

Широкое развитие технологии Интернета вещей, беспроводных интеллектуальных сенсорных сетей, а также самых разнообразных мобильных устройств, наложило свой отпечаток на требования к характеристикам основных элементов системы организации питания таких устройств, а именно к DC/DC-преобразователям малой и средней мощности. В данной статье рассматриваются две новые родственные топологии таких DC/DC-преобразователей.

DCS-Control™ – новая топологии контроллеров DC/DC-преобразователей компании Texas Instruments

Владимир Рентюк, г. Запорожье

Что является наиболее характерной чертой для современного DC/DC-преобразователя? Многие скажут – его эффективность, подразумевая под этим термином его коэффициент полезного действия (КПД). Это, безусловно, так. Именно высокий КПД импульсных преобразователей напряжения, несмотря на их относительную дороговизну и на ряд специфических побочных эффектов, обеспечил им такое широкое применение. Ну, что же, как говорят французы: «За каждое удовольствие надо платить». Да и с КПД тут не все так гладко, как нам того бы хотелось. А если брать во внимание еще и упомянутый выше «ряд специфических побочных эффектов» свойственных DC/DC-преобразователям, то картина, для целого ряда применений, становится уже не столь радужной.

Суть проблемы

Что же имеется в виду? Проблема в том, что для современных устройств характерен очень широкий диапазон потребляемых мощностей. Это касается не только устройств с одним питающим напряжением, а и систем с распределенным питанием. Например, для питания плат промышленных компьютеров [1] или систем с организацией пи-



тания по технологии PoL (от англ. «Point-of-Load»), когда для питания отдельных нагрузок, используются отдельные источники питания, максимально приближенные к своим нагрузкам, с запиткой от одной общей шины.

В этом случае ток потребления от DC/DC-преобразователей колеблется от долей миллиампера, в так называемом спящем режиме, до ампер, когда устройство «просыпается» и начинает работать в полном объеме. Вот тут, как говорится, собака и зарыта.

У большинства DC/DC-преобразователей КПД нормируется при относительно высокой нагрузке в пределах от 70% до 100%. И, в этом случае, он действительно достигает 96% и более. А вот на низких нагрузках КПД большинства импульсных преобразователей падает, причём падает резко. Поэтому для многих контроллеров таких преобразователей

в спецификации вводятся требования по минимальной нагрузке. Это же видно и при проектировании конечных устройств с применением ИМС контроллеров DC/DC-преобразователей, наглядный пример приведен в публикации [2]. Кроме того, на малых нагрузках возрастают пульсации выходного напряжения, так как DC/DC-преобразователь начинает работать в режиме генерации пачек импульсов, что отрицательно сказывается на функционировании высокочувствительного к шумам и помехам оборудования, например, к датчикам. Повышение уровня пульсаций может привести и к нарушению требований по электромагнитной совместимости, а этому вопросу уделяется сейчас очень пристальное внимание и нормы по электромагнитным помехам все время ужесточаются.

Стандартное решение проблемы низкого КПД при малом токе нагрузки

До недавнего времени описанная выше проблема решалась путем переключения режимов работы DC/DC-преобразователя [3]. Не будем повторять написанное в этой статье, ограничимся сутью. А она в том, что при соот-

ветствующей конфигурации DC/DC-преобразователь на больших токах работает в режиме ШИМ-регулирования (англ. PWM – pulse-width modulation, широко-импульсная модуляция), а затем

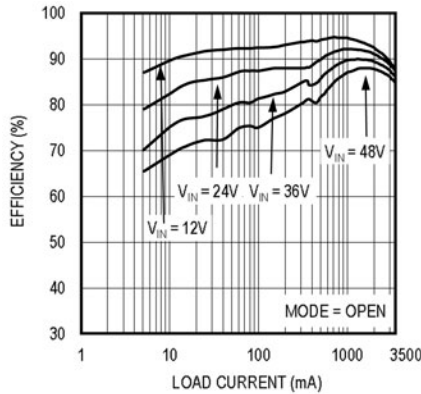


Рис.1

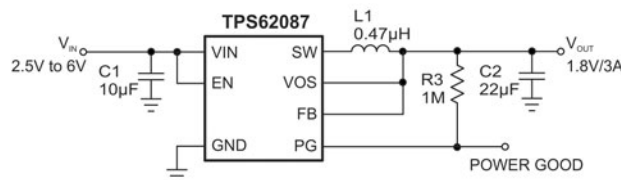


Рис.2

при уменьшении нагрузки переходит в режим ЧИМ-регулирования (англ. PFM – pulse-frequency modulation, частотно-импульсная модуляция) и при самых малых токах – в режим разрывных токов (англ. DCM – discontinuous current mode). Как показано в [3], это позволяет перекрыть рабочий диапазон выходных токов от десятков миллиампер до ампер с КПД от 70% до 95%.

