

Техническое сравнение конструкций постоянно действующих и линейно- интерактивных ИБП

Авторы: Джеффри Самстад,
Майкл Хофф

Информационная
статья № 79

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Краткий обзор

Для систем ИБП с мощностью менее 5000 ВА существует две основные конструкции: линейно-интерактивная и постоянного действия с двойным преобразованием. В этой статье описываются преимущества и недостатки каждой из технологий и разъясняются некоторые распространенные заблуждения о требованиях, предъявляемых реальными приложениями.

Введение

Большинство факторов, которые учитываются при выборе ИБП для покупки очевидны и хорошо понятны: время автономной работы от батареи, стоимость, размер, производитель, число розеток, возможности управления и т.д. Но существуют также и менее очевидные факторы, понять которые не всегда просто. Одним из наименее понятных, но, пожалуй, наиболее часто обсуждаемых аспектов является **топология**. Топология (внутреннее устройство) ИБП влияет на то, как он работает в различных обстоятельствах.

Выбор правильной топологии может быть осложнен заявлениями о том, что некоторые топологии более предпочтительны и абсолютно необходимы для случаев применения, требующих безотказной работы. Поскольку такие заявления обычно делаются производителями, пытающимися наладить сбыт своей “предпочтительной” топологии, очень трудно принять обоснованное решение, опираясь только на информацию такого рода. Задача данной статьи состоит в том, чтобы объективно обсудить преимущества и недостатки двух наиболее распространенных топологий: **линейно-интерактивной и постоянного действия с двойным преобразованием**.

На верхних и нижних границах диапазона используемых мощностей вопрос об относительных достоинствах этих двух топологий достаточно очевиден.¹ Свыше 5000 ВА исторически была установлена непрактичность использования линейно-интерактивной топологии из-за ее больших размеров и большей стоимости. В нижней части диапазона мощностей, когда они не превышают 750 ВА, топология постоянного действия с двойным преобразованием редко рассматривается потому, что остальные топологии (включая линейно-интерактивную) оказываются более эффективными при меньших нагрузках.

Основной спор в отношении выбора топологии для использования, линейно-интерактивной или постоянного действия с двойным преобразованием, возникает в диапазоне мощностей между 750 ВА и 5000 ВА. Именно в этом промежутке функциональные и экономические преимущества одной технологии над другой не так очевидны и зависят от особенностей установки. Хотя линейно-интерактивная топология стала лидером по объему производства и числу внедрений в этом диапазоне мощностей, развитие полупроводниковых технологий и методов производства значительно сократили разницу в стоимости топологии постоянного действия с двойным преобразованием относительно линейно-интерактивной, что значительно усложнило выбор между ними. Для того, чтобы выбрать лучшую из топологий в этом совпадающем диапазоне, необходимо хорошо понимать соотношения преимуществ и недостатков, свойственных каждой из них.

¹ При очень высоких мощностях, от 200 000 ВА и выше, возникает спор о преимуществах и недостатках другой пары топологий: **постоянного действия с двойным преобразованием и постоянного действия с дельта-преобразованием**. См. информационную статью APC № 1, “Различные типы систем ИБП”, где дается сравнение этих двух топологий постоянного действия.

Изучение своего случая применения

Прежде чем принимать какое-либо решение о топологии ИБП, очень важно понять потребности оборудования, которое будет защищено, а также среды, в которой этот ИБП будет устанавливаться. Знание этих основных требований очень важно для принятия обоснованного решения о том, какая из топологий ИБП лучше подойдет для конкретного применения.

ИТ-оборудование и переменный ток: импульсный источник питания (ИИП)

Обычно электропитание подается в виде напряжения переменного тока, поступающего из электросети или от резервных генераторов. Напряжение переменного тока меняется с положительного на отрицательное, в идеальном случае как синусоидальная волна, два раза за цикл принимая значение ноль вольт. Даже невооруженным глазом можно заметить, что лампа освещения, подключенная к сети электропитания, действительно мигает 100 или 120 раз в секунду (50 или 60 циклов переменного тока), поскольку напряжение проходит через нулевое значение при каждой смене полярности.

Каким образом ИТ-оборудование использует переменный ток для энергопитания своих работающих электросхем? Также ли оно “выключается” 100 или более раз в секунду при смене полярности напряжения в линии электропитания? Очевидно, здесь существует проблема, которую необходимо решить для ИТ-оборудования. Способ, которым практически все современные электронные приборы преодолевают эту проблему, заключается в использовании **импульсных источников питания (ИИП)**.² Импульсный источник питания вначале преобразует переменный ток со всеми его неидеальными компонентами (всплесками напряжения, искажениями, изменениями частоты и т.д.) в постоянный ток. В ходе этого процесса заряжается аккумулирующий энергию элемент, называемый **конденсатором**, который установлен между входом переменного тока и остальной частью источника питания. Этот конденсатор импульсно подзаряжается от входящего переменного тока дважды за цикл смены полярности напряжения, когда синусоидальная волна доходит до своих пиковых значений (положительного и отрицательного), и разряжается с той скоростью, которая необходима для работы электросхем подключенного далее ИТ-оборудования. Емкость конденсатора рассчитывается таким образом, чтобы он непрерывно амортизировал эти стандартные импульсы переменного тока, а также аномальные всплески напряжения в течение всего своего проектного срока службы. Поэтому, в отличие от мигающей лампочки освещения, ИТ-оборудование работает от равномерно подаваемого постоянного тока, а не от пульсирующего переменного тока, поступающего из сети электропитания.

