопряжения сигнала управления включением/выключением, но принципы обычно являются аналогичными.

В технической спецификации преобразователя также указывается максимальный ток, который вход управления способен отдать в линию. Во многих случаях ток входа управления блокировкой является функцией входного напряжения. Это может быть выяснено рассмотрением рис. 1. Когда на выводе управления установлен низкий уровень, ток будет определяться напряжением на резисторе 400 Ом и последовательно включенном резисторе 10 кОм. Так как нижний конец

резистора 400 Ом будет подключен на землю (общий провод со стороны первичной цепи), когда устройство сопряжения активно, а верхний конец резистора 10 кОм соединен к линии питания V_{IN} , ток будет определяться напряжением на концах этих последовательно включенных резисторов. Значения сопротивлений резисторов могут меняться от модели к модели. Пренебрегая диодом D4, который может отсутствовать, напряжение на этих резисторах является входным напряжением. Максимальное значение тока является важным, когда определяется соответствие низкого логического уровня. Например, многие компараторы с открытым коллектором могут принимать значительный ток с линии, но минимальное напряжение насыщения при втекающем токе 6 мА может быть выше 1 В. В том случае, когда в технической спецификации компаратора указывается низкое значение напряжения 0,8 В, а максимальный ток входа управления равен 8 мА, такой компаратор будет не лучшим выбором. Схема сопряжения входа блокировки должна быть способной подтянуть вывод управления до его заданного низкого логического уровня при максимальном токе, указанного в технической спецификации. При выключенной схеме сопряжения она не будет принимать ток из линии и будет принимать высокий логический уровень, указанный в документации.

Не рекомендуется подключать «вытягивающий» резистор ко входу блокировки, так как в конвертере имеется собственный внутренний «вытягивающий» резистор. В том случае, когда желательно иметь такой резистор, должен быть добавлен диод, как показано на рис. 2. Это отделил подтягивающее напряжение от входа блокировки. Когда же диод добавлен, это создаст падение напряжения, которое необходимо учитывать при соответствии низкого уровня входа блокировки преобразователя значению, указанному в документации.

В некоторых применениях желательно блокировать все преобразователи напряжения одновременно, используя одну схему управления. Для этого применения все входы управления включением/выключением должны быть присоединены к общей схеме сопряжения этого входа блокировки. При управлении несколькими преобразователями важно, чтобы напряжение входа блокировки одного преобразователя не оказывало влияния на напряжение входа блокировки другого преобразователя. Для предотвращения этого потребуется включение блокирующего диода на входе управления каждого преобразователя по схеме «ИЛИ» (если преобразователь не имеет внутреннего диода для выполнения этой функции). Показанный на схеме (рис. 1) диод D4 может выполнять эту функцию. В некоторых моделях диод D4 установлен, а это значит, что во внешнем диоде нет необходимости. Например, на входе управления включением/выключением популярных моделей DC/DC-преобразователей серии MHP+ такого диода нет (рис. 3). А на входе блокировки трехканальной модели серии MHV-T такой диод установлен (рис. 4). Максимальное напряжение, которое может быть приложено к выводу блокировки (INH) трехканальной модели MHV-T, составляет 18 В. Это предельное значение определяется мощностью, рассеиваемой на резисторе R23, включенное последовательно с цепью INH. Максимальная мощность, рассеиваемая резистором R24, включенным последовательно со стабилизатором 10 В на землю, равняется 125 мВ.

В том случае, когда не ясно, установлен ли внутренний разделительный диод в преобразователе, необходимо обратиться в службу технической поддержки компании Crane Aerospace & Electronics. На рис. 5 показаны три модуля преобразователя напряжения, которые совместно используют общую схему сопряжения входа блокировки, с каждым

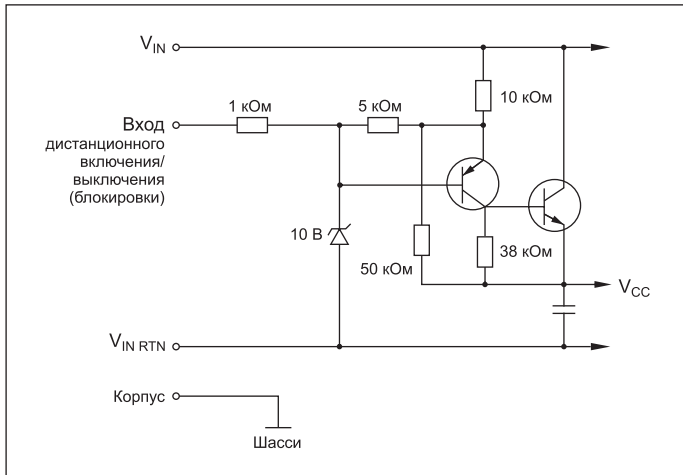


Рис. 3. Схема управления дистанционным включением/выключением DC/DC-преобразователя MHF+2805S