На рис.1 приведены зависимости КПД DC/DC-преобразователя выполненного на микросхеме MAX17504 с переключением режимов регулирования [3] от тока нагрузки.

Новые проблемы

Несомненно, это шаг вперед, но решил ли он все проблемы в том ракурсе, о котором говорилось выше? К сожалению – нет. И проблем тут три.

Во-первых, ток на уровне десятков миллиампер – это далеко не минимальный ток для питания современных распределенных нагрузок, датчиков и узлов интеллектуальных компьютерных сетей.

Во-вторых, при малых нагрузках КПД все же оставляет желать лучшего.

В-третьих, переключения между режимами приводит к возникновению пе-

редных процессов, а, следовательно, и генерации помех, как электромагнитных, так и кондуктивных (по цепям питания), которые могут отрицательно сказаться на функционировании подключенных к таким DC/DC-преобразователям нагрузок.

Новое решение

Выход заключается в разработке «бесшовной» технологии перехода между различными режимами работы контроллера DC/DC-преобразователя. Такую технологию предложила известная американская компания Texas Instruments. Ее специалисты разработали и внедрили для самых востребованных, для систем распределенного пита-

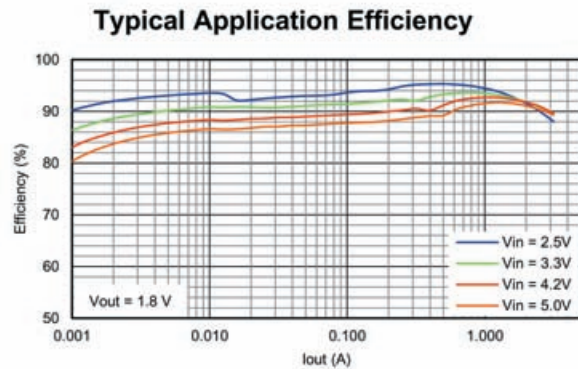
ния и систем организации питания по технологии PoL, контроллеров новую топологию понижающих DC/DC-преобразователей, а именно – топологию регулирования прямого управления с «бесшовным» переходом в режим экономии энергии – DCS-Control™ (англ. Direct Control with Seamless Transition into Power Save Mode). Эта топология включает в себя преимущества режима управления по напряжению (англ. voltage-mode), режима с управлением по току (англ. current-mode) и гистерезисных топологий управления, обеспечивая при этом чистый без переходных процессов переход из режима полной нагрузки в режим экономии энергии и обратно [4]. На рис.2 показано типовое применение контроллера TPS62085 топологии DCS-Control и значения КПД DC/DC-преобразователя на его основе

Как показано на рис.2, эта топология позволяет перекрыть рабочий диапазон регулирования от долей миллиампер до ампер с КПД, в этом диапазоне нагрузок, от 80-90% для сверхмалых токов до 90-95% для предельно больших токов, то есть она полностью

соответствует решению той задачи, которая была поставлена выше.

Для иллюстрации применения DC/DC-преобразователей данной топологии на рис.3 приведена схема радиочастотного устройства ячейки интеллектуальной беспроводной сенсорной сети [5].

До команды на пробуждение контроллер находится в спящем, но не обесточенном режиме с минимальным потреблением мощности, а передатчик и его выходной каскад (беспроводного передатчика) – в выключенном. Пробуждаясь, контроллер MSP430 повышает потребление мощности, а после обработки и подготовки к передаче данных от сенсора, дает команду на передачу, после этого на передатчик (RF Transceiver) и его усилитель мощности (RF PA) по-



дается питание, и они начинают выполнять свою функцию. По окончании цикла передачи, передающая часть отключается, а контроллер опять засыпает. Как мы видим здесь, с целью экономии энергии, получаемой от батарей, исполь-

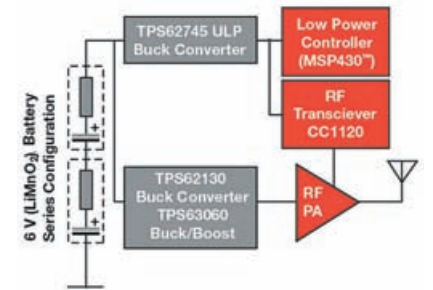


Рис.3

зуется многоступенчатая структура ее потребления. Эффективность такой системы напрямую зависит от организации ее питания. В [5] приведен еще целый ряд полезных практических примеров использования контроллеров топологии DCS-Control, но их рассмотрение выходит за рамки настоящей статьи.