Но это только начало обсуждения. Для интегральных микросхем требуются очень низкие напряжения переменного тока (3,3 В, 5 В, 12 В и т.д.), а напряжение на упомянутом конденсаторе может достигать 400 В. Импульсный источник питания также преобразует постоянный ток высокого напряжения в строго стабилизируемый на выходе постоянный ток низкого напряжения.

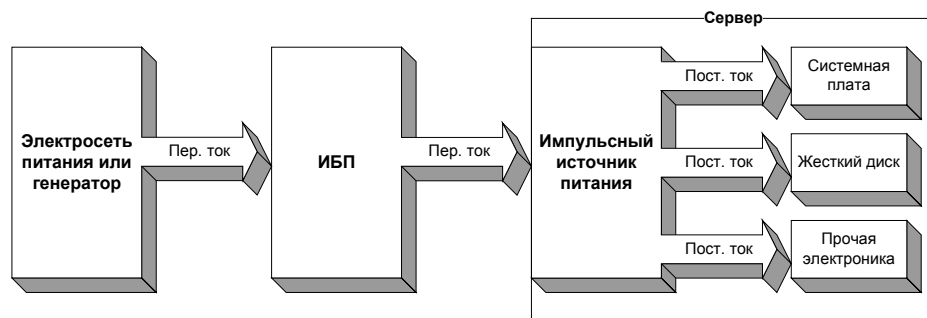
² Термин “импульсный” подразумевает особенность внутреннего устройства данного блока питания, которая не связана с обсуждаемой здесь темой.

Осуществляя такое понижение напряжения, ИИП выполняет другую важную функцию: он обеспечивает **гальваническую развязку**. Гальваническая развязка – это физическое разделение электрической схемы, которое преследует две цели. Первой целью является обеспечение безопасности, защита от поражения электрическим током. Вторая – защита от повреждений или сбоев оборудования, вызванных синфазными (между фазой и землей) напряжениями или шумами. См. информацию о заземлении и синфазном напряжении в информационных статьях APC № 9 (“Common Mode Susceptibility of Computers (Синфазная восприимчивость компьютеров)”) и № 21 (“Neutral Wire Facts and Mythology (Нейтральный провод: факты и домыслы)”).

На рисунке 1 показан элемент ИТ-оборудования (в данном примере, это сервер), защищенный с помощью ИБП. Внутренние компоненты этого сервера, включая ИИП, показаны ниже.

Рисунок 1 – Стандартный случай применения источника бесперебойного питания:

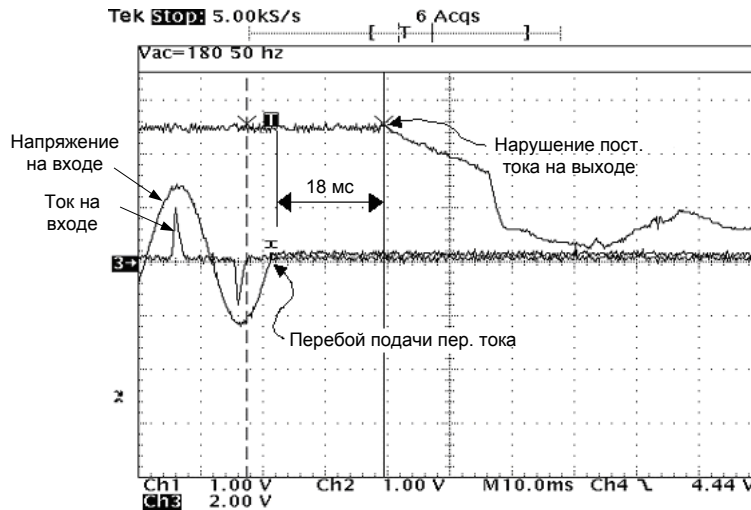
ИБП и сервер



Таким же способом, каким ИИП удерживает напряжение в интервалах между пиками синусоидальной волны входного переменного тока, он также сглаживает другие аномалии и короткие перерывы в работе источника переменного тока. Эта функция очень важна для производителей ИТ-оборудования, поскольку им требуется обеспечить работу своих устройств даже в случаях отсутствия ИБП. Ни у одного из производителей ИТ-оборудования нет желания рисковать репутацией и компрометировать качество и производительность своей продукции из-за источника питания, который не сможет выдержать малейшего отклонения в линии переменного тока. Это в первую очередь относится к высококлассному сетевому и вычислительному оборудованию, которое по этой причине обычно комплектуется более качественными источниками питания.

Чтобы продемонстрировать эту возможность удерживать напряжение, была создана значительная нагрузка на обычный источник питания компьютера, а затем питание переменного тока было отключено. Осуществлялся мониторинг напряжения на выходе источника питания, чтобы определить, как долго после прекращения подачи питания переменного тока будет поддерживаться приемлемое выходное напряжение. Полученные результаты показаны на рисунке 2. На временных диаграммах отображаются входное напряжение источника питания, входной ток и выходное напряжение постоянного тока.

Рисунок 2 – Поддержание напряжения источником питания



Верхняя линия: постоянный ток низкого напряжения на выходе источника питания.

Линии посередине: напряжение и ток на входе.

После того как подача переменного тока прекращается, выходное напряжение на сильно нагруженном источнике питания компьютера падает, но через значительный промежуток времени.

