

СИСТЕМА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

Существующие источники электроэнергии, выполненные большей частью на тиристорах, стабилизируют напряжение на аккумуляторных батареях (АБ) в пределах 2–2,5%, что обеспечивает срок службы батарей всего 12–15 лет. Для повышения срока службы АБ до 20 лет ведущие мировые их производители предъявляют постоянно ужесточающиеся требования к условиям их эксплуатации. Так, источник энергии, предназначенный для подзарядки батареи в буферном режиме, должен обеспечивать точность стабилизации напряжения не хуже $\pm 1\%$. В ЗАО "Электропривод и силовая электроника" (Москва) выполнена разработка и освоено серийное производство системы бесперебойного электропитания постоянным током, отвечающей современным требованиям эксплуатации АБ.

Система бесперебойного электропитания постоянным током (СБЭПТ) ЗАО "Электропривод и силовая электроника" разработана с учетом последних достижений силовой электроники (быстродействующие силовые ключи типа IGBT и MOSFET, цифровое и микропроцессорное управление) и с использованием современных компьютерных технологий (математические расчеты, схемотехническое моделирование, объемное конструирование и пр.). Аналогичные изделия, известные как шкафы управления оперативным током, широко применяются для электропитания ответственных потребителей (объекты телекоммуникации и промышленности, специальное медицинское оборудование и пр.).

СТРУКТУРА СБЭПТ

Структура СБЭПТ (рис. 1) содержит два идентичных канала преобразования напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока (ПН) и АБ, а также блок управления и контроля (БУК) и отходящие

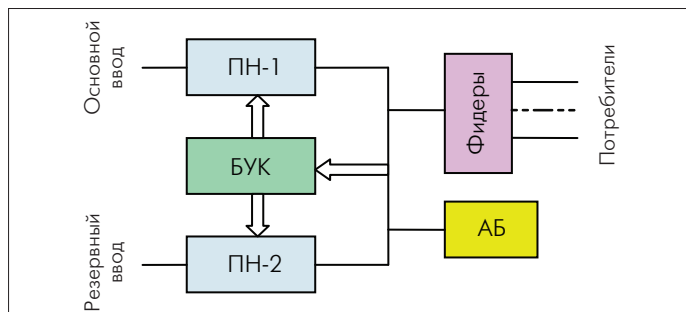


Рис. 1. Структурная схема СБЭПТ



В. Кузькин, В. Мелешкин, Н. Попова, К. Попов, С. Шипаева

фидеры. Входы каналов преобразования подключаются соответственно к основной и резервной трехфазным сетям (380 В, 50 Гц), а их выходы объединяются на зажимах АБ (220 В, 20–85 Ач). Потребители постоянного тока подсоединяются к зажимам батареи через 12 фидеров (три группы по четыре фидера в каждой – на токи 6,3, 10 и 16 А, соответственно).

Рассмотрим перечисленные функциональные блоки СБЭПТ. Из структурной схемы канала ПН (рис. 2) видно, что он состоит из трехфазного выпрямителя (1) с емкостным фильтром и преобразователя постоянного напряжения, в состав которого входит мостовой IGBT-инвертер (2), двухобмоточный трансформатор (3) и диодный выпрямитель (4) с выходным LC-фильтром. Кроме того, в состав канала входит микропроцессорная система управления (СУ) и вторичный источник питания (ВИП).