Топология DCS-Control™

Итак, что же собой представляет топология DCS-Control от компании Texas Instruments? В общем виде топология DCS-управления представляет собой гистерезисную топологию (здесь и далее использованы примеры и ряд пояснений, приведенные в [4]). Тем не менее, она включает в себя несколько схем, которые обеспечивают преимущества топологий с управлением по напряжению и тока. На рис.4 показана принци-

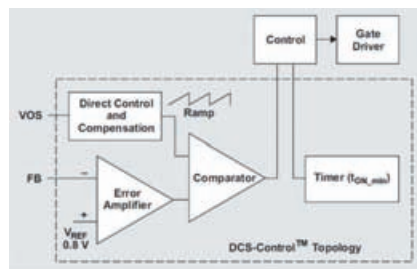


Рис.4

пиальная блок-схема топологии DCS-управления, взятые из технического описания понижающего DC/DC-преобразователя TPS62130 компании Texas Instruments [6]. Для реализации DCS-управления в топологии преобразователя имеется два входа: вход обратной связи (вывод FB) и вход непосредственно слежения за выходным напряжением (вывод VOS). Вход FB работает так же, как и в большинстве DC/DC-преобразователей. Это вход связан с усилителем ошибки, имеющим высокое входное сопротивление или с операционным усилителем, который формирует сигнал ошибки путем сравнения напряжения на выводе FB с напряжением источника внутреннего опорного напряжения V_{REF} .

Как и в других DC/DC-преобразователях усилитель ошибки обеспечивает точное поддержание выходного напряжения. Делитель напряжения, установленный по входу FB между выходом преобразователя и общим проводом («землей») задает нужное выходное напряжение. Для некоторых устройств, таких как упомянутый контроллер TPS62131, вывод FB соединен внутри с помощью делителя напряжения с VOS (для версий с фиксированным выходным напряжением). Такое решение уменьшает количество внешних компонентов на два, а также снижает чувствительность входа FB к помехам. Кроме того, для того чтобы обеспечить стабильность усилителя

ошибки в цепь его отрицательной обратной связи по напряжению включается еще и соответствующая компенсация.

Вывод VOS соединен непосредственно с выходным напряжением преобразователя в точке подключения выходного конденсатора DC/DC преобразователя. Подобно входу FB, это вход организован также с высоким сопротивлением и включен в контур управления. Однако, в отличие от входа FB, вывод VOS подключен к разработанной специалистами компании Texas Instruments фирменной схеме, которая создает линейное пилообразное напряжения. Затем это напряжение сравнивается с сигналом ошибки от усилителя ошибки, как это обычно происходит в устройствах регулирования сигнала по напряжению или по току. Эта часть внутренней схемы контроллера от входа VOS до компаратора и обеспечивает быстрый отклик гистерезисной топологии DCS-управления. Изменения выходного напряжения на выводе VOS непосредственно подаются на компаратор и сразу же оказывают влияние на работу устройства. По этой причине, вход VOS является весьма чувствительным к шумам и помехам, поэтому линия его подключения к точке выходного напряжения должна быть насколько это возможно максимально короткой и прямой и вывод VOS должен непосредственно подключаться к выходному конденсатору, DC/DC преобразователя. Кроме того, для обеспечения стабильности этого контура управления здесь предусмотрена соответствующая компенсация.

Компаратор выдает сигнал на схему управления, тем самым определяя, подавать импульс или нет на драйвер управления затвором, который управляет МОП-транзистором на высокой стороне DC/DC преобразователя. Для того чтобы обеспечить быстрый отклик на переходные процессы на нагрузке, компаратор совмещен со схемой таймера и управляет частотой переключения.

Таймер, на основании соотношения V_{OUT} к V_{IN} , устанавливает минимальное время (t_{ON_min}), которое может увеличить время включения МОП-транзистора от компаратора. Минимальное время включения, установленное таймером, обычно отображается в техническом описании устройства и рассчитыва-

ется в соответствии с уравнением приведенным ниже:

$$t_{ON} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} * 400нс$$

В этом примере, в котором рассматривается на контроллер TPS62130, период переключения составляет 400 нс. Таким образом, частота переключения равна 2.5 МГц. Регулируемая частота переключения сохраняется во всем диапазоне входного и выходного напряжений с коэффициентом $D = V_{OUT}/V_{IN}$, который и устанавливает минимальное время включения (t_{ON_min}) на основании идеального рабочего цикла для понижающего преобразователя. Таким образом, уравнение по времени включения также можно записать в виде

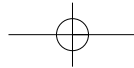
$$t_{ON} = D * t_{period}$$

что является точным определением времени включения для любого понижающего преобразователя.