Перед отключением *напряжение* на входе менялось синусоидально, как это видно в левой части рисунка 2. *Ток* на входе, показанный линией с острыми пиками под плавной кривой напряжения, состоит из коротких импульсов для положительных пиковых значений входного напряжения и других коротких импульсов для отрицательных пиковых значений. Конденсатор в ИИП заряжается только во время этих коротких импульсов. Все остальное время энергия для поддержания питания работающих электросхем поступает из конденсатора.³ Напряжение постоянного тока на выходе ИИП отображается на рисунке 2 верхней линией. Обратите внимание, что выходное напряжение сохраняется на регламентированном уровне в течение 18 миллисекунд после прекращения подачи входного переменного тока. Компания APC провела тестирование множества источников питания, выпускаемых различными производителями компьютеров и другого ИТ-оборудования, и получила аналогичные результаты. Если источники не сильно нагружены, время поддержания напряжения значительно увеличивается, поскольку конденсатор будет разряжаться медленнее.

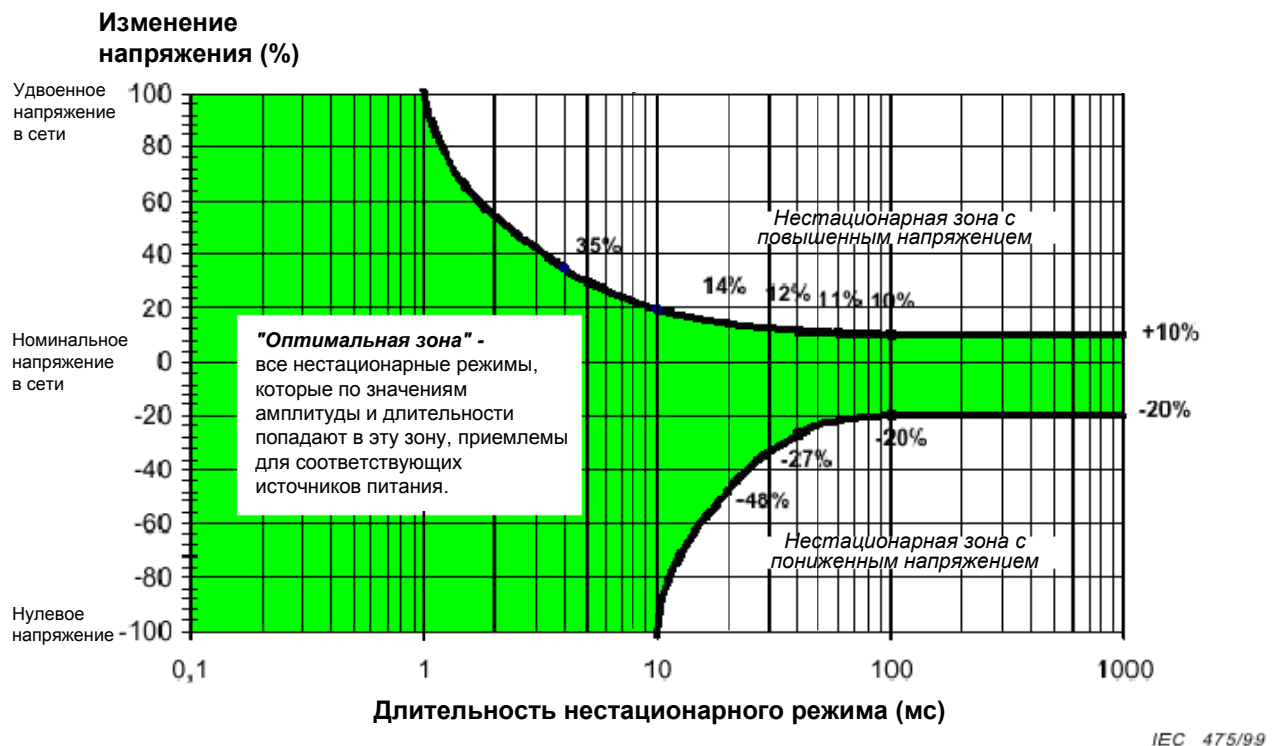
Интернациональные стандарты для совместимости ИБП с ИИП в качестве нагрузки

Как уже отмечалось ранее, ИИП должны поддерживать напряжение в течении коротких перебоев подачи энергии, чтобы было возможно их питание от синусоидального напряжения входного переменного тока. Однако насколько короткими могут быть эти перебои питания?

³ Некоторые ИИП выполняют компенсацию коэффициента мощности (ККМ), которая будет обсуждаться позже, и потребляемый ими входной ток имеет форму синусоидальной волны. Они также оснащаются высоковольтным конденсатором, выполняющим аналогичную функцию поддержания напряжения.

На рисунке 3 показаны спецификации международного стандарта IEC 62040-3. В нем заданы пределы амплитуды и продолжительности искажений напряжения на выходе ИБП, которые приемлемы для подключения ИИП в качестве нагрузки. Как видно из формы закрашенной "оптимальной зоны", чем меньше амплитуда нестационарного режима, тем дольше допускается такое отклонение на выходе ИБП. Обратите внимание, что этот стандарт допускает *постоянное* присутствие достаточно широких отклонений от номинального уровня напряжения: от +10 % до -20 %. Другими словами, напряжение на выходе ИБП может меняться в указанном диапазоне в течение неопределенно долгого промежутка времени и это никак не скажется на работе ИИП. Причина этого в том, что аналогичные стандарты для импульсного источника питания требуют поддерживать напряжение на выходе ИИП при нарушениях питания на входе, превышающих допустимый для выхода ИБП диапазон искажений.⁴

Рисунок 3 – Стандарт IEC 62040-3: амплитуда и продолжительность допустимых искажений напряжения переменного тока для совместимости с ИИП в качестве нагрузки



Искажения напряжения ("нестационарные режимы"), амплитуда и продолжительность которых укладывается в зеленую "оптимальную зону" допустимы на выходе ИБП, к которому подключено ИИП-оборудование; все остальные искажения недопустимы.