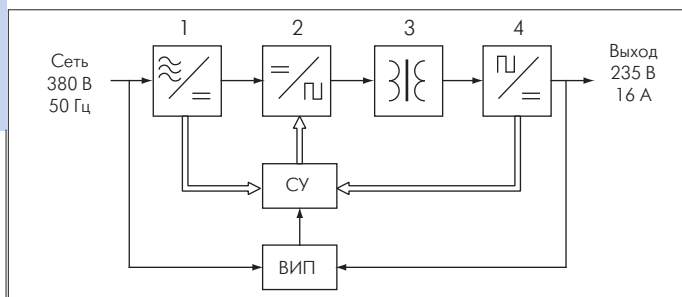


Рис. 2. Структурная схема канала ПН

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО НАПЯЖЕНИЯ

Преобразователь постоянного напряжения осуществляет стабилизацию выходного напряжения на заданном уровне 235 В с точностью порядка 1% и ограничение выходного тока на уровне 16–30 А (точность поддержания порядка 3%). Подтверждением этому служит временная диаграмма напряжения и тока на выходе преобразователя, полученная при его компьютерном моделировании (рис. 3). Диаграмма соответствует относительно медленному (линейному во времени) изменению сопротивления нагрузки в пределах от 5 до 33 Ом. На интервале от 20 до 30 мс нагрузка представляет постоянное сопротивление 5 Ом, при котором осуществляется ограничение тока. На интервале от 30 до 48 мс сопротивление нагрузки плавно возрастает от 5 до 15 Ом, но ток еще остается неизменным, а последующее увеличение сопротивления до 33 Ом (на интервале от 48 до 70 мс) сопровождается стабилизацией выходного напряжения.

Гальваническая развязка в СГЭПТ выполнена посредством ВЧ-трансформатора, подключенного между инвертором и выпрямителем. Особенности режимов работы этого трансформатора показаны на осциллограммах, снятых при испытаниях опытного образца (рис. 4). Как видно, напряжение на первичной обмотке трансформатора представляет собой последовательность знакопеременных прямо-

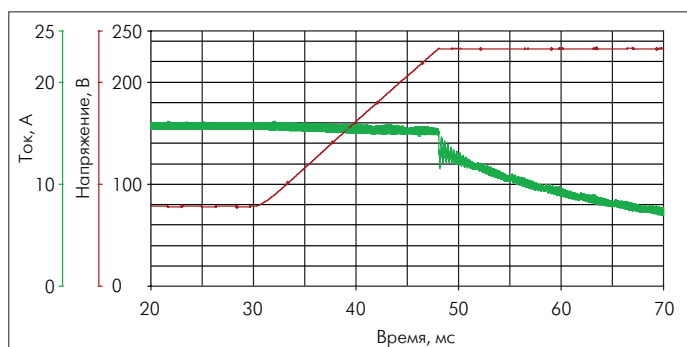


Рис.3 Ток и напряжение на выходе преобразователя при плавном изменении сопротивления нагрузки

угольных импульсов с регулируемыми нулевыми паузами. Частота следования этих импульсов составляет 30 кГц.

Функционирование инвертора на такой достаточно высокой частоте обеспечивается так называемой мягкой коммутацией транзисторов – при близких к нулю значениях тока (включение) и напряжения (выключение). Косвенно об этом свидетельствует и приведенная осциллограмма модуля тока в первичной обмотке, особенностью которой являются кратковременные импульсы при включении транзисторов (длительность 2 мкс). С помощью этих импульсов в ВЧ-конденсаторах, подключенных непосредственно к выходу выпрямителя, регулярно (дважды за период коммутации) запасается энергия, которая используется для питания нагрузки при выключении транзисторов.

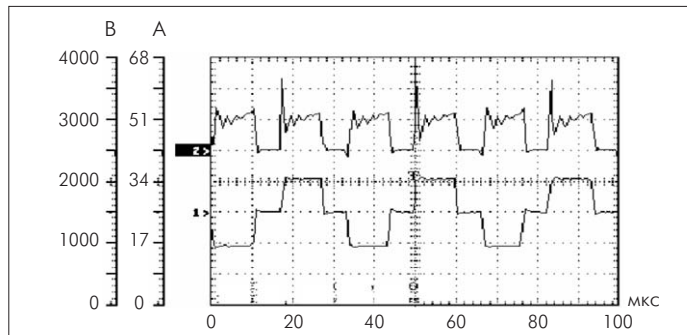


Рис.4. Модуль тока (вверху) и напряжение (внизу) первичной обмотки трансформатора

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

Основная функция СУ канала ПН – управление транзисторами инвертора таким образом, чтобы поддержать выходное напряжение (или выходной ток) канала на требуемом уровне. Кроме того, СУ контролирует параметры фазных напряжений на входе канала и взаимодействует с БУК, используя для этого последовательный информационный порт.