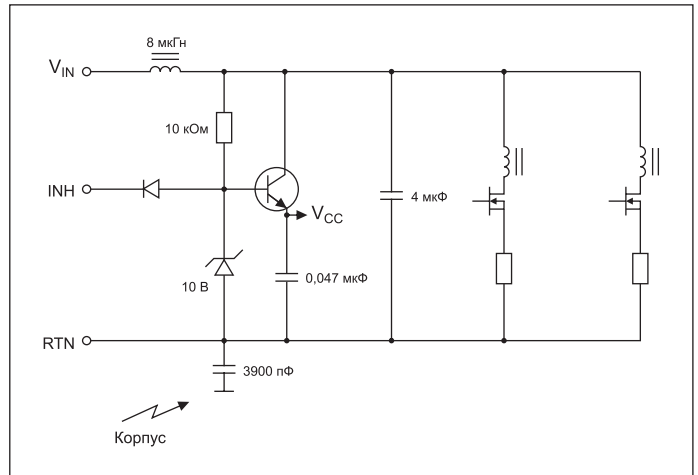


Рис. 4. Эквивалентная схема управления внешним сигналом по входу трехканального DC/DC-преобразователя серии MHV

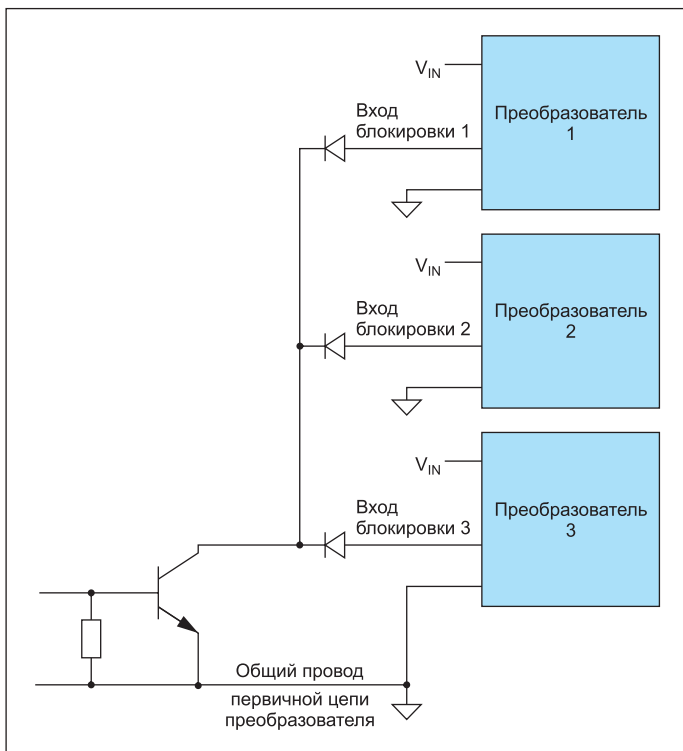


Рис. 5. Схема сопряжения с входами управления включением/выключением нескольких преобразователей напряжения

