

Появление на рынке динамических (роторных) ИБП обусловлено, в первую очередь, их достоинствами, основными из которых являются относительная компактность и простота конструкция, а также не критичность к температуре окружающей среды и малое время пополнения растроченного запаса энергии.

Динамические ИБП

Юрий Николаев, г. Киев



Традиционный способ обеспечения гарантированно-го электропитания критичной нагрузки с помощью «классических» ИБП, использующих аккумуляторные батареи, не единственное возможное решение этой задачи.

Использование традиционных ИБП с резервированием электроснабжения дизель-генераторными установками (ДГУ) – не всегда оптимальный вариант, устраивающий потребителя. Такие системы гарантированного электроснабжения (СГЭ) громоздки, требуют поддержания климата в помещениях с аккумуляторными батареями (АКБ) и их замены по истечении зачастую довольно ограниченного, с точки зрения пользователя, срока эксплуатации.

На рынке есть альтернативные решения – динамические или роторные ИБП (Rotary UPS), которые относятся к классу роторных источников энергии, или FES (Flywheel Energy Storage). Внешний вид такого ИБП показан на [рис.1](#).

Ротор вместо аккумулятора

Общеизвестен тот факт, что АКБ, которые применяются в ИБП в качестве накопителей электроэнергии, требуют комфортных с точки зрения температуры окружающей среды условий эксплуатации, имеют ограниченный срок службы (зачастую от 3 до 5 лет, хотя есть АКБ и с большим жизненным циклом, но они недешевы). Таким образом, рано или поздно, даже при соблюдении должных регламентных работ, потребите-

ли неизбежно сталкиваются с необходимостью их плановой замены. Поскольку стоимость аккумуляторных батарей доходит до половины от общей стоимости статических ИБП, то их замена связана со значительными инвестициями. Кроме того, аккумуляторы занимают много места, массивны, а их замена и утилизация связаны с определенными проблемами, которые потребителю приходится решать.

К тому же, последовательно-параллельное соединение массива АКБ в единую систему с целью увеличения энергозапаса может обернуться снижением времени резервирования (зачастую весьма значительным), когда хотя бы один аккумулятор выйдет из строя. Приходится применять системы мониторинга АКБ, которые дороги, да и не обеспечивают стопроцентной гарантии истинной оценки состояния всего кластера АКБ и, тем более, каждой отдельной батареи.

Возможной альтернативой аккумуляторным батареям является роторный накопитель энергии. На [рис.2,а](#) показан такой накопитель компании Socomes, а на [рис.2,б](#) – компании Active Power.

В основе такого решения – вращающийся маховик, который накапливает кинетическую энергию и отдает ее нагрузке при пропадании электроснабжения. Раскрутка и поддержка вращения маховика осуществляются за счет электрической сети. Роторные накопители энергии подключают к ИБП вместо традиционных аккумуляторных батарей. Возможен и вариант параллельного подключения в дополнение к АКБ – такое оборудование выпускается с необходимыми преобразователями питающего напряжения. В результате – тот же традиционный ИБП с двойным преобразованием, но с роторным или с «роторно-аккумуляторным» накопителем электроэнергии.

Кинетические накопители энергии нашли применение также и в чисто роторных ИБП, где отсутствуют



Рис. 1

некоторые элементы, типичные для традиционных статических источников, такие как выпрямитель, инвертор, аккумуляторные батареи и пр.

Как правило, в состав роторных ИБП кроме кинетического накопителя входит также синхронная машина (так называемый, «мотор-генератор»), которая включена между накопителем и нагрузкой. Внешний вид кинетического накопителя вместе с машиной мотор-генератор показан на **рис.3**.



Рис.2

Разумеется, появление дизель-роторных ИБП связано, в первую очередь, с решением отказаться от использования традиционных статических систем. При этом использовались два конструктивных подхода. В одном из них динамический накопитель энергии связан с синхронным мотор-генератором только электрическим способом, т.е. механически это совершенно независимые устройства. Дизельная установка в этом случае подключается к синхронному мотор-генератору через муфту сцепления.