БУК анализирует информацию, поступающую от канальных СУ и датчиков, а результаты анализа выводит на ЖК-дисплей. Кроме того, в зависимости от состояния основного и резервного вводов СБЭПТ, он включает в работу соответствующий (первый или второй) канал преобразования.

БУК позволяет пользователю выбрать предпочтительный для него режим работы СБЭПТ – автоматический или ручной. В автоматическом режиме СБЭПТ реализует оптимальные условия для эксплуатации АБ при ее заряде, подзарядке и разряде (по току и напряжению – с учетом температуры электролита). В ручном режиме требуемые уровни выходного напряжения и тока заряда батареи устанавливаются пользователем по его усмотрению.

ВИП предназначен для электропитания СУ, датчиков и предварительных усилителей (драйверов), непосредственно формирующих напряжение на затворах транзисторов, а также для питания БУК и дат-

чиков, отображающих состояние батареи. Для повышения надежности ВИП получает комбинированное электропитание – от входных фазных и от выходного постоянного напряжений канала. Кроме того, наличие двух таких ВИП в составе СБЭПТ обеспечивает их дублирование, что тоже повышает надежность системы.

РЕАЛИЗУЕМЫЕ ФУНКЦИИ

В процессе заряда АБ выходное напряжение СБЭПТ постепенно возрастает до требуемого уровня (порядка 245 В), а зарядный ток при этом поддерживается на заданном уровне (12, 16, 20 или 30 А – в зависимости от типа батареи). В режиме подзарядки АБ выходное напряжение стабилизируется на требуемом уровне (порядка 235 В \pm 1%). Названные значения напряжения и тока в режимах заряда и подзарядки батареи могут корректироваться автоматически в зависимости от температуры электролита (при установке соответствующих датчиков). Указанные параметры реализуются при колебаниях напряжения трехфазной сети в пределах от 15 до 10% относительно номинального значения.

При исчезновении напряжения на основном вводе СБЭПТ автоматически переключается на работу от резервного ввода, а при восстановлении напряжения на основном вводе она переключается на работу от этого ввода. Аналогичным образом СБЭПТ реагирует на отказ и последующее восстановление основного канала. В отсутствие напряжения на обоих вводах электропитание потребителей обеспечивается от АБ, причем время автономной работы зависит от мощности потребителей и емкости батареи.

Важным потребительским свойством СБЭПТ является селективное электропитание потребителей. Короткое замыкание в цепи одного из потребителей сопровождается отключением соответствующего фидера и не прерывает питание потребителей, подключенных к остальным фидерам. Среди других защитных функций, реализуемых СБЭПТ, можно отметить предотвращение разряда АБ недопустимо большим током (интенсивный разряд – током до 130–170 А) и разряд ее до недопустимо малого напряжения (глубокий разряд – минимально допустимое напряжение 180 В), а также отключение батареи при внутренних коротких замыканиях. Все перечисленные защитные функции реализуются посредством БУК в сочетании с автоматическими выключателями и контакторами.



Рис.5. Внешний вид СБЭПТ

КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ

Результаты схемотехнической проработки СБЭПТ послужили исходными данными для разработки конструкторской документации и последующего освоения серийного производства.

Конструктивно системный блок СБЭПТ выполнен в виде металлического шкафа (рис.5). Размеры шкафа составляют 600x1100x380 мм. На двери системного блока размещены элементы индикации (светодиоды), ЖК-дисплей, а также элементы управления (тумблера и кнопки). Шкаф расположен на металлическом основании, что позволяет подводить кабели (силовые и информационные) снизу. Работоспособность СБЭПТ обеспечивается при температуре окружающего воздуха до 40°C без применения внутренних и внешних вентиляторов.

Блок аккумуляторных батарей вместе с автоматическим выключателем размещен на отдельном стеллаже. Размеры стеллажа с расположенными в нем батареями определяются типом и количеством применяемых батарей.