

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра радиотехники и электродинамики
наименование кафедры

**Исследование перспектив практического применения литий-титанатных
аккумуляторов в источниках бесперебойного питания**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента (ки) 4 курса 423 группы

направления 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств
код и наименование направления

физического факультета

наименование факультета

Пухарева Татьяна Андреевна

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

к.ф. – м.н., доцент
должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

М.М. Слепченков
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:

д.ф.-м.н., профессор
должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

О.Е. Глухова
инициалы, фамилия

Саратов 2019 г.

Введение

Источники бесперебойного питания (ИБП) являются необходимым компонентом стабильной работы электронных устройств сетевого питания. Применяются ИБП как для домашнего, так и для промышленного пользования, где необходимо обеспечить автономную работу устройств различного класса. По мощностным характеристикам ИБП делят на три группы: маломощные, средней мощности и ИБП высокой мощности. Все выше приведенные классы работают по следующему принципу: при отклонении напряжения сети от стандартного диапазона 220 – 230В ИБП отключает нагрузку от питающей сети и запускает повышающий преобразователь, который питает нагрузку.

Перепады сетевого напряжения происходят нечасто, и время их действия исчисляется несколькими секундами. Также возможно кратковременное отсутствие напряжения, в течение которого стабилизатор релейного или иного типа не способен обеспечить непрерывную работу нагрузки. В свою очередь ИБП обладает способностью полной автономной работы, в течение которой нагрузка питается от аккумулятора ИБП. Эксплуатация свинцово - кислотных аккумуляторов, при использовании ИБП в режиме стабилизатора, становится не эффективной, так как за все время работы ИБП нуждается в ее работе малое количество раз. И по истечении срока службы, который варьируется от 2-х до 4-х лет, необходима замена батареи.

Целью данной работы является использование литий - титанатных аккумуляторов в качестве замены аккумуляторным батареям ИБП с автономным временем работы около двадцати минут и временем необслуживаемой эксплуатации до нескольких десятков лет.

Задачи состоят в том, чтобы исследовать насколько данный тип батарей подходит для такого применения. Изучить разрядные характеристики LTO с помощью специально собранного прибора, обработать полученные данные, сравнив разрядные кривые АКБ. Сделать балансир для зарядки выбранных выше батарей, подключить к ИБП в качестве отдельного модуля, который будет работать как необслуживаемая система.

ВКР содержит четыре главы. В первой главе описываются типы аккумуляторов, применяемых в ИБП. Вторая глава включает в себя проектирование устройства, для снятия разрядной характеристики выбранного аккумулятора. Приводится принципиальная схема и принцип работы. Во второй части этой главы ведется анализ результатов измерения. Третья глава описывает расчет балансного модуля на основе полученных во второй главе данных и его изготовление. Также приводится принципиальная схема модуля с необходимым описанием элементов. В четвертой главе описывается расчет блока питания для заряда аккумуляторов и тестирование собранного ИБП с внесенными изменениями. Тестирование проводилось в двух случаях. В первом мощность нагрузки, подключенной к ИБП составила 90 Вт. Во втором случае мощность нагрузки была увеличена в два раза.

Основное содержание работы

Преобразователь ИБП питается, как правило, от свинцово – кислотного аккумулятора. Номинальное напряжение элемента 2,2В. Такой выбор аккумулятора обусловлен, в первую очередь, дешевизной исполнения, высоким значением разрядного тока и простотой системы заряда. Однако, этот тип аккумуляторной батареи (АКБ) имеет ряд серьезных недостатков. Малое количество зарядно-разрядных циклов, выделение горючих газов (водород), взрывоопасность свинцово - кислотный аккумулятор представляет опасность для экологии. Также в ИБП используются и другие виды АКБ. Менее популярными являются никелевые батареи. Такие, как NiCd и NiMH. Первый тип имеет заметный эффект памяти и низкое значение удельной энергии. Второй тип не приспособлен для выдачи высоких значений разрядных токов. Никелевые аккумуляторы требуют сложных алгоритмов заряда, которые зачастую могут обеспечить только микропроцессорные устройства, что повышает общую стоимость изделия. Также минусом стоит назвать низкое напряжение одной ячейки равное 1,2В, что ниже стандартного напряжения гальванического элемента.

С развитием литиевой электрохимической отрасли стали применяться литий-ионные блоки, которые выдерживают большее количество циклов и имеют неплохие показатели по величине разрядного тока. Разделяют несколько видов АКБ на литиевой основе. Классическим представителем ряда является Li_2CO_3 , который ввиду своей широкой доступности имеет невысокую стоимость. К плюсам можно отнести наибольшую величину напряжения ячейки среди всех типов существующих АКБ. Серьезным недостатком является взрывоопасность аккумулятора при неправильной эксплуатации или же при ошибке изготовителя. Вместо свинцовых аккумуляторов часто используются LFP (LiFePO_4), данный вид является одним из самых безопасных среди литий ионных и имеет низкое сопротивление ячейки. А не так давно появившиеся литий - титанатные АКБ (LTO) способны выдерживать до 15000 циклов, поддерживают быструю зарядку большими токами и сохраняют емкость при

низких температурах. Учитывая растущую важность вариантов использования возобновляемых источников энергии, возможности литий-титанат-оксидных (литиево-титановых) батарей обеспечивают синергизм между солнечной и ветровой энергией, аккумулятором и сетью. Накопитель энергии на основе титаната лития может внести значительный вклад в стабилизацию энергосистемы, имея огромный потенциал в создании возобновляемого источника энергии, который является более устойчивым, чем любые другие предыдущие альтернативы.