В другом варианте в единой конструкции объединены все три составные части изделия (дизельная установка, мотор-генератор и роторный накопитель), которые механически связаны друг с другом. При этом ротор синхронной машины и ось роторного накопителя соосно и жестко соединены друг с другом. Дизельная установка через муфту сцепления подключается либо к роторному накопителю энергии, либо со стороны мотор-генератора.

Терминология, классификация и принцип действия

Специалисты склонны считать, что термины в области динамических ИБП нельзя назвать ни устоявшимися, ни общепринятыми. Так, бытует мнение, что главным и неотъемлемым элементом таких устройств является накопитель кинетической энергии, выполненный в виде маховика. Но, как считают отдельные эксперты, это не совсем так – маховик может не использоваться в динамическом ИБП, а, напротив, входит в состав статического устройства и работать там совместно с аккумуляторными батареями. Поставщики статических ИБП часто рекомендуют использовать такое устройство вместе с АКБ. В этом случае кинетический накопитель электроэнергии берет на себя задачу под-

держки нагрузки при кратковременных перерывах в питании, а аккумуляторы задействуются гораздо реже, что повышает срок их службы.

Обязательным элементом и основой динамического ИБП является не маховик, а синхронная электрическая машина – мотор-генератор. Раскручивая электромотор «грязным» напряжением, поступающим из внешней электросети, можно с установленного с ним на одном валу генератора снимать «чистое» напряже-

ние и подавать его на нагрузку. Стандартный динамический ИБП можно получить, дополнив эту схему альтернативным источником энергии (аккумуляторные батареи, маховик, дизель-генератор).

До 1980-х годов электромотор и генератор существовали в виде двух отдельных элементов, однако за-



Рис.3

тем появились комплексные решения. Современные мотор-генераторы, используемые в динамических ИБП, совмещают на одном статоре и одном роторе обмотки электромотора и электрогенератора. Такая конструкция позволила уменьшить как габариты таких изделий, так и число компонентов.

Что касается маховика, то он может служить кратковременным источником энергии, как в статических, так и в динамических ИБП. При наличии напряжения во внешней сети маховик раскручивается, аккумулируя энергию, а при его пропадании начинает работать в качестве электрогенератора, отдавая накопленную энергию нагрузке. Типовое время резервирования, обеспечиваемого маховиком, составляет всего несколько десятков секунд. Ведь при отдаче энергии нагрузке угловая скорость вращения маховика уменьшается, соответственно меняется и частота генерируемого напряжения. Поэтому допустимо только небольшое снижение частоты вращения (определяется заданным пределом «ухода» частоты), а значит, используется лишь небольшая часть накопленной маховиком кинетической энергии.

Исходя из общего принципа перевода механической энергии в электрическую, и обратно, маховики могут различаться конструктивно. Например, компания Hitzinger поставляет динамические ИБП как с обычным маховиком, обеспечивающим стабильность частоты на уровне 5%, так и с кинетическим модулем, у которого стабильность частоты составляет 1%.

Согласно классификации, предложенной Frost & Sullivan, динамические ИБП делятся на три группы:

- дизель-роторные (Diesel Rotary UPS);
- гибридные (Hybrid Rotary UPS);
- ИБП типа Ride-through.

Дизель-роторные ИБП

Принцип работы дизель-роторных систем не нов, подобные установки появились еще в 1950–1960 годах. Но только сравнительно недавно вендорами было предложено технологическое решение, предназначенное для бесперебойного питания таких объектов, например, как дата-центры.

Типичный дизель-роторный динамический ИБП представляет собой собранные соосно на одном валу дизельный двигатель, электромагнитную муфту сцепления, синхронную электрическую машину и маховик. Таковы конструктивные решения компаний Euro Diesel, Hitec Power Protection и Hitzinger. А вот в дизель-роторном ИБП компании Piller маховик вынесен отдельно.

Еще один элемент такого динамического ИБП – специальный развязывающий дроссель, который соединяет вход сетевого напряжения с выходом «чистого» напряжения системы ИБП. Этот дроссель обеспечивает развязку между входом и выходом, блокируя прохождение гармоник и «сглаживая» переходные процессы.