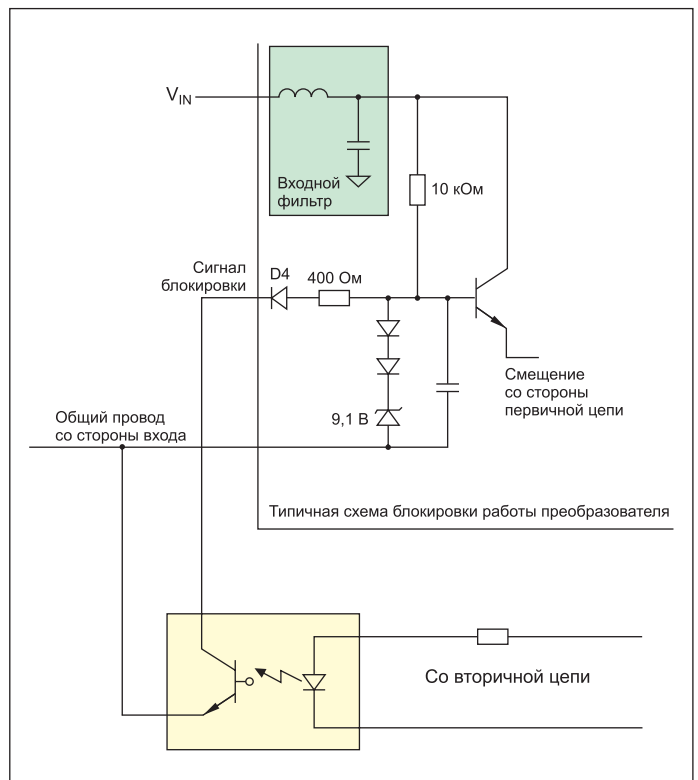


Рис. 6. Схема управления внешним сигналом по входу с гальванической развязкой

выводом управления, разделенным диодом. В этом случае транзистор должен быть способен подтянуть вход управления до его низкого уровня, при вытекающих токах с выходов управления трех преобразователей. Необходимо также учитывать падение напряжения на блокирующих диодах, включенных по схеме «ИЛИ».

Применение входа управления с гальванической развязкой

В некоторых применениях может потребоваться подавать сигнал дистанционного включения/выключения со стороны вто-

ричной цепи преобразователя, которая изолирована от первичной цепи. Некоторые преобразователи повышенной мощности имеют командный вход дистанционного включения/выключения во вторичной цепи, который гальванически связан с общим проводом вторичной цепи. В этом случае системный интерфейс входа блокировки может быть выполнен транзистором с открытым коллектором или эквивалентным устройством, отсчитываемым относительно общего провода вторичной цепи. С преобразователями, которые предлагают вход блокировки только со стороны первичной цепи, для осуществления гальванической

развязки может быть применена микросхема с оптической изоляцией, показанная на рис. 6.

Синхронизация

Преобразователи напряжения Interpoint имеют внутренний тактовый генератор, который устанавливает рабочую частоту преобразования напряжения. Большая часть преобразователей имеет вход для подключения внешнего сигнала синхронизации, который предоставляет возможность установить рабочую частоту в пределах диапазона, указанного в технической спецификации

преобразователя. Функция синхронизации позволяет синхронизировать рабочую частоту преобразователя с желаемой для конкретного применения частотой. К тому же эта функция может быть использована тогда, когда работает несколько преобразователей, и желательно, чтобы все преобразователи работали на одной и той же частоте. Примером этого может быть устранение частот биений, создаваемых двумя или большим числом преобразователей, подключенных к общей шине питания. Частоты биений обычно возникают на низкой частоте, которая не ослабляется внешним фильтром электромагнитных помех (ЭМП). В том случае, когда энергия на частоте биений значительна и частота биений лежит в пределах ЭМП низкочастотного диапазона технической спецификации, возможно, что система может не соответствовать техническим требованиям к ЭМП. Обычно частоты биений расположены ниже 50 кГц — там, где пределы ЭМП наиболее терпимы на этих более низких частотах. Частоты биений обычно не являются проблемой в большей части применений.

Синхронизация в преобразователях Interpoint

Схема синхронизации для DC/DC-преобразователя серии MFL представлена на рис. 7. Эта схема также отображает схему синхронизации одноканальных и двухканальных моделей серии MHF+ (но не трехканальных моделей), серии MTR и других (но не всех) DC/DC-преобразователей Interpoint, за исключением того, что выход частоты синхронизации (Sync Out) у них отсутствует. Из серий преобразователей, перечисленных здесь, только преобразователи серии MFL имеют выход частоты синхронизации (Sync Out).