Рассмотрим, каким способом можно получить разрядную характеристику аккумулятора. Значение энергии, которую может отдать аккумулятор, зависит от величины тока разряда. Сам ток разряда рассчитывается исходя из емкости батареи. Стоит учитывать, что при быстрой разрядке большим током, конечная емкость АКБ уменьшается. Такой способ разрядки приводит к серьезным химическим изменениям внутри АКБ. Поэтому, чем ниже ток разряда, тем это безопаснее для самих АКБ, и тем точнее измерение емкости. Но и время разряда в этом случае будет более продолжительным. Зададимся 10% значением тока от значения емкости батареи. Время t , с, которое понадобится, чтобы разрядить аккумулятор током $1C$ рассчитывается по формуле.

$$t = C / I, \quad (1)$$

где C - предполагаемая емкость АКБ, мАч; I - заранее выбранное значение тока, А.

Для получения разрядной характеристики аккумуляторов был сконструирован регистратор данных, измеряющий значение напряжения в каждый момент времени при разряде аккумулятора на нагрузку. Процесс разрядки происходит следующим образом: аккумуляторы разряжаются через резистор номиналом 2,5 Ом, ток разряда рассчитан таким образом, что его значение равнялось $0,1C$. При таком токе, напряжение батарей опускается до минимально допустимого значения (1,9В). Длительность измерения составляет около 10 часов. В нашем случае, с применением LTO батарей, напряжение

будет меняться от 2,5В до 1,9В. Разряжать ниже этого значения недопустимо, так как это приведет к необратимым химическим процессам в батарее.

Для точности измерений необходимо выбрать устойчивое опорное напряжение. Для этого был использован линейный стабилизатор на напряжение 3,3В. Использование этого стабилизатора оправдано его невысокой стоимостью и приемлемой точностью выходного напряжения (0.5%). Также влияние на точность оказывает и сопротивление измерительных щупов. В данном случае падение напряжения на сопротивлениях щупов, используемых для подключения, составляет около 80мВ. Для уменьшения падения напряжения и, соответственно, уменьшению погрешности измерений к измерительным щупам были подключены параллельно несколько проводников для уменьшения общего сопротивления. Кнопка btn служит для запуска процесса снятия и записи напряжения. Устройство подключается к компьютеру посредством COM - порта. Ключевым элементом устройства является микроконтроллер (МК) ATMEGA328P, который производит необходимый расчет и записывает данные в файл. Резистор номиналом 33кОм служит для шунтирования входа микроконтроллера при отсутствии напряжения от кнопки btn. Резистор на 2,5Ом. Транзистор ir1b3813 управляется с цифрового выхода D2, который настроен на вывод сигнала по команде. Сам транзистор открывается при замыкании кнопки, и батарея начинает разряжаться через резистор R1. Данные полученные от АКБ попадают на аналоговый вход A0. МК рассчитывает емкость, исходя из полученных значений напряжения. Как только будет зафиксировано напряжение меньшее или равное 1,9В, то транзистор закроется и процесс прекратится.

Серьезных отклонений между полученными, с помощью этого устройства кривыми не наблюдается, что показывает примерно одинаковый уровень напряжения у всех ячеек. Следовательно, все пять АКБ подходят для использования в балансном модуле. В паспорте на LTO батареи указано, что диапазон их рабочего напряжения составляет 2,7 – 1,9В. Но, по полученным данным хорошо заметно, что основная емкость, которую способны отдать

батареи, заключена в промежутке от 2,5 до 2,1В. Именно в пределах этих значений батареи будут давать наиболее эффективную мощность. Разряд ниже этой границы не даст существенного преимущества в получаемой емкости. По этой же причине, заряжать выше 2,5В не имеет смысла.

При заряде последовательно подключенных батарей возможно возникновение небаланса, т.е. ситуация, когда максимальное напряжение на одной из ячеек может быть достигнуто раньше, чем на остальных, что может привести к перезаряду одной этой ячейки. Чем больше разница напряжений на ячейках, тем сильнее это вскоре отразится на дальнейшей работе всего устройства, и тем быстрее вся аккумуляторная система выйдет из строя. Решением данной проблемы является устройство, которое способно уменьшить разброс напряжений аккумуляторных ячеек - аккумуляторный балансир.