При наличии внешнего электропитания мотор-генератор ИБП работает в режиме электродвигателя, поддерживая вращение жестко закрепленного на валу ротора маховика. Одновременно он выполняет функцию

стабилизатора и фильтра напряжения: устраняет гармонические искажения и короткие перебои (до 50 мс), импульсы помех, нивелирует скачки и провалы напряжения входной электросети. Благодаря синхронному генератору, частота и амплитуда выходного напряжения, подаваемого на нагрузку, неизменно стабильны.

При выходе параметров сети за установленные пределы мотор-генератор переводится в генераторный режим, обеспечивая на нагрузке непрерывное синусоидальное напряжение. Источником энергии во время переходного процесса является маховик, благодаря которому сохраняется устойчивая частота вращения вала ротора синхронной электрической машины. При этом кинетическая энергия вращения маховика в оборудовании Hitzinger, например, может достигать значений 16 МДж.

Спустя 200...300 мс от момента обнаружения провала напряжения в сети система управления дизель-роторного ИБП подает сигнал на запуск дизельного



Рис.4

вывода на рабочую частоту вращения (1500 об/мин) коленчатого вала дизеля. В такой ситуации дизель может не запуститься лишь по одной причине, если отсутствует топливо или оно ненадлежащего качества, поскольку требуемое сжатие в цилиндрах двигателя обеспечивается принудительным внешним вращением коленчатого вала на рабочей частоте. В зависимости от типа используемого накопителя кинетической энергии общая продолжительность переходного процесса и выхода на рабочий режим занимает от 2 до 5 с.

В числе достоинств дизель-роторных ИБП – их высокий КПД (до 96% на полной нагрузке), который практически не снижается при уменьшении нагрузки вплоть до 50%, что очень важно, например, для основного эксплуатационного режима дата-центра при реализации схем резервирования по топологии 2N и 2(N+1).

Специалисты отмечают возможность построения высоконадежной шины параллельной работы как низкого (0,4 кВ), так и среднего (6...10 кВ) напряжения, а так-

двигателя от стартерных АКБ. Через одну секунду – не важно, произошел пуск дизеля от аккумулятора или нет – закрывается муфта сцепления, установленная между валом ротора синхронного генератора и коленчатым валом дизеля.

Кинетическая энергия маховика продолжает расходоваться как на поддержание выходного напряжения на шинах синхронного генератора, так и для

же высокую надежность системы управления, где используются проверенные десятилетиями схемы релейной автоматики. В результате до сих пор дизель-роторные ИБП, находящиеся в эксплуатации более двух десятков лет, работают в практически неизменном виде, что свидетельствует об очень высоком ресурсе системы. Не менее важна и низкая стоимость капитального ремонта, заключающегося в замене подшипников и накладок диска сцепления, проводимого раз в 10 лет.

Гибридные ИБП

В гибридном динамическом ИБП есть как мотор-генератор, так и свойственные статическим ИБП аккумуляторные батареи, выпрямитель и инвертор. Однако основной путь подачи электричества потребителю проходит через мотор-генератор: входное напряжение поступает на его моторные обмотки, а с генераторных обмоток снимается «чистое» напряжение.

Так, система UBR компании Piller (типичный представитель семейства гибридных ИБП) работает в таком режиме до тех пор, пока напряжение во входной сети находится в диапазоне $\pm 8\%$ от номинального. При выходе за эти пределы динамический ИБП переключается на цепь двойного преобразования (через выпрямитель и инвертор), и этот режим поддерживается при колебаниях напряжения сети от $+10$ до -15% (-20% кратковременно). В случае дальнейшего ухудшения качества напряжения или его полного пропадания система переходит на работу от АКБ. Альтернативный источник энергии (дизель-генератор) может подключаться так же, как в схемах с обычным статическим ИБП.

Ride-through ИБП

Системы типа Ride-through во многом схожи с дизель-роторными ИБП, отличаясь только отсутствием «встроенного» дизельного двигателя. Соответственно, они способны обеспечивать резервное питание ровно столько, сколько будет «держаться» маховик, как правило, несколько десятков секунд.

Некоторые производители, например, Active Power и Caterpillar, называют подобную архитектуру параллельной онлайнной (parallel online). Она противопоставляется типичной для статических ИБП архитектуре с двойным преобразованием энергии, при этом подчеркивается, что отказ от двойного преобразования повышает КПД систем. Как и в гибридных ИБП, системы Ride-through допускают подключение внешней дизель-генераторной установки по типовым схемам, при этом ее запуск можно организовать от энергии, генерируемой маховиком.