⁴ Соответствующими стандартами для ИИП, определяющими диапазон искажений напряжения, который должен допускать ИИП, являются "кривая ITI / CBEMA" и IEC 61000-4-11.

Исходя из рисунка 3, к ИБП с номинальным выходом 120 В переменного тока, предъявляются следующие требования совместимости.

- В промежутки времени, не превышающие 1 миллисекунды, выходное напряжение может достигать до 240 В.
- В промежутки времени, не превышающие 10 миллисекунд, выходное напряжение может быть нулевым.
- В промежутки времени, не превышающие 100 миллисекунд, возможны менее существенные отклонения (вверх или вниз от номинала), допустимая продолжительность которых зависит от серьезности искажения.
- В промежутки времени, превышающие 100 миллисекунд (в том числе при непрерывной эксплуатации), выходное напряжение ИБП должно оставаться между 96 В и 132 В.

В большинстве государств мира, за исключением стран с развивающейся экономикой, напряжение питания в электросетях относительно стабильное. В обычный день можно наблюдать отклонения напряжения не более чем на 5 % выше или ниже номинального, что с хорошим запасом укладывается в допустимый интервал отклонений напряжения, показанный на рисунке 3. Поскольку ИИП могут получать питание от источников переменного тока с такими характеристиками, обеспечивается запас устойчивости, необходимый для надежной работы с напряжениями в обычной сети электропитания.

Подытоживая, импульсные источники питания имеют следующие преимущества.

- Они могут работать при значительных отклонениях входного напряжения и его частоты, что никак не сказывается на их производительности.
- Они обеспечивают встроенную гальваническую развязку между цепями входного переменного тока и выходного постоянного тока, устраняя необходимость в изоляции обратного синфазного напряжения (напряжения нейтрали относительно земли).
- ИИП допускают заметный объем искажений входного питания без уменьшения срока службы или надежности.
- Они обладают встроенной возможностью поддерживать напряжение в течение времени, достаточного, чтобы выдержать короткие перерывы в подаче питания.

Мифы и факты

МИФ: Для отказоустойчивого оборудования необходимо нулевое переключение в режим работы от батарей, например, чтобы предотвратить прекращение работы и / или потерю пакетов на сетевых коммутаторах.

ФАКТ: В большинстве отказоустойчивых аппаратных систем в качестве источников питания используются ИИП. Такие источники питания должны поддерживать напряжение на выходе в течение 10 и более миллисекунд после отключения внешнего питания, чтобы соответствовать международным стандартам (см. рисунок 3). Любое электронное оборудование, которое не может обеспечить такое время поддержки напряжения, обычно считается низкокачественным и используется очень редко, наиболее вероятно в каких-либо специализированных случаях применения (т.е. не для компьютеров и не для ИТ-оборудования).

Знакомство с различными вариантами ИБП

В информационной статье APC № 1, “The Different Types of UPS Systems (Различные типы систем ИБП)”, описываются следующие пять основных топологий ИБП, используемых в настоящее время, а также их характеристики.

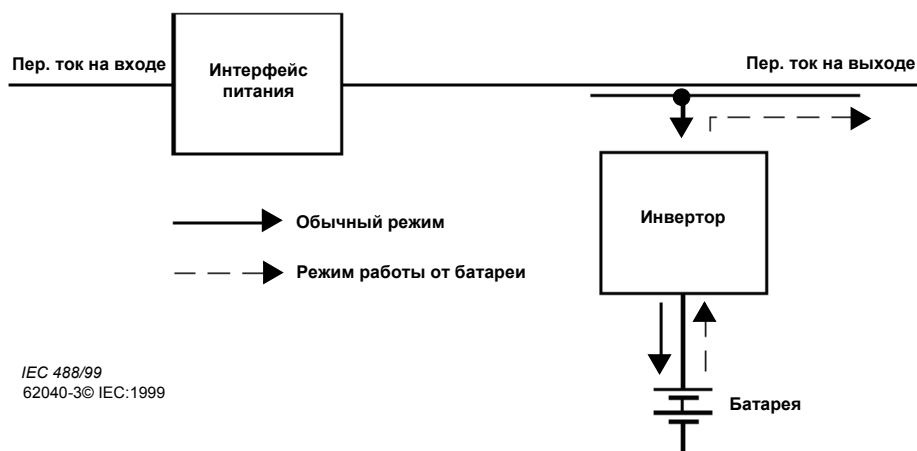
- резервные,
- линейно-интерактивные,
- феррорезонансные,
- постоянного действия с двойным преобразованием,
- постоянного действия с дельта-преобразованием.

В диапазоне мощностей от 750 ВА до 5000 ВА практически все ИБП, продаваемые для использования в современных ИТ-системах, либо линейно-интерактивные, либо постоянного действия с двойным преобразованием. Другие топологии редко используются в этом диапазоне мощностей в силу причин, разъяснение которых выходит за рамки данной статьи.