Балансиры АКБ бывают двух типов. Пассивные и активные. Основная работа пассивного балансира состоит в уменьшении зарядного тока у аккумуляторной ячейки с самым быстрорастущим напряжением. Это осуществляется с помощью шунтирующего резистора, который шунтирует нужный аккумулятор. В результате часть зарядного тока начинает протекать через резистор, а часть через саму батарею. В этом случае, скорость заряда этой ячейки уменьшится. В тоже время ячейки, через которые шел максимальный зарядный ток, накопят большее количество энергии, тем самым, выровняв общий уровень напряжения. Чтобы разброс по емкости был меньше, необходимо подобрать аккумуляторы с максимально одинаковыми характеристиками. В случае использования пассивных балансиров некоторое количество энергии аккумулятора не будет использоваться. Так же при использовании пассивного балансира на шунтирующем резисторе будет выделяться энергия. Чем выше емкость АКБ, тем сильнее будет греться резистор, поэтому необходимо выбирать мощные резисторы.

Отличие активной системы в том, что ток заряда не шунтируется резистором, а перераспределяется между ячейками и лишняя энергия идет в нужный аккумулятор. Недостатками этого типа балансиров являются

сложность и высокая стоимость. Там где нет необходимости в высоком токе балансировки лучше использовать пассивную систему. В нашем случае был выбран пассивный тип балансной системы.

В программе LTspice была разработана и смоделирована принципиальная схема пассивного балансира. Устройство представляет собой компаратор, который сравнивает напряжение на ячейке аккумулятора с эталонным опорным напряжением управляемого стабилизатора TLV431. Принцип работы следующий: управляющий вывод стабилитрона TLV431 подключен к делителю напряжения R2, R4. Напряжение на делитель поступает от ячейки АКБ, если напряжение ячейки поднимется выше 2,48В, то стабилитрон TLV431 открывается и в его цепи R1 - R3 - TLV431 начинает течь ток. Ток в цепи R1 - R3 - TLV431 открывает биполярный р-п-р транзистор Q2, он, в свою очередь, заряжает затвор полевого транзистора Q1 до напряжения открытия и насыщения. При открытии полевого транзистора Q1 начинает течь ток через резистор R7 и, тем самым, разряжая ячейку АКБ. Резистор R5 служит для лавинного срабатывания схемы и задания схеме небольшого гистерезиса. Резистор R6 служит, с одной стороны, нагрузкой для транзистора Q2 и, с другой стороны, и резистором быстрого закрытия полевого транзистора (позволяет стекать заряду с затвора на землю).

Поясним выбор компонентов схемы балансира для ЛТО аккумуляторов. Поскольку напряжение ЛТО аккумулятора не должно превышать 2,5В, использование распространенного управляемого стабилизатора TL431 с напряжением срабатывания 2,55В невозможно. В этом случае нужно использовать стабилизатор с пониженным напряжением 1,24В TLV431. Далее, полевой транзистор Q1 в обязательном порядке должен быть с аббревиатурой Logic Level (логический уровень), это означает, что пороговое напряжение открытия транзистора составляет около 2В. При напряжении 2,5В транзистор должен быть в насыщении.

Далее, были спроектированы и изготовлены пять балансировочных плат для каждой аккумуляторной ячейки..

Проверка проводилась на ИБП марки Iron 600 в двух случаях. В первом мощность нагрузки, подключенной к ИБП, равнялась 95 Вт. Время автономной работы при таких условиях составило 23 минуты. Во втором случае мощность нагрузки была в два раза выше, т.е. 190Вт. Из -за того что при большей нагрузке на различных компонентах цепи рассеивается больше энергии, вследствие падения КПД, время автономной работы во втором случае составило 9 минут.

При работе на нагрузку 190Вт устройство подвержено перегреву, так как установленные радиаторы не рассчитаны на долговременную нагрузку свыше 100Вт. В устройство было добавлено активное охлаждение с целью повышения надежности и увеличения срока службы. Вентилятор охлаждения с напряжением питания 12В располагается на верхней панели устройства, над платой ИБП. Таким образом, удалось уменьшить нагрев силовых ключей ИБП до 65 градусов по Цельсию при нагрузке 190Вт.

Заключение

В работе представлено исследование работы литий – титанатных аккумуляторных батарей в источнике бесперебойного питания. В ходе работы было изготовлено устройство на базе микроконтроллера Atmega 328P для снятия разрядных характеристик аккумуляторов. Снятые характеристики показали, что все пять аккумуляторные ячейки имеют равную емкость, приблизительно равную 10Ач. Также в ходе работы выявлено оптимальное напряжение литий - титанатных батарей: не более 2,5В и не менее 2,1В. В этом диапазоне напряжений аккумуляторы имеют наибольшую емкость, разряжать и перезаряжать их не рекомендуется.

При заряде литий - титанатные аккумуляторы показали хорошую балансировку, т.е. напряжение на каждой из банок практически не отличалось. Заряд продолжался до напряжения 12,4В, что составляет 2,48В на ячейку. В ходе проверочной эксплуатации напряжение ни на одной из ячеек не превысило 2,5В, тем самым доказывает, что аккумуляторные балансиры работают в штатном режиме. При верификации устройства использовались две нагрузки мощностью 95 и 190Вт. В ходе проверки выявлено время работы ИБП в автономном режиме равным 23 минуты для нагрузки 95Вт и 9 минут для нагрузки 190Вт. Нагрев силовых элементов при активном охлаждении оставался на приемлемом уровне, что способствует долговечности устройства.