Такая система обеспечивает экологичность, отсутствие выделений взрывоопасных газов или других опасных веществ, например, разлив кислоты или выделения кислотных паров и т.д. Это решение для помещений с жесткими экологическими требованиями, в которых не допускается использование свинцовых аккумуляторов или других устройств, содержащих химические соединения.

Примером системы Ride-through является решение Flywheel VSS (Voltage Support Solution) +DC компании

Socomes UPS, реализованное в сотрудничестве с компанией Pentadyne (рис.4). В этой системе для аккумулялирования энергии используется маховик, изготовленный из композитного материала на основе угле- и стекловолокна, который вращается в вакууме с высокой скоростью. Это «механическая аккумуляторная батарея», использующаяся для функциональной замены или дополнения к химическим аккумуляторным батареям для ИБП серии Delphys компании Socomes UPS.

Вращающийся узел Flywheel VSS+DC висит в вакууме и центрируется магнитным полем, что позволяет минимизировать потери «холостого хода» и исключить необходимость техобслуживания и замены механических подшипников. Мотор-генератор является реактивным синхронным двигателем. Подобно аккумуляторам, он получает «плавающую» подзарядку электроэнергией от шины постоянного тока ИБП Delphys и возвращает энергию в ту же самую шину каждый раз, когда напряжение на ней уменьшается ниже программируемого порогового уровня.

Система Flywheel VSS+DC может полностью исключить потребность в АКБ, обеспечивая поддержку сети в течение коротких периодов отсутствия питания или в течение периода, необходимого для запуска резервного дизель-генератора. Одиночный блок VSS обеспечивает достаточную мощность для ИБП серии Delphys, чтобы поддерживать нагрузки мощностью до 225 кВА (время поддержки до 10...15 с). Такие блоки могут без ограничений подключаться в параллель, обеспечивая время поддержки для 800 кВА до 20 с или больше.

Система, состоящая из ИБП Delphys, работающего совместно с устройством Flywheel VSS+DC, является решением, дающим «чистое» и бесперебойное электропитание при решении ряда задач. Достоинствами Flywheel VSS+DC являются:

- малые потери энергии в режиме ожидания;
- сниженные затраты на техническое обслуживание – отсутствие подшипников или насосов;
- занимаемая площадь в 2 раза меньше по сравнению с системами, использующими необслуживаемые АКБ;
- малый уровень шума (всего 45 дБ);
- подзарядка за 5 мин;
- не нужна бетонная площадка или пол с высокой несущей способностью;
- высокая надежность и большой эксплуатационный ресурс (срок службы 20 лет).

Далее речь пойдет, в основном, о дизель-генераторных динамических ИБП, поскольку гибридные устройства представляют собой, по сути, комбинацию дизель-генераторной и традиционной, статической технологий, а в системах Ride-through просто отсутствует дизель.

Решения «одной оси»

Как уже отмечалось, в основе «интегральной» группы динамических решений лежит идея соосного соединения трех установок: дизельной машины, накопи-

теля кинетической энергии (маховика) и синхронного генератора. При этом в конструкции нет выпрямителя, инвертора и аккумуляторных батарей, входящих в состав традиционных статических ИБП с двойным преобразованием электроэнергии. Тем не менее, это полноценный ИБП, содержащий необходимые коммутационные элементы, байпас, катушки индуктивности, по сути, дроссели внушительных размеров, фильтрующие поступающее на нагрузку напряжение.

При наличии напряжения в сети электроснабжения нагрузка питается напрямую через дроссель. При этом в систему параллельно включена и синхронная машина, которая одновременно выполняет две функции: под-