Линейно-интерактивные ИБП

Линейно-интерактивный ИБП стабилизирует и регулирует питание переменного тока, поступающее из электросети; обычно в нем используется только один основной преобразователь мощности. На рисунке 4 показано стандартное описание этой топологии в соответствии со стандартом IEC 62040-3.

Рисунок 4 – Топология линейно-интерактивного ИБП, согласно блок-схеме IEC 62040-3, показывающей интерфейс питания и один блок преобразования



Когда на вход подается переменный ток, блок “интерфейса питания”, показанный на рисунке 4, выполняет фильтрацию напряжения переменного тока, подавляет возникающие всплески и обеспечивает стабилизацию напряжения, достаточную для работы в соответствии с ранее обсуждавшимися спецификациями. Наиболее часто это реализуется с помощью пассивных фильтрующих компонентов и трансформатора с изменяемым коэффициентом трансформации. Основной преобразователь мощности (блок “инвертора”) перенаправляет часть энергии входного переменного тока, поддерживая батареи полностью заряженными все время, пока присутствует питание из линии переменного тока. Обычно для этого требуется менее 10 % от номинальной мощности ИБП, поэтому в таком режиме работы его компоненты сильно не разогреваются. Например, блок инвертора в 3000-ваттном линейно-интерактивном ИБП при зарядке его батарей загружен всего на 300 ватт (1 / 10 от его мощности) или даже меньше. Многие компоненты, спроектированные для работы при полной нагрузке, могут нагреваться лишь немного выше окружающей температуры во время подачи переменного тока, т.е. наиболее продолжительного режима работы. Если напряжение линии переменного тока выходит за пределы входного диапазона, допустимого для интерфейса питания, то инвертер подает на выход переменного тока энергию от батарей. Диапазон входного напряжения интерфейса питания обычно фиксирован и составляет от -30 % до +15 % от номинального напряжения. Например, линейно-интерактивный ИБП с номинальным напряжением выхода 120 В будет поддерживать напряжения на выходе в диапазоне от 107 В до 127 В, в то время как значения на входе будут меняться от 84 В до 138 В.

Не очень очевидный, но весьма важный аспект работы линейно-интерактивного ИБП состоит в том, что хотя он фильтрует и стабилизирует напряжение, подаваемое на нагрузку, он не изменяет волнообразный-характер потребления тока нагрузкой. Поэтому, если нагрузка имеет ИИП с компенсацией коэффициента мощности (ККМ)⁵, то линейно-интерактивный ИБП не будет искажать или как-то препятствовать этой компенсации коэффициента мощности. Если нагрузка ИИП *не* обладает компенсацией коэффициента мощности и потребляет ток в моменты пиков напряжения (как показано на рис. 2), то линейно-интерактивный ИБП не будет изменять или “корректировать” это волнообразное потребление.

Теоретически, как небольшое число компонентов, так и незначительный нагрев при работе основного преобразователя мощности (блок “инвертор” на рисунке 4) обеспечивают продолжительный срок службы и высокую надежность этого ИБП. На практике, однако, надежность обычно определяется другими факторами, которые будут описаны далее в разделе [Обсуждение надежности](#).

Благодаря своей невысокой стоимости и продолжительному сроку службы, линейно-интерактивный ИБП успешно используются для миллионов ИТ-объектов по всему миру.

⁵ Устройство с компенсацией коэффициента мощности (ККМ) потребляет ток от входа переменного тока в виде плавных синусоидальных волн, а не импульсов. Иллюстрацию выхода без компенсации коэффициента мощности см. на рисунке 2.

Что необходимо учитывать (для линейно-интерактивных ИБП)?

В развивающихся странах или других государствах с неразвитой инфраструктурой, где напряжение переменного тока в электросети нестабильное, меняется в широком диапазоне или подвержено значительным искажениям, линейно-интерактивный ИБП может включать питание от батареи один-два раза в день или даже чаще. Это объясняется тем, что линейно-интерактивная конструкция имеет определенную ограниченную способность защищать нагрузку от значительных перепадов напряжения и сильных искажений до тех пор, пока не произойдет отключение от источника питания переменного тока и переход на питание от батареи. Даже несмотря на то, что линейно-интерактивный ИБП будет поддерживать напряжение на выходе в соответствии со стандартом IEC (см. рисунок 3) до тех пор, пока не иссякнет заряд батареи, частое использование батареи сократит ее мощность, уменьшив время автономной работы в случае продолжительного перебоев энергоснабжения. Кроме того, даже если батареи не разряжаются до полного истощения, регулярное их применение может привести к необходимости более частой замены.

Преимущества линейно-интерактивной топологии:

- Более низкое энергопотребление (дешевле в эксплуатации) предполагает большую эффективность, поскольку при наличии приемлемого переменного тока на входе, выполняется меньше преобразований энергии.
- Теоретически возрастает надежность, поскольку уменьшается число компонентов и снижаются рабочие температуры. (См. далее раздел [Обсуждение надежности.](#))
- Меньшая тепловая нагрузка на помещения, поскольку ИБП производит меньше тепла.

Чего следует остерегаться?

Линейно-интерактивные ИБП могут оказаться неудачным выбором при следующих обстоятельствах.

- Питание переменного тока нестабильно или значительно искажено, в этом случае питание от батарей будет использоваться слишком часто, чтобы можно было удерживать выходные параметры ИБП в заданных границах.
- Требуется компенсация коэффициента мощности (ККМ), а нагрузочное оборудование не обладает этой функцией.

