

Структура преобразователей постоянного напряжения, работающих в режиме Green Mode

В статье рассматриваются структура, схемотехника и алгоритмы работы узлов преобразователей постоянного тока, позволяющие значительно уменьшить энергопотребление в режиме холостого хода.

Анатолий Мионов

Энергосберегающие технологии применительно к сегменту вторичных источников питания (ВИП) — это в первую очередь повышение энергоэффективности всех этапов процесса производства вторичных источников питания и увеличение главной энергетической характеристики — коэффициента полезного действия (КПД) ВИП.

В [1] подробно описаны энергосберегающие алгоритмы проведения электротермотренировки (ЭТТ) при промышленном изготовлении ВИП и функциональные схемы аппаратуры, сокращающие энергопотребление на этом этапе в несколько раз! И хотя это важно, этап ЭТТ, пусть энергозатратная, но разовая операция. При проектировании же собственно ВИП необходимо построить схемотехнику так, чтобы увеличить КПД устройства во всех режимах его функционирования.

Обычно разработчики основное внимание уделяют оптимизации тех узлов, которые уменьшают потери в наиболее тяжелых электрических режимах работы ВИП — на максимальной выходной мощности. Даже если при средних нагрузках КПД пре-

образователя снижается, общая мощность потерь, а значит и перегрев ВИП, будет больше при максимальной нагрузке. В «борьбе за увеличение КПД» уже достигнуты значительные результаты. Это и применение синхронных выпрямителей при малых выходных напряжениях, и изготовление обмоток силовых моточных узлов в виде многослойных печатных плат, и использование ферритов с малыми потерями на высоких частотах переключения, и схемотехника активного демпфирования, уменьшающего потери при переключении силовых элементов.

Однако не все перечисленные варианты всегда приводят к желаемому результату. Дьявол, как всегда, кроется в деталях. Рассмотрим некоторые из названных решений подробнее.

Вариант повышения КПД обратногоходового преобразователя для малых выходных напряжений с применением на выходе синхронного выпрямителя на МДП-транзисторе с малым сопротивлением открытого канала приведен в [2]. На рис. 1 показан фрагмент электрической схемы пассивного синхронного выпрямителя, управляемого от обмотки силового трансформатора. Такой выпрямитель опробован в модуле питания серии МДМ10-1В05 (входное напряжение 17–36 В, выходное напряжение 5 В, выходная мощность 10 Вт), разработанном на отечественных электрорадиоэлементах (ЭРИ) с приемкой «5» на предприятии ООО «АЭИЭП».

Зависимости КПД преобразователя от выходного тока в сравнении с диодным выпрямителем показаны на рис. 2. Как видно из графиков, потери в модуле при максимальном выходном токе уменьшаются для выходного напряжения 3,3 В практически в 1,5 раза, для выходного напряжения 5 В — в 1,42 раза. Применение синхронного выпрямителя с пассивным управлением в маломощных прямоходовых преобразователях позволяет получить еще больший КПД [3].

Однако при снижении нагрузки до 20–30% от номинальной КПД преобразователя с диодным

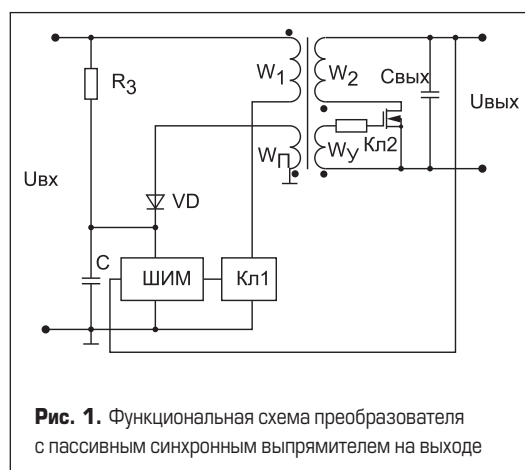


Рис. 1. Функциональная схема преобразователя с пассивным синхронным выпрямителем на выходе

выпрямителем превышает КПД преобразователя с пассивным синхронным выпрямителем вследствие того, что при малой нагрузке во время паузы через открытый ключ Кл2 начинают протекать токи обратного направления, разряжающие выходной конденсатор $C_{\text{вых}}$. Этот разрядный ток и играет роль подгрузки. В результате в режиме холостого хода (ХХ) такой преобразователь потребляет значительно больший входной ток, нежели «традиционный» с диодным выпрямителем, даже и с резисторами на выходе в качестве подгрузки.