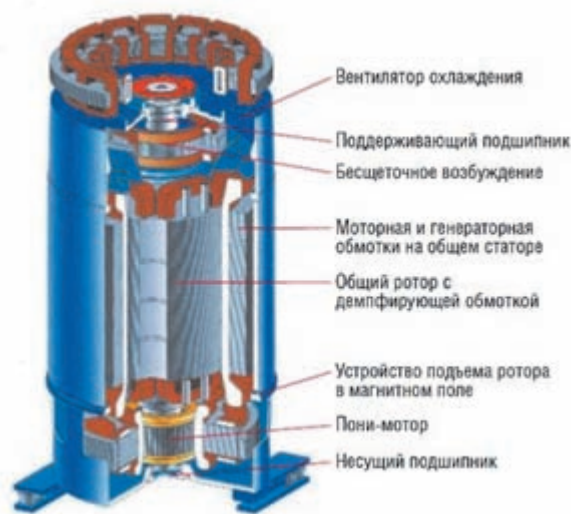


Рис.5

держивает вращение кинетического накопителя энергии, который расположен с ней на одной оси, и вырабатывает напряжение, поступающее в нагрузку параллельно с сетевым. При искажениях входного напряжения синхронная машина продолжает формировать ЭДС синусоидальной формы, компенсируя, тем самым, эти искажения.

Включение синхронной машины (мотор-генератора) параллельно нагрузке известно достаточно давно. Таким образом, выполняется компенсация или внесение дополнительной реактивной мощности по потребности в каждом конкретном случае. Путем управления током возбуждения, подаваемого на обмотку ротора синхронной машины, добиваются ее работы либо в режиме двигателя, либо генератора, создавая эквивалент емкостной или индуктивной нагрузки.

При пропадании напряжения в электросети оно исчезает и на обмотке статора синхронной машины. Но маховик накопителя за счет инерции продолжает вращать ротор мотор-генератора, который начинает работать в режиме генератора. Момент перехода в режим генератора достаточно условен, поскольку он осуществляется без каких-либо коммутаций, на основе принципа дуальности синхронной машины. Магнитное поле ротора мотор-генератора, продолжающего вращаться

за счет накопившейся в маховике кинетической энергии, индуцирует ЭДС в обмотках статора. При этом автоматически отключается входная цепь электросети и запускается дизельная установка.

Когда дизель выходит на рабочий режим, через муфту сцепления происходит подключение вала дизеля к ротору накопителя/мотор-генератора. Упавшие обороты быстро восстанавливаются, и синхронный генератор продолжает питать нагрузку уже за счет вращающего момента на валу, обеспечиваемого дизельной установкой.

Раздельные решения

Развивается и направление раздельного использования дизель-установок и кинетических накопителей энергии. В частности, подобные решения (системы Uniblock UBTD) предлагает компания Piller, в которой разработан и реализован ряд инженерных решений, позволивших в значительной мере улучшить характеристики динамического ИБП.

В линейке продуктов Piller есть целый ряд решений, содержащих роторные накопители и синхронные мотор-генераторы. Например, система Uniblock UBTD содержит два модуля. Один из них представляет собой дизельную установку, конструктивно объединенную с синхронным мотор-генератором Uniblock. Второй модуль включает в себя кинетический накопитель энергии (Powerbridge), пульт управления, байпас и дроссели.

Основным блоком ИБП Piller является запатентованная двоякая синхронная электрическая машина Uniblock, в которой обмотки электромотора и электрогенератора находятся в одном статоре (рис.5). Такая конструкция имеет компактные размеры и сравнительно малое расстояние между подшипниками.

Выходное напряжение при любой нагрузке поддерживается постоянным, с помощью подстройки постоянного тока возбуждения. Передача энергии на обмотки возбуждения происходит по бесщеточной технологии, без скользящих контактов, которые обычно быстро изнашиваются. Передача «паразитных» гармоник с одной обмотки Uniblock на другую эффективно подавляется демпфирующими обмотками.

При работе динамического роторного ИБП от электросети первая обмотка статора обеспечивает вращение ротора мотор-генератора, магнитное поле которого индуцирует ЭДС во второй обмотке статора, подключенной удаленно к кинетическому накопителю энергии. При пропадании входной сети за счет напряжения, которое подается с выхода кинетического накопителя энергии, мотор-генератор переходит в режим генератора. Это напряжение поступает на вторую обмотку статора и раскручивает ротор синхронной машины, формируя, в свою очередь, ЭДС на первой обмотке статора, подключенной напрямую к нагрузке. Это описание достаточно условно и иллюстрирует, в основном, сам принцип работы динамического ИБП Piller.

(Продолжение следует)