Мифы и факты

МИФ: Линейно-интерактивные ИБП не стабилизируют питание, поэтому проходящие через них шумы и всплески напряжения приводят к износу источников питания.

ФАКТ: Высококачественные линейно-интерактивные устройства оснащены мощным встроенным средством подавления всплесков и шумов. Они позволяют поддерживать питание на приемлемых уровнях, без какого-либо негативного влияния на подключаемые к ИБП в качестве нагрузки устройства.

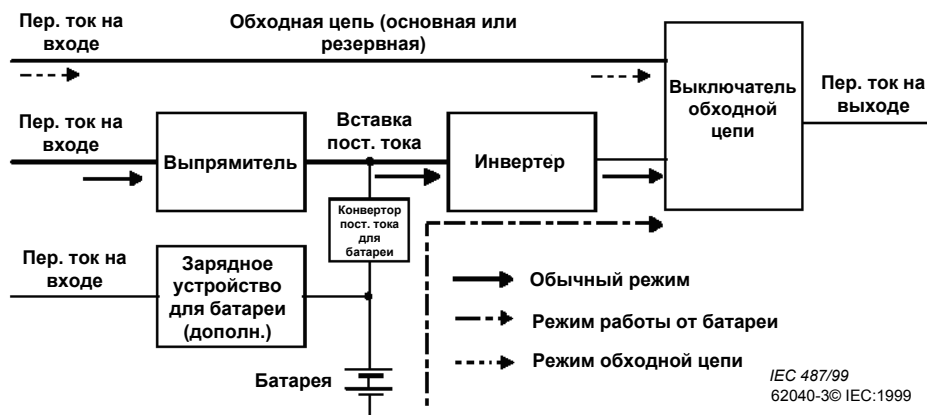
ИБП постоянного действия с двойным преобразованием

Согласно своему названию, ИБП **постоянного действия с двойным преобразованием** дважды преобразуют энергию. В результате первого входящий переменный ток со всеми его всплесками, искажениями и прочими нарушениями напряжения преобразуется в постоянный ток. Это очень похоже на принцип работы ИИП в ИТ-оборудовании, который описывался ранее. И по аналогии с импульсными источниками питания в ИБП постоянного действия с двойным преобразованием используется конденсатор для стабилизации напряжения постоянного тока и аккумуляции энергии, поступающей со входа переменного тока. Во время второго преобразования постоянный ток преобразуется обратно в переменный ток, параметры которого строго стабилизируются ИБП. Даже частота такого переменного тока на выходе может отличаться от частоты переменного тока на входе, что совершенно невозможно в линейно-интерактивных ИБП. Все питание, которое подается на подключенное в качестве нагрузки оборудование, проходит процесс двойного преобразования, если на входе есть напряжение переменного тока.

Если параметры входного переменного тока выходят из допустимого диапазона, ИБП расходует энергию из своей батареи, поэтому это никак не сказывается на его выходном напряжении. Во многих конструкциях ИБП постоянного действия с двойным преобразованием это внутреннее переключение с питания от входящего переменного тока на питание от батареи занимает несколько миллисекунд. И опять для обеспечения питания инвертора в течении этих переходов используется конденсатор на участке “вставки постоянного тока” (см. рисунок 5). Поэтому, даже если возникает короткий перерыв подачи питания на участке “вставки постоянного тока”, на выходном напряжении ИБП это не сказывается и обеспечивается его непрерывная подача.

В современных конструкциях в общую топологию практически всегда включается дополнительная схема зарядки батареи, поэтому в ИБП постоянного действия с двойным преобразованием имеется по меньшей мере три этапа преобразования энергии. На рисунке 5 показана эта топология, созданная на основе стандарта IEC 62040-3.

Рисунок 5 – Топология ИБП постоянного действия с двойным преобразованием, согласно блок-схеме IEC 62040-3, показывающей четыре блока преобразования



Помимо преобразования переменного тока в постоянный блок выпрямителя также обеспечивает компенсацию коэффициента мощности (ККМ), что означает, что потребления входящего переменного тока имеет плавный синусоидальный, а не импульсный характер (см. иллюстрацию входящего тока без ККМ на рисунке 2). Поскольку ККМ компенсирует синусоидальные волны входящего тока, потребляется меньший ток, а также сокращаются высокочастотные гармоники. Это происходит даже в том случае, если ИТ-оборудование, подключенное к ИБП, потребляет ток в импульсном режиме (без ККМ). Более подробную информацию о компенсации коэффициента мощности и нейтральных гармониках см. в информационной статье APC №26, “Hazards of Harmonics and Neutral Overloads (Опасности, связанные с гармоническими колебаниями и нейтральными нагрузками)”.

При работе с полной нагрузкой диапазон приемлемого входного напряжения для ИБП постоянного действия с двойным преобразованием совпадает с аналогичным параметром линейно-интерактивного ИБП. Но в отличие от линейно-интерактивного источника бесперебойного питания, ИБП постоянного действия с двойным преобразованием может работать со значительно меньшим напряжением на входе, если ИБП полностью не заряжен. Для стандартного ИБП с двойным преобразованием и напряжением 120 В это означает, что он может работать от переменного тока с очень легкими нагрузками, даже если напряжение на входе опустилось до 50 % от номинального (60 В). Хотя это интересная возможность топологии постоянного действия, она редко бывает полезна (кроме как в демонстрационных целях), поскольку продолжительные нарушения энергоснабжения со столь значительными отклонениями случаются чрезвычайно редко, а условия нагрузки на практике обычно переменные.