Управление МОП-транзистором на низкой стороне достаточно простое. После того, как МОП-транзистор высокой стороны выключается, включается МОП-транзистор на низкой стороне и ток в дросселе эффективно уменьшается. МОП-транзистор на стороне низкого напряжения выключается в случае, или когда ток в дросселе преобразователя падает до нуля, или когда компаратор дал команду снова включить МОП-транзистор высокой стороны. Для того чтобы избежать опасных сквозных токов, которые могут возникнуть из-за несогласованности включения МОП-транзисторов высокой и низкой сторон, в системе управления контроллера формируется некоторое мертвое время, в течение которого управление включением транзисторов блокируется.

Режим энергосбережения

Ключевым компонентом топологии DCS-управления является режим энергосбережения. Как уже отмечалось в начале статьи, в большинство контроллеров экономия энергии активируется при низких токах нагрузки, и позволяет повысить эффективность (КПД) преобразования путем пропуска импульсов переключения и снижения собственного тока потребления устройством (тока покоя). Пропуск импульсов переводит ус-



тройство в режим разрывных токов DCM, устраняя тем самым отрицательный ток дросселя (ток от выхода к входу), что в противном случае неизбежно при малых нагрузках. При таких малых токах нагрузки рабочие циклы переключения просто пропускаются, что влечет за собой дополнительные потери, которые, собственно, и снижают эффективность преобразователя (см. **рис.1**), а уменьшение тока покоя, в свою очередь, повышает КПД только при очень низких нагрузках и такое относительное его повышение выглядит довольно таки спорным.

Режим экономии энергии в топологии DCS-управления очень прост. Он реализуется той же самой схемой, которая описана выше, и в которой, при переходе от режима ШИМ к режиму экономии энергии, нет переключения между двумя различными режимами управления. В некоторых топологиях управления реализовано переключение между одним методом управления, который используется для режима экономии энергии, и другим, который используется для режима ШИМ с штатной нагрузкой. Такое переключение между режимами создает возможность для сбо-

ев и генерации случайных помех, которые возникают, как реакция в виде переходного процесса во время переключения между режимами.

В топологии DCS-управления режим экономии энергии реализуется достаточно просто – если компаратор не требует импульса переключения, то такой импульс и не формируется. Таким образом, если выходное напряжение находится выше его уставки (оно измерено усилителем ошибки), то, когда ток дросселя падает до нуля, контроллер просто не генерирует новый импульс. Вместо этого, он уменьшает свой ток покоя и переходит в режим экономии энергии. Контроллер ждет, пока усилитель ошибки не сообщит компаратору, что выходное напряжение уменьшилось до заданного значения, и теперь оно должно быть увеличено. После чего контроллер формирует импульс переключения, при этом, если уровень выходного напряжения достаточно увеличился, настолько, чтобы остаться в пределах регулирования, то этот импульс так и остается с минимальной длительностью включения. Высокую эффективность и хорошую стабильность (регулируемость)

выходного напряжения в режиме экономии энергии обеспечивают минимальные задержки распространения через схему анализа и управления.

Такие одиночные импульсы переключения, с минимальной длительностью, передают на выход преобразователя наименьшее из возможного количество энергии. Тем самым они создают и самые минимальные пульсации выходного напряжения. При увеличении тока в режиме легкой нагрузки, одиночные импульсы будут генерироваться чаще, т.е. во времени располагаться они будут ближе друг к другу. Таким образом, увеличивается частота переключения, которая окажется выше звукового диапазона за более короткий промежуток времени, чем тот, который показывают другие топологии экономии энергии.

Другие топологии построения преобразователя, в режиме экономии энергии, используют пакеты или всплески импульсов, которые передают, во время такого всплеска, на выход преобразователя гораздо больше энергии, чем это необходимо.

(Продолжение следует)

XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА ЭНЕРГЕТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ-2016

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОДСТАНЦИИ, КАБЕЛИ, ПРОВОДА,
ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, ПРОМЫШЛЕННАЯ СВЕТОТЕХНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, КИПыА

XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС УКРАИНЫ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ





МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
Украина, 02660
Киев, Броварской пр-т, 15
М "Левобережная"
тел./факс: (044) 201-11-57
e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.мвц.укр
www.tech-expo.com.ua

8-10 ноября

ОРГАНИЗАТОР:
Международный выставочный центр

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ
Министерства энергетики
и угольной промышленности Украины

Технический партнер: *Real Media*