Для применений, когда преобразователь с синхронным выпрямителем длительное время работает в режиме малых нагрузок или ХХ, важно, чтобы потребление мощности и в этих режимах было также минимальным. На рис. 3 представлена функциональная схема обратногоходового преобразователя с синхронным выпрямителем на выходе, удовлетворяющая этим требованиям. Алгоритм его работы подробно описан в [4].

При относительно больших выходных токах он действует, как и вышеупомянутый преобразователь, за исключением того, что управление синхронным ключом Кл2 осуществляется от мощного выхода компаратора К или специального драйвера сигналом с крутыми фронтами, что ускоряет процесс его переключения. Во время паузы $t_{\text{п}}$ (интервал передачи энергии на выход) сначала открывается диод VD, а когда через резистор — датчик тока $R_{\text{дт}}$ начинает протекать ток, сигналом с компаратора К открывается ключ Кл2. Компаратор анализирует напряжение на резисторе — датчике тока $R_{\text{дт}}$, то есть ток протекает от вторичной обмотки трансформатора Тр1 через ключ Кл2 в выходной конденсатор С и нагрузку. Если мгновенное значение тока во время паузы $t_{\text{п}}$ становится меньше значения $I_{\text{мин}} = U_{\text{оп}}/R_{\text{дт}}$, компаратор К выключает транзистор Кл2 и ток вторичной обмотки трансформатора Тр, уменьшаясь до нуля, продолжает протекать теперь через диод VD. В этой формуле $U_{\text{оп}}$ — напряжение источника опорного напряжения; $R_{\text{дт}}$ — сопротивление резистора — датчика тока $R_{\text{дт}}$.

При достижении нуля диод VD также закрывается и направление тока на обратное в обмотке трансформатора Тр не меняется. При малых выходных токах компаратор вообще не включает синхронный ключ Кл2, преобразователь работает с диодным выпрямителем и поэтому имеет малое значение входного тока в режиме малой нагрузки и ХХ.

Положительным моментом рассматриваемого преобразователя является еще и то, что диод VD всегда открывается раньше транзистора Кл2. Это означает, что синхронный ключ Кл2 открывается, а при малых токах нагрузки и закрывается при нуле напряжения на нем, то есть отсутствуют динамические потери при его переключении, что также снижает общие потери мощности. Кроме того, минимизировать потери в реальной схеме преобразователя позволило выполнение датчика тока на основе трансформатора тока.

Еще больше уменьшить входной ток преобразователя в режиме малой нагрузки и ХХ

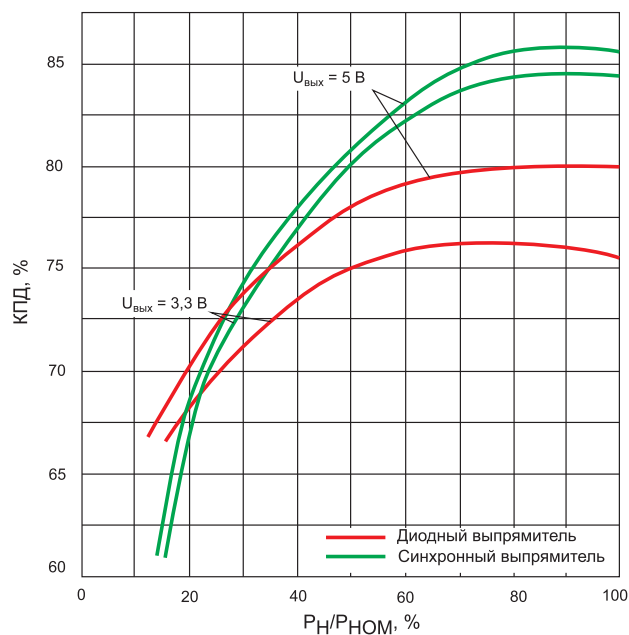


Рис. 2. Сравнительные зависимости КПД преобразователя с пассивным синхронным и диодным выпрямителями