По размеру ИБП постоянного действия обычно меньше, чем линейно-интерактивный ИБП для той же заданной мощности. Несмотря на то, что в нем содержится большое количество компонентов (обычно в три раза больше), эти компоненты меньше по размеру. Это в первую очередь относится к блокам большой мощности (свыше 2200 ВА) и всегда справедливо при сравнении с линейно-интерактивными ИБП с увеличенным временем автономной работы.

В топологию постоянного действия обычно включается обходная цепь, которая используется, если возникают продолжительные перегрузки, или, если случается проблема в одной из схем двойного преобразования. При переключении между режимом обходной цепи и использованием инвертора обычно происходит падение выходного напряжения на несколько миллисекунд, подобно тому, как происходит переключение на батарею в линейно-интерактивном ИБП. В результате многие блоки постоянного действия используют ИИП, чтобы поддерживать напряжение на выходе ИБП во время таких перебоев. Также как и в случае с линейно-интерактивными устройствами, это не создает никаких проблем, поскольку разрыв питания на выходе ИБП не нарушает спецификаций, показанных на рисунке 3.

Что необходимо учитывать (для ИБП постоянного действия с двойным преобразованием)?

В топологии постоянного действия на этапах преобразования энергии, выполняемых непрерывно, чтобы обеспечить строго стабилизированное напряжение на выходе, могут поддерживаться нагрузки вплоть до полной номинальной мощности устройства. Однако существуют и издержки, связанные с повышенной производительностью.

Из-за нескольких этапов преобразования напряжения стандартный ИБП постоянного действия с двойным преобразованием состоит из намного большего числа компонентов, чем стандартный линейно-интерактивный ИБП. А поскольку эти компоненты непрерывно обрабатывают всю ту энергию, которая потребляется оборудованием нагрузки, их температура обычно оказывается выше, чем у компонентов в линейно-интерактивном ИБП, когда на него подается питание переменного тока. Теоретически два этих фактора: непрерывная работа и повышенная температура, снижают надежность компонентов в ИБП. На практике, однако, надежность обычно определяется другими факторами, которые будут описаны далее в разделе **Обсуждение надежности**.

Другим фактором, который необходимо учитывать, является дополнительная энергия, необходимая для продолжительной работы с ИБП постоянного действия с двойным преобразованием. ИБП постоянного действия с двойным преобразованием поддерживают непрерывную работу с эффективностью от 85 % до 92 %, в зависимости от конкретных конструктивных особенностей. Для сравнения эффективность линейно-интерактивного ИБП составляет от 96 % до 98 %. ИБП мощностью 1000 Вт с эффективностью 90 %, полностью нагруженный, к примеру, будет непрерывно потреблять 100 Вт энергии. Это приводит к дополнительным затратам на энергоснабжение, составляющим около 100 долларов США в год (в среднем). Помимо расходов на энергоснабжения возникает проблема отвода этих дополнительных 100 Вт тепловой энергии от оборудования, что подразумевает дополнительные затраты на охлаждение, которые будут зависеть от эффективности конкретной, используемой для этого системы. Это может показаться не очень большой суммой, но когда рассматриваются суммарные издержки для множества ИБП по всей организации или даже просто общее энергопотребление в течение срока службы одного источника бесперебойного питания, это становится значительным фактором, влияющим на общую стоимость владения ИБП. Для сравнения, линейно-интерактивный ИБП с аналогичной нагрузкой будет приводить к значительно (на одну треть) меньшим издержкам в пересчете на выходную мощность.

Мифы и факты

МИФ: ИБП непрерывного действия предлагают лучшую защиту от синфазных помех.

ФАКТ: Несмотря на то, что существует возможность оснастить гальванической развязкой обе топологии: постоянного действия и линейно-интерактивную, для *снижения* синфазного напряжения и в той, и в другой обычно используются пассивные компоненты. Ни топология **постоянного действия**, ни линейно-интерактивная топология не предлагают фундаментального преимущества в этом отношении. Поскольку в ИИП уже имеется гальваническая развязка, дополнительная внешняя развязка не требуется. Дополнительную информацию см. в информационных статьях APC №9 и №21.

Преимущества топологии постоянного действия с двойным преобразованием:

- Реже работают от батареи при значительных искажениях или изменениях в широком диапазоне входного напряжения.
- Обеспечивается компенсация коэффициента мощности (ККМ), независимо от типа нагрузки.
- Более компактные и легкие, особенно при высоких уровнях мощности.
- Можно регулировать частоту на выходе, и даже выполнять частотное “преобразование” из 50 Гц в 60 Гц (наоборот).

Это достаточно спорный вопрос, является ли строго стабилизированное выходное напряжение переменного тока *преимуществом* топологии непрерывного действия. Ведь ИИП не требуют строго стабилизированного переменного тока благодаря стабилизации напряжения, обеспечиваемой самим этим устройством, как описано ранее в данной статье.

Чего следует остерегаться?