Идеальный импульс сигнала синхронизации

Идеальный импульс сигнала синхронизации для применения со схемой, представленной на рис. 7, должен иметь амплитуду в диапазоне 0–5 В, последовательность импульсов прямоугольной формы с коэффициентом заполнения 40–60%, время нарастания и спада импульса менее чем 150 нс. Что является важным для этой схемы, так это значение синхросигнала от пика до пика в сравнении с минимальным и максимальным значениями. Синхросигналы с амплитудами 0–5 В или от –2,5 до +2,5 В будут обеспечивать одинаковые результаты, потому что сигнал синхронизации является сигналом, связанным по переменному току. В технической спецификации конкретного преобразователя приводится рекомендуемая амплитуда импульса и коэффициент заполнения импульсной последовательности синхросигнала. Рекомендуется применять драйвер схемы сопряжения с выходным импедансом Z_{OUT} менее 50 Ом.

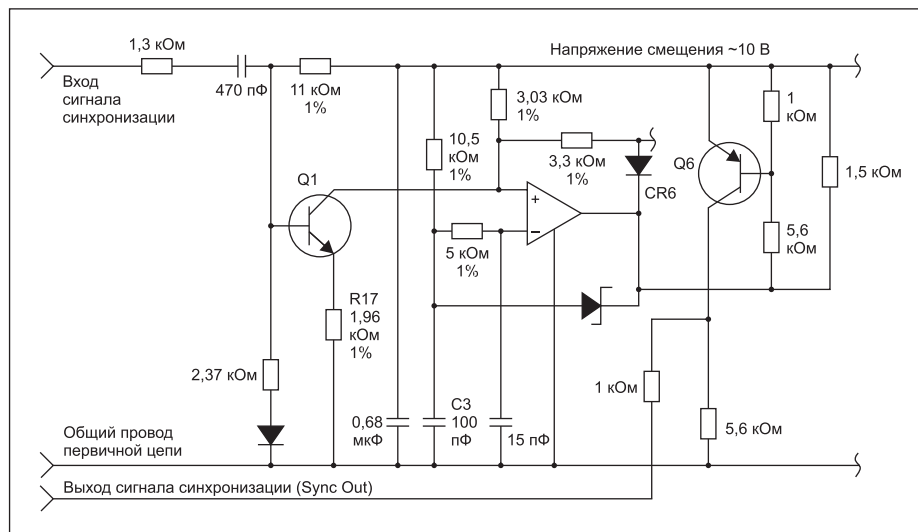


Рис. 7. Типичная схема сигнала синхронизации преобразователей Interpoint

Выход синхронизации преобразователей напряжения серии MFL

65-Вт DC/DC-преобразователи серии MFL имеют выход сигнала синхронизации с амплитудой импульса от примерно 0 до немногим более 10 В в ненагруженном состоянии. Коэффициент заполнения импульсной последовательности синхросигнала около 22% с быстрым временем нарастания и немного более медленным спадом импульса. Функция выходного сигнала синхронизации может быть использована для управления другим преобразователем серии MFL, что позволяет обоим модулям работать на одной частоте. В технической документации серии MFL указывается значение входного сигнала синхронизации около 5 В (п-п), а выходной сигнал синхронизации в ненагруженном состоянии по двойной амплитуде близок к 10 В. Однако при подключении выхода синхронизации одного преобразователя серии MFL ко входу синхронизации другого модуля влияние нагрузки будет снижать напряжение до значения, близкого к указанному в документации 5 В (п-п). Много преобразователей с дизайном, подобным дизайну серии MFL, могут быть соединены вместе шлейфом — для работы на одной частоте. Это будет хорошим решением, когда многочисленные преобразователи подключены к шине питания через единственный фильтр электромагнитных помех или работают параллельно. К тому же выход сигнала синхронизации модуля серии MFL может также быть использован для синхронизации других преобразователей, которые используют схему, представленную на рис. 7, если рабочая частота модуля MFL находится в пределах диапазона входной частоты синхронизации преобразователя, который синхронизируется. Рабочие частоты и допустимый диапазон частоты синхронизации указаны в технической спецификации преобразователей.