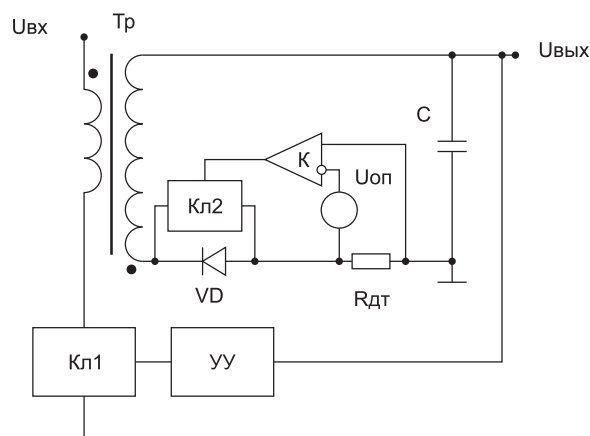


Рис. 3. Функциональная схема преобразователя с минимизацией энергопотребления в режиме ХХ

позволяет узел в цепи обратной связи, предложенный в [5]. Функциональная схема преобразователя показана на рис. 4.

Преобразователь работает следующим образом. При относительно большом выходном токе он работает на своей основной

частоте, которая устанавливается ШИМ-контроллером с помощью частото задающего конденсатора С1. При уменьшении выходного тока ШИМ-контроллер сокращает длительность управляющего импульса $t_{\text{п}}$, увеличивая сигнал обратной связи от узла

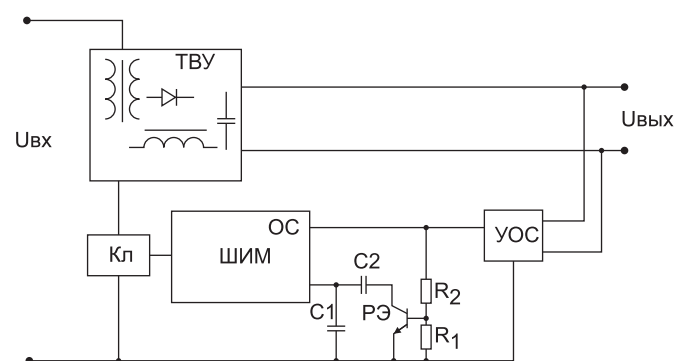


Рис. 4. Функциональная схема преобразователя, реализующего режим Green Mode

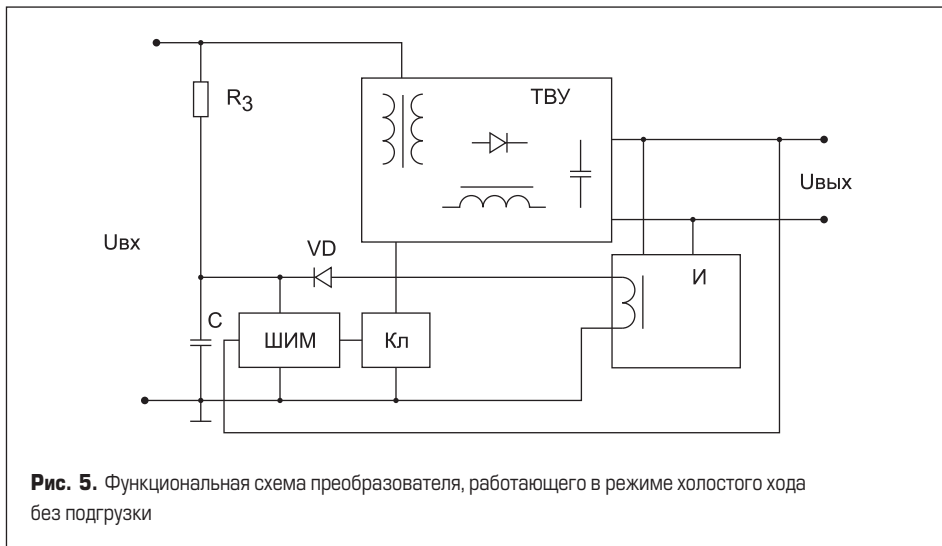


Рис. 5. Функциональная схема преобразователя, работающего в режиме холостого хода без подгрузки

обратной связи УОС. В режиме холостого хода уровень этого сигнала максимален, а длительность управляющего импульса $t_{И}$ — минимальна. Однако и она бывает слишком большой, и тогда преобразователь переходит в режим работы с пропусками управляющих импульсов, что отрицательно сказывается на стабильности и амплитуде пульсаций выходного напряжения. Чтобы избежать этого нежелательного режима, преобразователь обычно подгружают на выходе резисторами. Это, однако, уменьшает его КПД и заметно увеличивает входной ток в режиме ХХ.

