

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

КЕННЕТ КАТСМЕДА (KENNETH KUTSMEDA)

Во многих современных источниках бесперебойного питания (ИБП) предусмотрен режим, позволяющий осуществлять дополнительную экономию энергии. Однако результаты, полученные в ходе исследования, показывают, что этот режим, из-за наличия в нем потенциальных рисков, на практике используется лишь очень немногими центрами обработки данных (ЦОД). В статье рассматриваются различные режимы работы ИБП и их влияние на функционирование критически важных объектов.

Термин «экономичный режим» (Eco mode) используется для описания режима работы различных частей оборудования с целью определить такое состояние их функционирования, в котором потребляется меньше энергии и которое является более экономичным в условиях их эксплуатации. Если речь идет о смартфоне или автомобиле, то, как правило, это означает, что для снижения энергопотребления устройством вводится некоторое ограничение в выполняемых им операциях. То есть устройство переводится в режим, в котором не все его функции доступны, и система работает только лишь с некоторым ограниченным набором своих функциональных возможностей и на более низких скоростях. Окажет ли это влияние на общее функционирование оборудования — зависит от того, какую задачу оно выполняет.

Основная функция ИБП (Uninterruptible Power Supply, UPS) — защитить подключенную к ним критическую нагрузку во время отключения основного питания путем подачи резервного питания от устройства с заранее запасенной энергией, а также путем подачи на такую нагрузку напряжения, стабильного по уровню и частоте. Чтобы повысить эффективность за счет сокращения количества энергии, потребляемой самим ИБП, возникает необходимость запустить его в экономичном режиме. Стандарт в области энергосбережения Green Grid определяет экономичный режим как «один из нескольких режимов

работы ИБП, которые могут повысить его эффективность (путем экономии электроэнергии), но, в зависимости от технологии, которая используется в данном типе ИБП, он может быть реализован с возможными компромиссами в части производительности ИБП».

Действительно ли любое включение ИБП в экономичном режиме может так сильно повлиять на работу ИБП, что сделает систему в целом менее надежной и потенциально составит угрозу для функционирования подключенной критической нагрузки? Есть ли способ, который позволит использовать экономичный режим для повышения эффективности без ущерба для общей производительности или надежности? Данные вопросы должны быть обязательно рассмотрены во время проектирования и эксплуатации критически важных объектов с использованием ИБП в экономичном режиме.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Хотя существуют различные подходы для числовой оценки энергоэффективности, которые могут использоваться для ЦОД, одной из наиболее часто применяемых характеристик в этом контексте является разработанный в рамках энергосберегающего стандарта Green Grid коэффициент эффективности использования энергии (мощности) PUE (Power Usage Effectiveness). Он сравнивает общую мощность, потребляемую ЦОД, с той частью мощности, которая исполь-

зуется непосредственно для работы его ИТ-оборудования. Оптимально спроектированный ЦОД будет иметь значение коэффициента PUE, равное единице, то есть вся поступающая в центр обработки данных в данное время мощность непосредственно используется для питания только ИТ-оборудования. Любое значение выше единицы означает, что часть общей мощности объекта отвлекается на поддержку системы, это может быть, например, охлаждение, освещение и собственный расход электроэнергии в системе питания. Чем выше коэффициент PUE, тем большая часть мощности расходуется на поддержку систем по отношению непосредственно к самому ИТ-оборудованию, в результате чего ЦОД оказывается менее энергоэффективным.