Применение сигнала синхронизации

У некоторых преобразователей применение сигнала синхронизации может вызывать незначительное отклонение напряжения на выходе в случае, когда преобразователь осуществляет преобразование с применением внешнего сигнала синхронизации. Альтернативным способом подачи сигнала синхронизации может быть следующий порядок: к заблокированному внешним сигналом преобразователю приложить сигнал синхронизации, затем разблокировать преобразователь, предоставив ему возможность включиться с уже поданным сигналом синхронизации. Это позволит устранить возможность возникновения переходного процесса на выходе преобразователя. В том случае, когда используется внешний сигнал синхронизации, всегда важно оставаться в пределах частотного диапазона, указанного в документации, так как преобразователь может нагреться до высокой температуры или повредиться, если работа происходит за пределами этих ограничений. В некоторых применениях, когда внешний сигнал синхронизации приложен первым, сигнал синхронизации системы может иметь некоторую нежелательную частоту или амплитуду до тех пор, пока сигнал системного тактового генератора не будет стабильным. Если существует такая вероятность, необходимо заблокировать преобразователь до достижения стабильности внешнего сигнала синхронизации; это обеспечит защиту от воздействия неустойчивости на работу преобразователя или, другими словами, неустойчивость не будет замечена преобразователем.

Изоляция схемы синхронизации

Вход сигнала синхронизации большей части устройств отсчитывается относительно общего провода входной цепи: гальванически связан с общим проводом входного напряжения. В применениях, где сигнал системного

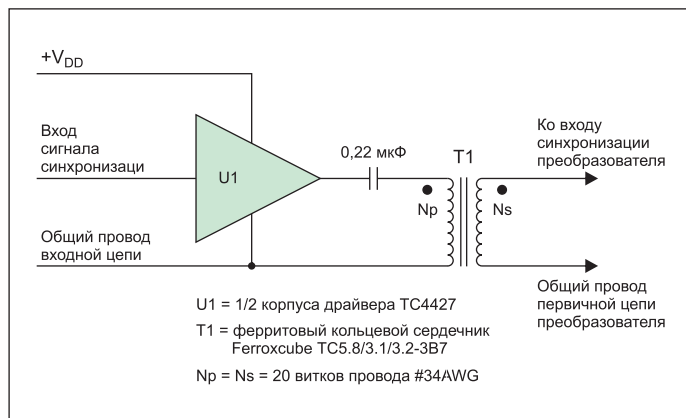


Рис. 8. Схема сопряжения сигнала синхронизации с гальванической развязкой

тактового генератора отсчитывается относительно общего провода выходной цепи преобразователя или заземления, другого, чем общая точка первичной цепи преобразователя, может потребоваться применение изолированного устройства сопряжения. Гальванически развязанная схема сопряжения, как правило, включает в себя импульсный трансформатор (рис. 8). Здесь дополнительная выходная буферная схема с низким импедансом управляет импульсным трансформатором. Конденсатор, включенный последовательно с первичной обмоткой импульсного трансформатора, устраняет постоянную составляющую и предотвращает насыщение импульсного трансформатора. В том случае, когда импульсный трансформатор управляется непосредственно, без последовательного конденсатора, необходимо позаботиться, чтобы сердечник импульсного трансформатора возвращался в исходное состояние (размагничивался) в каждом такте для недопущения его насыщения. Низкий импеданс буферной схемы позволяет управлять многочисленными преобразователями параллельно. Крайне рекомендуется осуществить моделирование или макетирование схемы управления, так как некоторые биполярные драйверы с каскадным выходом формируют искаженный сигнал. Для минимизации нежелательной индуктивности рассеяния рекомендуется применять бифилярную намотку для импульсного трансформатора.

Компоновка

Сигналы синхронизации могут иметь крутые фронты, что может излучать шумы и воздействовать на другую схему. Наложение проводников печатной платы сигнала синхронизации с их обратным проводником является хорошей практикой конструирования. Это позволит обеспечить чистый сигнал и снизить кондуктивные помехи и помехи излучения. Там, где используются многочисленные преобразователи с включенными параллельно входами и входы синхронизации соединены с общим импульсным драйвером, необходимо позаботиться о том, каким образом обеспечить такой режим, чтобы нежелательные сигналы шума не возникали как нежелательные входные сигналы синхронизации (из-за контуров заземления). Когда вывод сигнала синхронизации отсчитывается относительно общего провода первичной цепи преобразователя напряжения, любой сигнал шума между этим обратным проводом и обратным проводом драйвера сигнала синхронизации появится как ложный входной сигнал синхронизации. Это может вызвать флуктуации и низкочастотные гармонические составляющие во входных и выходных спектрах шумов. В этом случае необходимо устранить любые контуры заземления или применять импульсный трансформатор для развязки шума. Рекомендуется использовать импульсный трансформатор с одним или более изолированными выходами, как требуется.

