

СИСТЕМА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

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

Ведущие мировые производители современных аккумуляторных батарей повышают срок службы своих изделий до 20 лет, предъявляя при этом все более жёсткие требования к условиям их эксплуатации. В частности, от источника энергии, обеспечивающего подзарядку батареи в буферном режиме, требуется точность стабилизации напряжения не хуже $\pm 1\%$. Существующие же подобные источники, выполненные большей частью на управляемых выпрямителях (тиристорах), стабилизируют напряжение на АБ в пределах 2 – 2,5%, что приводит к сокращению срока службы батарей до 12 – 15 лет.

С целью обеспечения современных требований эксплуатации аккумуляторных батарей в ЗАО «Электропривод и силовая электроника» (г. Москва) выполнена разработка и освоено серийное производство системы бесперебойного электропитания постоянным током (СБЭПТ). Аналогичные изделия, известные как шкафы управления оперативным током, широко применяются для электропитания ответственных потребителей (объекты телекоммуникации и промышленности, специальное медицинское оборудование и пр.). СБЭПТ разработана с учётом последних тенденций развития силовой электроники (быстродействующие силовые ключи типа IGBT и MOSFET, цифровое и микропроцессорное управление) и на базе современных компьютерных технологий (математические расчёты, схемотехническое моделирование, объёмное конструирование и пр.).

Структура СБЭПТ

Структурная схема СБЭПТ приведена на рис. 1. Как видно, она содержит два идентичных канала преобразования переменного напряжения в постоянное (ПН) и аккумуляторную батарею (АБ), а также блок управления и контроля (БУК) и отходящие фидеры. Входы каналов преобразования подключаются к основной и резервной трёхфазным сетям (380 В, 50 Гц), а их выходы объединяются на зажимах АБ (220 В, 20 – 85 Ач). Потребители постоянного то-

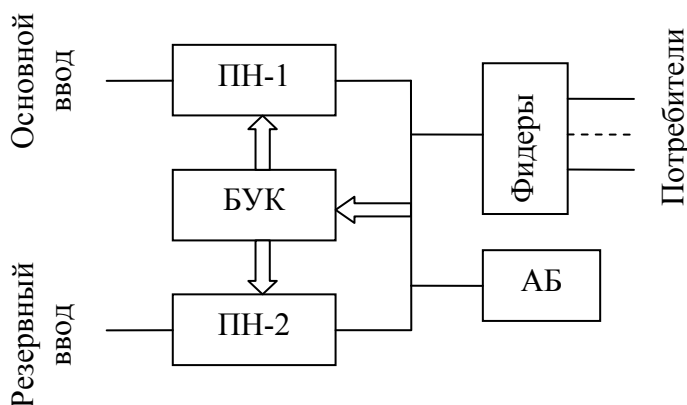


Рис. 1. Структурная схема СБЭПТ

Потребители постоянного то-

ка подсоединяются к зажимам батареи через 12 фидеров (три группы по 4 фидера в каждой – на токи 6,3, 10 и 16 А соответственно).

Рассмотрим перечисленные функциональные блоки СБЭПТ. Структурная схема канала ПН изображена на рис. 2. Как видно, он состоит из трёх-фазного выпрямителя (1) с ёмкостным фильтром и преобразователя постоянного напряжения, в состав которого входит мостовой IGBT-инвертор (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).