При проектировании ЦОД, чтобы снизить PUE и повысить энергоэффективность, большинство инженеров, владельцев ЦОД и их операторов сосредотачивают свое внимание на снижении энергопотребления механическими системами и способности системы использовать естественное охлаждение. Однако электрическая система ЦОД также тратит энергию в виде потерь из-за недостатков электрического оборудования и системы распределения питания. В среднем, потери в электрической распределительной системе могут составлять 10–12% от общего количества потребляемой ЦОД электроэнергии. Это означает, что ЦОД с потребляемой вычислительным оборудованием

мощностью в 2 МВт и ежегодным средним значением PUE, равным 1,45 (то есть 2,9 МВт общей нагрузки), расходует на электрические потери 348 кВт мощности. В стоимостном выражении это составляет приблизительно \$300 тыс. неоправданных затрат. Такая напрасная трата средств на потери электроэнергии, в сочетании с ужесточением бюджетов и все большим вниманием к вопросам защиты окружающей среды, заставили инженеров и владельцев ЦОД занять более решительную позицию в части электрических систем.

ТРАДИЦИОННАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В структуре типичной традиционной системы распределения электроэнергии ЦОД есть четыре компонента, которые вносят основной вклад в общий уровень потерь:

- Трансформаторы подстанции. Ненагруженные трансформаторы, работающие вхолостую, и потери в магнитопроводе (сердечнике).
- ИБП. Потери в выпрямителях и инверторе.
- Блоки распределения питания. Ненагруженные трансформаторы, работающие вхолостую, и потери в магнитопроводе (сердечнике).
- Блоки питания ИТ-оборудования. Потери в выпрямителях и трансформаторах.

Один из способов снижения потерь, который никак не повлияет на работу центра обработки данных, — использование или замена такого оборудования, как подстанции и трансформаторы в блоках распределения питания, на более эффективное оборудование. В 2005 г. был принят стандарт NEMA TP-1: «Руководство для определения энергетической эффективности распределительных трансформаторов» (NEMA TP-1: Guide for Determining Energy Efficiency for Distribution Transformers), что позволило, в зависимости от типа и размера трансформатора, увеличить его минимально допустимый коэффициент полезного действия (КПД) с 97 до 99%. В 2016 г. ожидается, что минимальное требование по КПД для трансформаторов будет увеличено примерно от 8 до 12%. Кстати, в настоящее время уже доступны трансформаторы со сверхвысокой эффективностью, которые имеют уровень КПД выше 99,5%.

Еще один способ повышения энергоэффективности — устранение оборудования с наибольшим уровнем собственных потерь (распределительных трансформаторов, инверторов в ИБП и выпрямителей в системах питания ИТ-оборудования). Этот метод требует различных стратегий в организации системы питания, таких как внедрение более высокого уровня напряжения переменного тока и распределения напряжения постоянного тока. Каждая из этих стратегий имеет свои сильные и слабые стороны, поэтому они должны быть оценены еще на этапе планирования ЦОД.

Третий способ, который производители начинают продвигать в последнее время, но который уже реализуется на ряде объектов, включает в себя работу системы бесперебойного питания ИБП в некотором варианте экономного или, как его еще называют, эко-режима. Этот режим работы повышает общую энергоэффективность за счет устранения потерь в выпрямителе и инверторе ИБП.

СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

Международная электротехническая комиссия (МЭК) классифицирует системы ИБП по следующим категориям:

- Зависимо от напряжения и частоты, VFD-ИБП (Voltage and Frequency Dependant). Такой ИБП защищает нагрузку от перебоев в подаче электроэнергии. Выходное напряжение и частота зависят от входного источника напряжения переменного тока. Он не предназначен для обеспечения каких-либо дополнительных корректирующих функций.

- Не зависимо от напряжения, VI-ИБП (Voltage Independant). Такой ИБП защищает нагрузку от перебоев в подаче электроэнергии и обеспечивает стабильное напряжение. Выходная частота зависит от входного источника напряжения переменного тока. Выходное напряжение должно оставаться в пределах установленных лимитов для напряжения (предоставляемые дополнительные функции — корректировка напряжения).

- Не зависимо от напряжения и частоты, VFI-ИБП (Voltage and Frequency Independant). Такой ИБП защищает нагрузку от перебоев в подаче электроэнергии и обеспечивает на выходе стабильное напряжение и стабильную частоту. Выходное напряжение и частота независимы от входного источника напряжения переменного тока.