На рис. 9 представлен пример, где три входа преобразователя включены параллельно и синхронизируются одним драйвером. Вход синхронизации преобразователя № 1 управляется непосред-

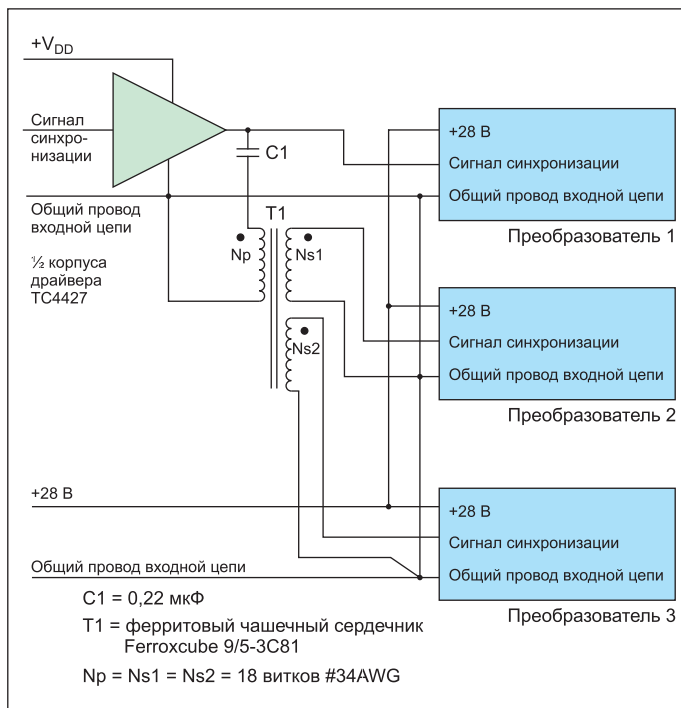


Рис. 9. Применение схемы синхронизации

ственно из импульсного драйвера синхронизации, потому что его общая входная точка расположена рядом с общей точкой первичной цепи преобразователя № 1. Преобразователи напряжения № 2 и № 3 используют совместно общий контур заземления между их общими точками входов и общим проводом входа драйвера. Сдвоенная вторичная обмотка импульсного трансформатора используется для развязки выводов синхронизации от шума в контуре заземления.

Дистанционное управление и синхронизация при использовании помехоподавляющего фильтра

В том случае, когда импульсные источники питания применяются с внешними фильтрами ЭМП, должны быть осуществлены дополнительные меры для определения внешнего заземления обратных проводников для драйверов внешнего сигнала управления или синхронизации. Гальваническая связь этих точек заземления с любой другой общей точкой, а не общей шиной напряжения питания 28-В преобразователя, может вызвать повреждение преобразователя. Внешние фильтры ЭМП обычно содержат симметричный дроссель в качестве части фильтра несимметричных (синфазных) помех (рис. 10). Одна обмотка симметричного дросселя включена последовательно с общим проводом входа фильтра. В том случае, когда обратный провод генератора сигнала синхронизации или электрического ключа сигнала управления присоединен к входной стороне фильтра, любой шум, появившийся на этой обмотке симметричного дросселя, появится в качестве входного сигнала последовательно с каждым из этих функциональных устройств. Напряжение, созданное на этой обмотке, будет содержать высокочастотные компоненты шума с двойной амплитудой несколько вольт. Этого достаточно, чтобы нарушить работу ШИМ-контроллера преобразователя, привести к возможному насыщению сердечника основного силового трансформатора преобразователя, и как результат, возможному повреждению силовых компонентов. Импеданс обратной обмотки симметричного дросселя может также значительно исказить форму сигнала синхронизации вследствие ее высокого сопротивления на частоте синхронизации.

На рис. 10 показан пример, когда два преобразователя напряжения подключены к одному общему фильтру ЭМП и используются обе функции — дистанционное включение/выключение и внешняя