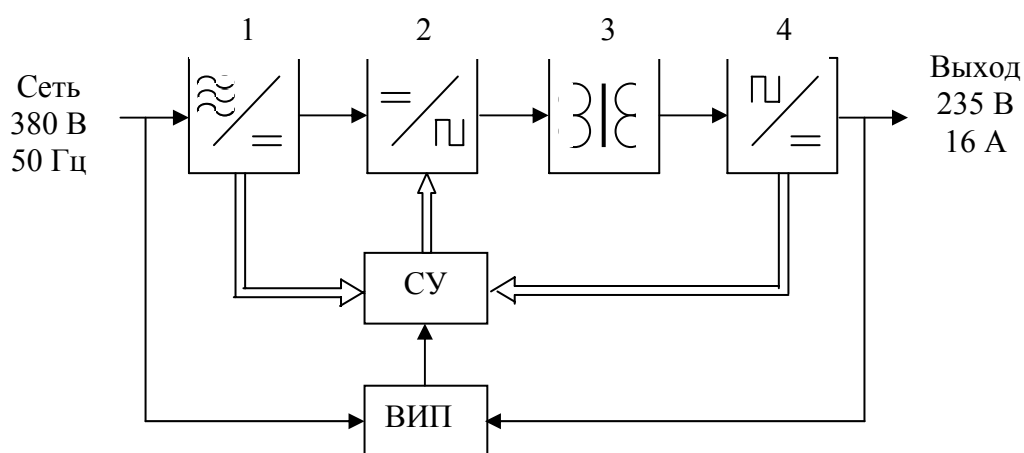


Рис. 2 Структурная схема канала ПН

Преобразователь постоянного напряжения

Преобразователь постоянного напряжения осуществляет стабилизацию выходного напряжения на заданном уровне 235 В с точностью порядка 1% и ограничение выходного тока на уровне 16 -30А (точность поддержания порядка 3%). Подтверждением этому служит временная диаграмма напряжения и тока на выходе преобразователя, полученная при его компьютерном моделировании и изображённая на рис. 3 (масштабы: 10 мс/кл., 2 А/кл. и 20 В/кл.).

Упомянутая диаграмма соответствует относительно медленному (линейному во времени) изменению сопротивления нагрузки в пределах от 5 до 33 Ом. Как видно, на диаграмме можно выделить три временных интервала: 1) от 20 до 30 мс, 2) от 30 до 48 мс и 3) от 48 до 70 мс. На интервале 1 нагрузка характеризуется постоянным сопротивлением 5 Ом, при котором осуществляется ограничение тока. На интервале 2 сопротивление нагрузки плавно возрастает от 5 до 15 Ом, но ток ещё остаётся неизменным, а последующее увеличение сопротивления до 33 Ом (на интервале 3) сопровождается стабилизацией выходного напряжения.

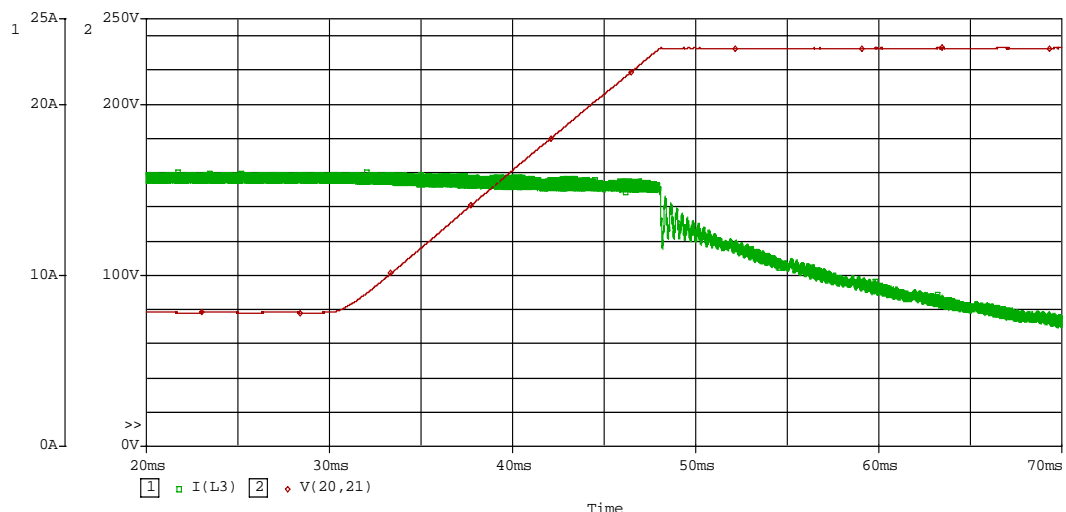


Рис. 3 Ток и напряжение на выходе преобразователя при плавном изменении сопротивления нагрузки

Гальваническая развязка в СГЭПТ осуществляется посредством высокочастотного трансформатора, подключённого между инвертором и выпрямителем. Особенности режимов работы этого трансформатора показаны на осциллограммах, снятых при испытаниях опытного образца и приведенных на рис. 4 (масштабы: 10 мкс/кл., 500 В/кл. и 8,5 А/кл.).