- Топология постоянного действия с двойным преобразованием предполагает большее число компонентов, которые непрерывно работают при более высоких температурах и, при прочих равных условиях, имеют меньший срок службы, чем аналогичные элементы в линейно-интерактивной топологии.
- В топологии постоянного действия с двойным преобразованием расходуется больше электроэнергии, поскольку постоянно происходит преобразование и обратное преобразование энергии из входного в выходное напряжение, если на вход подается напряжение переменного тока.
- Топология постоянного действия с двойным преобразованием создает большее тепловыделение, нагревающее ИТ-оборудование. Это тепло должно эффективно отводиться для снижения его негативного влияния на срок службы других систем и даже на срок службы батарей самого ИБП.

Мифы и факты

МИФ: Более строгая стабилизация напряжения повышает производительность и надежность ИТ-оборудования.

ФАКТ: Все ИИП преобразуют входящее напряжение переменного тока (со всеми его всплесками и нарушениями) в постоянный ток. Этот постоянный ток затем используется для создания чистого, хорошо стабилизированного постоянного тока на выходе для всех ИТ-нагрузок. Параметры напряжения на входе ИИП, если они укладываются в номинальные диапазоны, НЕ влияют на качество выходного напряжения источника, а также на производительность ИТ-оборудования. В противном случае, зачем бы печатались все эти данные о допустимых диапазонах на корпусах источников импульсного питания?

Обсуждение надежности

В обеих топологиях определенные конструктивные аспекты теоретически могут продлевать или сокращать срок службы и надежность устройства. В линейно-интерактивных устройствах меньшее число компонентов и незначительный нагрев при работе основного преобразователя мощности создают предпосылки для *увеличения* срока службы и надежности ИБП. В устройствах постоянного действия с двойным преобразованием непрерывный режим работы и более высокая температура, наоборот, становятся факторами, *снижающими* как срок службы, так и надежность устройства.

Однако на практике надежность обычно определяется тем, насколько хорошо производители спроектировали и собрали ИБП, а также качеством используемых компонентов, практически не зависимо от топологии. Поскольку качество зависит от производителя, могут существовать высококачественные конструкции постоянного действия с двойным преобразованием и низкокачественные линейно-интерактивные конструкции, также как и наоборот.

Краткая сравнительная характеристика

В следующей таблице подытожены все важнейшие преимущества и недостатки двух топологий ИБП, линейно-интерактивной и постоянного действия с двойным преобразованием.

Таблица 1 – Сравнение линейно-интерактивной топологии и топологии постоянного действия с двойным преобразованием

ТОПОЛОГИЯ	Надежность	Совокупная стоимость владения	Вход	Выход	Размер / вес
линейно-интерактивная	+ Меньше компонентов Низкая рабочая температура	+ Меньшая начальная стоимость (меньше компонентов) Меньшая стоимость эксплуатации (ниже энергозатраты)	- Нет ККМ При сильных искажениях напряжения может потребоваться частое использование батареи	+ / - Частота на выходе меняется в допустимом диапазоне	- Обычно больше и тяжелее
Постоянного действия с двойным преобразованием	- Много компонентов Высокая рабочая температура	- Высокая начальная стоимость (больше компонентов) Большая стоимость эксплуатации (на электричество и охлаждение)	+ Есть ККМ Принимает экстремальные искажения напряжения на входе без перехода на питание от батареи	+ Фиксированное напряжение на выходе с возможностью настройки частоты	+ Обычно меньше и легче, особенно для высоких уровней мощности

Выводы

В диапазоне мощностей от 750 ВА до 5000 ВА оба типа ИБП адекватно защищают ИТ-оборудование от нарушений питания, поэтому решение о том, какую топологию использовать, в первую очередь зависит от конкретных особенностей применения.

Поскольку начальная стоимость, эксплуатационные расходы, выделение тепла и надежность являются основными критериями для любого случая применения, представляется, что выбором по умолчанию должна стать линейно-интерактивная топология. Действительно, именно она является эффективной и надежной “рабочей лошадкой” в большинстве ИТ-сред.

Однако при определенных обстоятельствах топология постоянного действия с двойным преобразованием может оказаться более оптимальным выбором. Особенно в тех странах, где питание в сети переменного тока очень нестабильно и / или возникают экстремальные отклонения напряжения. В этом случае ИБП постоянного действия с двойным преобразованием будет реже переключаться на питание от батареи для поддержания необходимого напряжения на выходе. Меньшее использование батареи позволяет продлить срок автономной работы в случае продолжительных перебоев энергоснабжения, а также удлиняет срок службы батареи. Кроме того, снижение стоимости замены батареи может компенсировать преимущество от меньших начальных и эксплуатационных затрат на линейно-интерактивный ИБП. Другие, менее типичные ситуации, когда может возникнуть потребность в ИБП постоянного действия с двойным преобразованием, связаны с необходимостью обеспечить компенсацию коэффициента мощности (ККМ), меньшие физические размеры, преобразование частоты. Обычно такие потребности возникают в некоторых типах медицинской или контрольно-измерительной аппаратуры.

Об авторах

Джеффри Самстад является главным инженером линии по выпуску продуктов Smart-UPS RT в компании American Power Conversion. Он получил степень бакалавра в области электротехники и 14 лет возглавляет группы проектирования ИБП, работая с различными архитектурами источников бесперебойного питания.

Майкл Хофф получил степень магистра в области электротехники и энергосистем в Северо-восточном университете и возглавляет группу исследования новых технологий в компании American Power Conversion. В течение 16 лет работы в APC он **осуществлял разработку источников бесперебойного питания и их архитектуры**, управлял различными проектами, командами и группами, занимающимися разработкой продуктов в США и других странах.