VFD-топологию обычно называют off-line. В таком ИБП схема выпрямитель/инвертор не является частью обычного пути передачи питания. Таким образом, потери, связанные с выпрямителем и инвертором, не проявляют себя во время нормальной работы, этот режим похож на эффект от использования системы с двойным преобразованием, работающей в экономичном режиме. В нормальном режиме нагрузка, подключенная к системе бесперебойного питания VFD-типа, оказывается подключенной напрямую к основной питающей электросети. ИБП этой топологии представляют собой традиционно небольшие, однофазные устройства.

Топология VFI более известна как технология двойного преобразования, или on-line. В таком ИБП в режиме нормальной работы используются обе схемы — и выпрямителя, и инвертора (рис. 1).

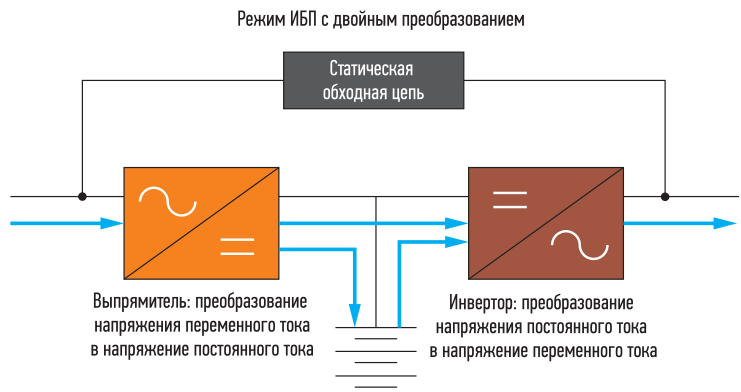


РИС. 1. ◀



Сначала в выпрямителе происходит преобразование напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока, а затем в инверторе напряжение постоянного тока преобразуется обратно в напряжение переменного тока. Кроме того, в условиях нормальной эксплуатации напряжение постоянного тока используется для зарядки накопителей энергии, а потом, в случае отключения электроэнергии, нагрузка получает питание с использованием уже накопленной таким путем энергии. Для накопления энергии могут использоваться различные технологии, включая батареи и маховики. ИБП с двойным преобразованием также оснащены статическим обходным байпасом, который позволяет обходить цепь выпрямитель/инвертор в случае отказа ИБП.

ТРАДИЦИОННЫЙ ЭКОНОМИЧНЫЙ РЕЖИМ

В традиционном, или классическом, экономичном режиме нагрузка питается через обходной путь — байпас, передавая на критическую нагрузку напряжение электросети без его кондиционирования, что похоже на топологию VFD (рис. 2). Инвертор находится в режиме ожидания и используется только тогда, когда пропадает напряжение в главной питающей электросети. Благодаря такому подходу потери в выпрямителе и инверторе устранены, что делает эту систему ИБП более энергоэффективной.

Среднестатистическая система ИБП с двойным преобразованием имеет КПД в диапазоне от 90% при ее нагрузке в 30% и до 94% при 100%-ной нагрузке. В зависимости от используемой технологии, наличия или отсутствия разделительного

входного трансформатора показатель КПД конкретного ИБП может незначительно меняться в большую или меньшую сторону. С исключением из схемы потерь выпрямителя и инвертора эффективность системы ИБП в экономичном режиме может быть увеличена до 98% или даже до 99%. При использовании резервирования с конфигурацией типа 2N (система + система), в которых система, как правило, загружает каждый работающий ИБП не более чем на 40%, такой подход соответствует повышению энергоэффективности примерно на 4–8%. Увеличение эффективности также означает и уменьшение выделения тепла, что снижает потребность в охлаждении. При переходе от чистого двойного преобразования в экономичный режим стандарт Green Grid оценивает среднее улучшение показателя PUE приблизительно на 0,06.

ТРАДИЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИЧНОГО РЕЖИМА

При работе в экономичном режиме имеются традиционные проблемы, которые следует учитывать:

- Некондиционированное питание. Критическая нагрузка подвергается прямому воздействию электросети. Все флуктуации напряжения или частоты воздействуют на критическую нагрузку.
- Время переключения. В экономичном режиме есть определенный промежуток времени, необходимый системе ИБП, чтобы обнаружить отказ, включить инвертор, перейти на питание от аккумуляторной батареи и разомкнуть статический байпас. Даже если время реакции укладывается в рамки графика, определенного Советом

промышленности информационных технологий (Information Technology Industry Council, ITIC) для ИТ-оборудования, это может повлиять на другие компоненты, подключенные к системе распределения. Так, например, сердечники распределительных трансформаторов могут войти в насыщение, в результате чего мы будем иметь большие пусковые токи при восстановлении питающего напряжения и, как результат, срабатывание автоматических предохранителей-размыкателей. Кроме того, это может сказаться и на состоянии переключателей в статической цепи.

- Гармоники. ИБП с двойным преобразованием изолируют электросеть и генераторы от гармоник (нелинейных искажений) тока и напряжения, имеющих место в цепи питания нагрузки. При работе в экономичном режиме функция фильтрации утрачена, тем самым допускается передача гармоник (искажений), связанных с питанием нагрузки, обратно в общую систему энергоснабжения.
- Тепловой удар. Во время событий, связанных с отключением основной питающей сети, система будет переключать нагрузку (достаточно мощную, причем еще и скачком) на работу от инвертора, что приводит к тепловому удару в системе. Этот тепловой удар может привести к отказам электроники, и это в то самое время, когда ИБП будет наиболее необходим.
- Различение причины неисправности. При нормальной работе, во время возникновения аварийной ситуации с ИБП, система переходит на функционирование через обходной байпас, уменьшая, таким образом, свои возможности как защитного устройства. Если ИБП находился в это время в экономичном режиме, то для него может возникнуть проблема в части распознавания причины аварийной ситуации. А именно, с определением того, что явилось причиной аварии и потери питания нагрузкой, то есть была ли неисправность вызвана аварией в первичной электросети или она вызвана отказом самого ИБП.



РИС. 2. ►

Это может привести к включению инвертора во время аварии, увеличению времени ликвидации неисправности и подвергнуть персонал и оборудование риску. Некоторые производители утверждают, что использование экономичного режима дает дополнительные преимущества. Действительно, когда система работает в экономичном режиме, то выделяется меньше тепла, так что вентиляторы системы принудительного охлаждения могут быть выключены. Это снижает износ некоторых компонентов и тем самым увеличивает срок их службы.

УЛУЧШЕННЫЙ ЭКОНОМИЧНЫЙ РЕЖИМ

Благодаря достижениям в области программно-аппаратных решений по организации управления, многие производители обновили свои электрические схемы и создали то, что сейчас становится известным как улучшенный экономичный режим (рис. 3). Отдельные производители используют для этого свои собственные названия и их методы имеют некоторые различия в части того, как система работает в таком режиме. Однако общим результатом является то, что инвертор находится во включенном состоянии или участвует в работе схемы, работая параллельно с байпасом, но фактически не давая при этом ток в нагрузку.

С включенным при нормальной работе инвертором многие из проблем, характерные для традиционного экономичного режима, устраняются или их негативное воздействие нивелируется:

- **Время переключения.** С наличием включенного и уже подключенного к нагрузке инвертора время на его активацию и подключение к нагрузке не требуется. В случае прекращения подачи напряжения от электросети нагрузка может быть легко переведена на питание от устройства накопления энергии, или ИБП перейдет в режим двойного преобразования, когда параметры питания от электросети выходят за заданные нормы.
- **Некондиционированное питание.** Поскольку инвертор уже активирован, то питание нагрузки может быть легко переведено на питание от преобразователя. Любые флуктуации параметров питания, которые выходят за преде-

лы заданных лимитов, приведут к тому, что нагрузка будет переподключена на питание от ИБП в режиме двойного преобразования, тем самым будет обеспечено кондиционирование питающего ее напряжения.