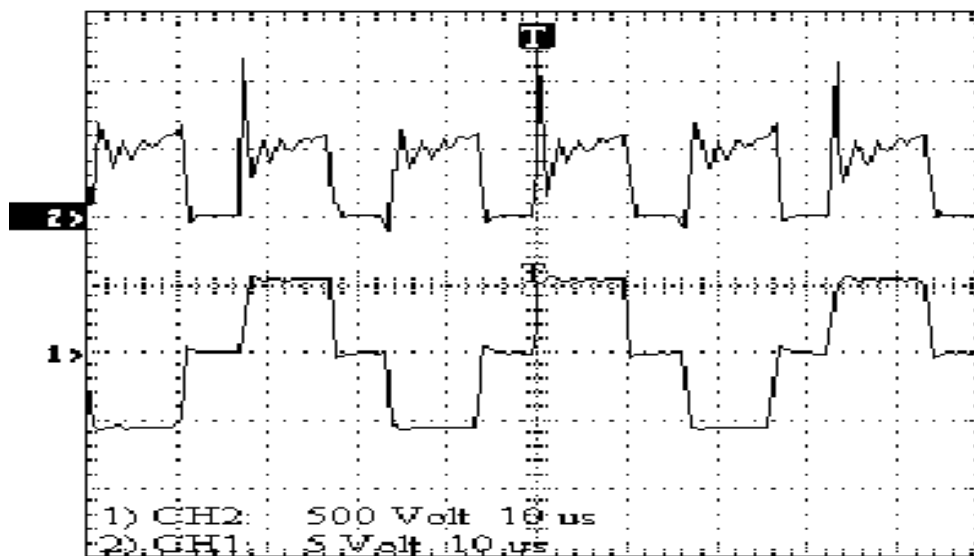


Рис. 4 Модуль тока (вверху) и напряжение (внизу) первичной обмотки

Как видно, напряжение на первичной обмотке трансформатора представляет собой последовательность знакопеременных прямоугольных импульсов с регулируемыми нулевыми паузами, причём 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 выше осциллограмма модуля тока в первичной обмотке, особенностью которой являются кратковременные импульсы при включении транзисторов (длительность 2 мкс). Посредством этих импульсов в высокочастотных конденсаторах, подключённых непосредственно к выходу выпрямителя, регулярно (дважды за период коммутации) запасается энергия, которая используется для питания нагрузки при выключении транзисторов.

Системы управления и контроля

Основной функцией СУ канала ПН является 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 жидкокристаллический 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 её 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 так же для питания БУК и датчиков, отображающих состояние батареи. Для повышения надёжности 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 надёжность 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 (канал 2), а при восстановлении напряжения на основном вводе она переключается на работу от основного ввода (канал 1). Аналогичным образом СБЭПТ реагирует на отказ и последующее восстановление основного канала. В отсутствие напряжения на обоих вводах электропитание потребителей обеспечивается от АБ, причём время автономной работы зависит от мощности потребителей и емкости батареи.

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

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 с подводом кабелей (силовых и информационных) снизу. Размеры шкафа составляют 600 мм (ширина), 1100 мм (высота) и 380 мм (глубина). Внешний вид системного блока показан на рис. 5.

На двери системного блока размещены элементы индикации (светодиоды), жидкокристаллический индикатор, а также элементы управления (тумблера и кнопки). Шкаф расположен на металлическом основании, что позволяет подводить кабели снизу. Работоспособность СБЭПТ обеспечивается при температуре окружающего воздуха до $+40^{\circ}\text{C}$ без применения внутренних и внешних вентиляторов.



Блок аккумуляторных батарей представляет собой отдельный стеллаж, на котором размещены батареи и автоматический выключатель. Размеры стеллажа с расположенными в нем батареями определяются типом и количеством применяемых батарей.

Рис. 5 Внешний вид СБЭПТ