В предлагаемой схеме часть сигнала ОС через делитель на резисторах R_1R_2 подается на базу регулирующего элемента РЭ (в данном случае — биполярного транзистора). При некотором уровне этого сигнала транзистор РЭ открывается и параллельно частотозадающему конденсатору C_1 подключается дополнительный конденсатор C_2 . При этом частота

управляющего сигнала ШИМ-контроллера снижается. Таким образом, при уменьшении выходного тока начиная с некоторого значения, устанавливаемого делителем R_1R_2 , частота преобразователя плавно уменьшается. Так же плавно продолжает уменьшаться и минимальное значение коэффициента заполнения $K_{з\text{ мин}} = t_{И}/T$, где T — период работы ШИМ-контроллера. Максимальную степень открытия РЭ имеет в режиме холостого хода преобразователя. В этом режиме преобразователь работает на частоте в несколько раз меньше рабочей, и подгрузка на выходе значительно снижается, а зачастую и совсем не требуется.

С уменьшением частоты переключения пропорционально уменьшаются также и динамические потери на силовом ключе Кл и общий потребляемый преобразователем ток. Такой режим снижения потребляемой мощности при малой нагрузке и ХХ уже получил название Green Mode и заложен в схемотехнику

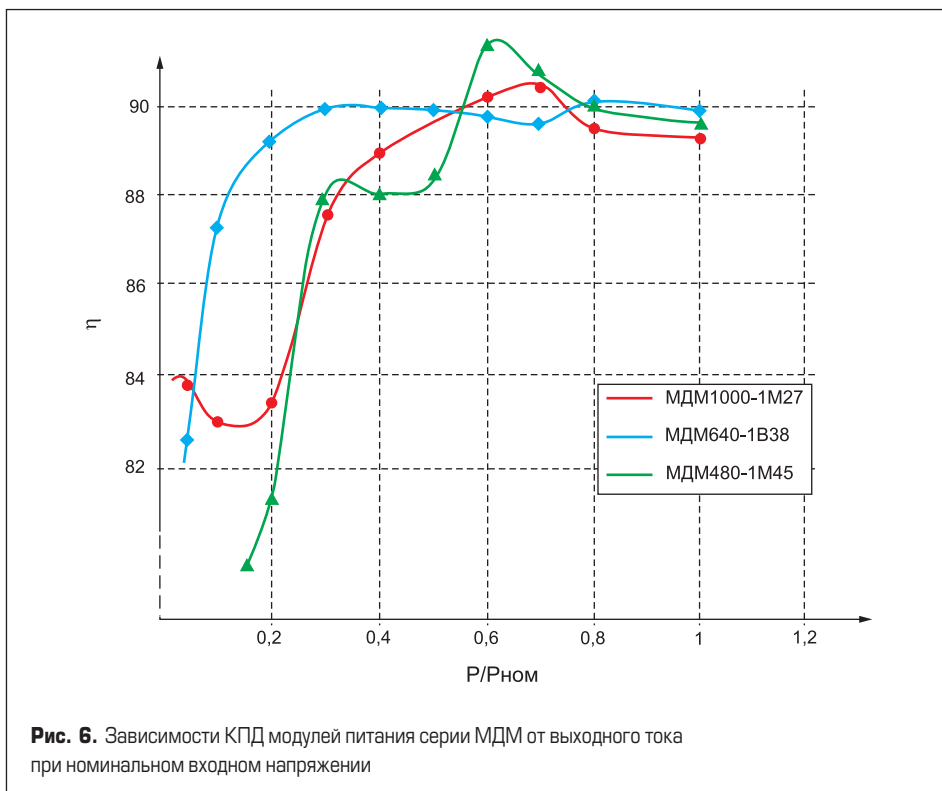


Рис. 6. Зависимости КПД модулей питания серии МДМ от выходного тока при номинальном входном напряжении

некоторых современных ШИМ-контроллеров как обязательная опция [6].

Реализуя описанный режим в реальном преобразователе, необходимо помнить, что если ШИМ-контроллер питается от дополнительной обмотки силового трансформатора, то с уменьшением частоты переключения снижается и частота передачи энергии в цепь его питания. Напряжение питания ШИМ-контроллера уменьшается и может снизиться до предельно низкого значения — преобразователь выключится с последующим автоматическим включением, то есть перейдет в режим периодических включений/выключений с частотой 10–30 Гц. Среднее значение выходного напряжения уменьшится, а амплитуда пульсаций — увеличится. Избежать этого нежелательного эффекта можно, применив преобразователь, функциональная схема которого показана на рис. 5. Алгоритм работы преобразователя подробно описан в [7].