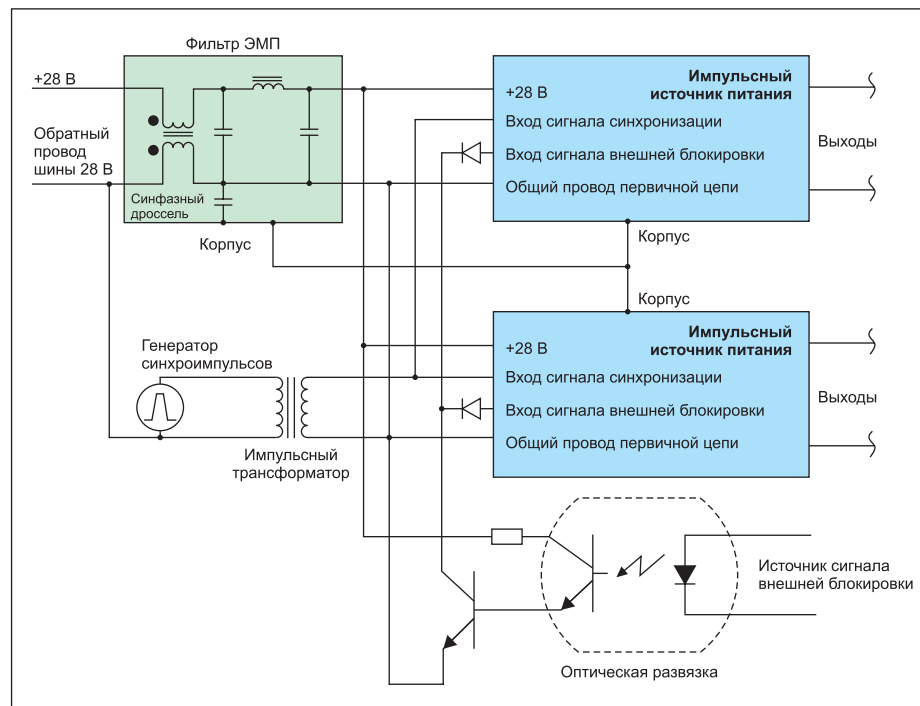


Рис. 10. Два модуля преобразователей напряжения, подключенные к одному общему фильтру электромагнитных помех

синхронизация. Импульсный трансформатор развязывает вход синхронизации от контура заземления, содержащий в себе внутренний симметричный дроссель фильтра ЭМП. Без этой развязки напряжение на обратном проводе обмотки дросселя было бы приложено последовательно с генератором сигнала синхронизации. Функция дистанционного включения/выключения осуществляется транзистором, гальванически связанным с общим проводом первичной цепи преобразователей. Предполагается, что преобразователи напряжения расположены рядом, так что любое фактическое последовательное сопротивление или последовательная индуктивность, связанная общим заземлением между двумя преобразователями, является незначительной. Изолирующие диоды применяются для обеспечения возможности управления выводами дистанционного включения/выключения из одного источника. Для многих моделей преобразователей применение этих диодов может не потребоваться, если развязывающие диоды являются компонентами их схемы.

В том случае, когда не планируется использовать функцию дистанционного управления включением/выключением и внешней синхронизации, важно проверить в технической спецификации рекомендованные подключения неиспользуемых выводов преобразователя.

Заключение

Выполнение рекомендаций по корректному использованию функции управления включением/выключением преобразователя позволяет включать отдельные преобразова-

тели напряжения в соответствии с алгоритмом решения конкретной задачи аппаратуры. Отключать отдельные узлы аппаратуры также просто, используя командный вход дистанционного включения/выключения преобразователя, соединением вывода блокировки с общим проводом первичной цепи преобразователя с помощью механического ключа, контактов реле или схемы сопряжения на основе транзистора с открытым коллектором, без необходимости снятия напряжения со всей аппаратуры. Поэтапное включение отдельных узлов аппаратуры сигналом управления позволяет значительно снизить пусковой ток и, тем самым, уменьшить воздействие тока на элементы схемы автомата защиты и входные конденсаторы.

Применение внешнего сигнала синхронизации в системах электропитания с многочисленными модулями DC/DC-преобразователей позволяет исключить частоты биений и упростить схему фильтрации, а также обеспечить быстрый переход преобразователей в рабочий режим без длительных переходных процессов на выходе. ■

Литература

1. Inhibit and Synchronization. Interpoint Application Note. APP-005 Rev. AA. 2015.11.02. Crane Aerospace & Electronics Power Solutions. Interpoint Products.
2. 50 to 100 Application Questions. Applications Engineering, 2000. Crane Aerospace & Electronics Power Solutions. Interpoint Products.
3. Жданкин В. К. Управление пусковым током в DC/DC-преобразователях // Компоненты и технологии. 2016. № 8.