Следует отметить, что, поскольку инвертор постоянно включен, имеют место некоторые потери, связанные с таким решением. Таким образом, общая эффективность ИБП с улучшенным экономичным режимом может быть несколько ниже, чем у ИБП, использующих традиционный экономичный режим.

ВЫВОДЫ

Традиционный экономичный режим ИБП имеет много негативных последствий, которые снижают надежность. Из-за этого операторы ЦОД и других критически важных систем не были готовы рисковать с организацией такого питания своих критических нагрузок с целью сэкономить на общих затратах и на текущих расходах.

Однако в свете того, что операционные бюджеты становятся все более жесткими, а эксплуатационные расходы продолжают расти, все больше операторов смотрят на экономичный режим для систем бесперебойного питания как на средство снижения затрат. Производители ответили на эту тенденцию, предложив системы ИБП с улучшенным экономичным режимом, который исключает многие из проблем, связанных с надежностью, характерных для систем бесперебойного питания, использующих традиционный экономичный режим работы. Тем не менее есть еще ряд вопросов, над которыми необходимо продолжать работать: тепловой удар,

различение причин неисправности. Поскольку эти проблемы имеют место и в улучшенном экономичном режиме, то они обязательно должны быть рассмотрены при внедрении и эксплуатации систем питания. Кроме того, поскольку не все улучшенные или высокоэффективные системы одинаковы, при выборе системы необходимо проводить их тщательное и всестороннее рассмотрение.

Количество переводов питания из экономичного режима в режим двойного преобразования необходимо, насколько это возможно, свести к минимуму. Прежде чем использовать систему с экономичным режимом, необходимо убедиться в качестве подаваемого основного питания, чтобы связанные с этим проблемы не приводили к дополнительным рискам для нагрузки. Большинство производителей предоставляют возможность переключения ИБП для их использования в различных режимах работы без специальной технической поддержки. Если имеет место сильная гроза или иное событие, которое может повлиять на качество подаваемого питания для системы в целом, рекомендуется до тех пор, пока это событие не закончится, вывести ИБП из экономичного режима, включив их в режим с двойным преобразованием.

Чтобы сделать механические и электрические системы более эффективными в части экономии энергии, могут быть использованы самые различные модификации и разнообразные режимы работы. Но главное — чтобы при проектировании и эксплуатации критически важных объектов гарантировалась высокая надежность их функционирования. ●

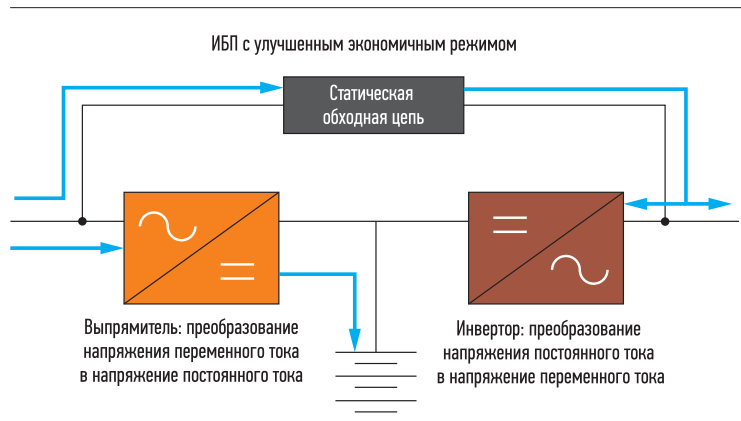


РИС. 3. ◀