Здесь электропитание ШИМ-контроллера осуществляется с выхода преобразователя через отдельный маломощный нерегулируемый инвертор И. Поэтому напряжение питания ШИМ-контроллера строго пропорционально выходному, независимо от величины нагрузки на выходе и входного напряжения. Инвертор вырабатывает мощность 1–2 Вт на нагрузку (ШИМ-контроллер) и работает с КПД преобразования 85–90%. Такая структура питания ШИМ-контроллера как бы подгружает выход преобразователя, устраняя формально режим ХХ, но в отличие от традиционного подгрузочного резистора потребляемая инвертором мощность не рассеивается, а применяется для «пользы дела» — электропитания узлов ШИМ-контроллера и обратной связи.

Значительно уменьшить потребление входного тока в режиме ХХ можно, если применить современные ШИМ-контроллеры последних поколений. Они отличаются микроамперным уровнем потребляющего тока в выключенном режиме и током на уровне 4 мА в рабочем состоянии. Если применить такой контроллер возможности нет, то после запуска преобразователя следует дополнительным ключом отключать запускающие цепи, в данном случае — отключать резистор R_3 от провода входного напряжения (на рис. 5 условно не показан). На таком принципе реализованы мощные модули питания серии МДМ-П ООО «АЭИЭП», разработанные в последние годы. Описанный подход позволил не только увеличить КПД преобразователей при максимальной выходной мощности, но и поддерживать высокое его значение вплоть до нагрузки в несколько процентов от номинальной. На рис. 6 показаны зависимости КПД модулей питания на разные мощности, входные и выходные напряжения для трех модулей питания: МДМ480-1М45 (входное напряжение 175–350 В, выходное напряжение 45 В, выходная мощность 480 Вт), МДМ640-1В38 (входное напряжение 17–36 В, выходное напряжение 38 В, выходная мощность 640 Вт), МДМ1000-1М27 (входное напряжение 175–350 В, выходное напряжение 27 В,

выходная мощность 1000 Вт). Как видно из графиков, модули питания сохраняют высокое значение КПД даже при нагрузке 5% от номинальной.

В таблице приведены входные токи тех же модулей питания при работе в режиме холостого хода $I_{вх.хх}$ и потребляемая модулями мощность относительно номинальной выходной в процентах при номинальном входном напряжении.

В [8] рассматриваются характеристики АС/DC-преобразователей, работающих в режиме Green Mode. Основным параметром указанного режима — потребляемая мощность в состоянии ожидания и ХХ. Для преобразователей с выходной мощностью не более 100 Вт она не должна превышать 1 Вт, то есть составлять не более 1% от номинальной выходной мощности (самое жесткое требование). В соответствии с этим критерием рассмотренные модули питания ООО «АЭИЭП» также можно отнести к классу Green Mode, хотя для мощных моду-

Таблица. Параметры режима холостого хода модулей питания

Тип модуля питания	МДМ480-1М45	МДМ640-1В38	МДМ1000-1М27
$I_{вх.хх}, \text{мА}$	16	93	14
$P_{хх}/P_{ном}, \%$	0,77	0,4	0,32

лей абсолютное значение потребляемой в режиме ХХ мощности и превышает 1 Вт.

Литература

1. Миронов А. А. Энергосберегающие технологии электротренировки ВИП // Практическая силовая электроника. 2016. № 4.
2. Миронов А. А. Особенности работы преобразователей с ШИМ-контроллером в режиме малых нагрузок и холостого хода // Практическая силовая электроника. 2017. №1.
3. Лукин А. В., Макаров В. В. Опыт разработки DC/DC-преобразователей малой мощности // Электропитание. 2015. № 2.
4. Миронов А. А. Конвертер напряжения с повышенным КПД. Патент на полезную модель № 80081, 2009.
5. Миронов А. А. Преобразователь постоянного напряжения с повышенным КПД. Патент на полезную модель № 163828, 2016.
6. Даташит на контроллер FAN400A фирмы Fairchild semiconductor, 2008.
7. Миронов А. А. Конвертер напряжения. Патент на полезную модель № 35488, 2004.
8. Козлов А. Конструирование источника питания на основе контроллера Green FPS // Chip News Украина. № 11 (61), февраль, 2007.