

С. В. КОМАРОВ, В. Э. ВОСКОБОЙНИК, А. Н. ЗАЙЦЕВ,
В. Ф. НОВИКОВ (ИТСТ НАН Украины «Трансмаг»)

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА СОСТОЯНИЯ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Запропонована структурна схема пристрою для контролю стану заряду акумуляторної батареї. Розроблені алгоритми функціонування контролера і блоків. Розглядаються способи обмеження зростання напруги на акумуляторах.

Предложена структурная схема устройства для контроля состояния заряда аккумуляторной батареи. Разработаны алгоритмы функционирования контроллера и блоков. Рассматриваются способы ограничения возрастания напряжения на аккумуляторах.

A flow diagram of a controlling device for the state of charge of storage battery is offered. The algorithms of functioning of controller and blocks are developed. Some methods of limitation of voltage increase on the accumulators are considered.

Надежность аккумуляторных батарей, используемых в системе резервного электропитания на транспорте, зависит от режимов заряда и эксплуатации.

Одна из основных проблем при заряде аккумуляторной батареи – это неравномерный заряд отдельных аккумуляторов в батарее. С ростом количества аккумуляторов, происходит резкое снижение надежности и долговечности батареи. Решение этой проблемы позволит перейти на более высокие рабочие напряжения, увеличивая количество аккумуляторов в батарее, и одновременно снизить номинальные токи и сечение проводников бортовой сети.

Превышение предельных параметров напряжения и температуры при заряде приводит к сокращению сроков эксплуатации [1].

Срок службы аккумуляторов снижается по следующим причинам:

- осыпание активной массы пластин в так называемый шлам, которое устраняется при помощи ингибиторов (замедлителей коррозии), вводимых в активную массу положительных пластин;

- сульфатация пластин при разряде (саморазряде) и длительном хранении, которая замедляется применением так называемого «плавающего заряда» (Float charge).

Саморазряд кислотных аккумуляторов составляет 100...200 мА на 100 А·ч и это приводит к преждевременному выходу их из строя. Поэтому содержание аккумуляторов в режиме «плавающего заряда» признано единственным способом продления их срока службы [2]. В

производственных условиях измерение и стабилизация тока саморазряда на фоне тока нагрузки затруднительно. Зарядное устройство в номинальном режиме обеспечивает заряд аккумуляторной батареи стабильным напряжением. Для компенсации процессов саморазряда (и сопутствующей сульфатации) необходимо поддерживать разность потенциалов между пластинами на уровне 150 мВ. При этом поляризация пластин создает условия для восстановительных процессов на пластинах. Поляризационная разность потенциалов между пластинами определяется следующим образом:

$$\Delta\varphi_{\text{п}} = I_{\text{C}}R_0,$$

где I_{C} – ток батареи; R_0 – внутреннее сопротивление элемента.

Разность потенциалов добавляется к ЭДС холостого хода в режиме «плавающего заряда». Например, при ЭДС аккумуляторов 2,06 В (но может быть и другое значение 2,04...2,14 В, в зависимости от плотности электролита) напряжение «плавающего заряда» будет равно $2,06 + 0,15 = 2,21$ В/элемент.

Повышение поляризационной разности потенциалов между пластинами, а следовательно, и напряжения «плавающего заряда» не приводит к увеличению срока службы, а лишь к «выкипанию» электролита и разрушению пластин.

Из-за отличия во внутренних сопротивлениях отдельных элементов, поляризационная разность потенциалов между пластинами различных элементов батареи различна. Для того, чтобы минимальное напряжение на «отстаю-

щем по напряжению» элементе батареи обеспечивало поляризационную разность потенциалов 150 мВ, приходится увеличивать напряжение на батарее. Если напряжение выбрано больше приведенного выше значения, то элементы, «опережающие по напряжению», имеют поляризационную разность потенциалов между пластинами более 150 мВ. Вследствие технологической разности во внутренних сопротивлениях элементов и повышенного напряжения «плавающего заряда» происходят два процесса, приводящие, в конечном итоге, к выходу из строя элементов батареи:

- «температурный разбег» напряжений на элементах;

- выкипание электролита в аккумуляторах, «опережающих по напряжению».

«Температурный разбег» напряжений на элементах состоит в том, что внутреннее сопротивление аккумулятора имеет отрицательный температурный коэффициент. Батарея, находящаяся под напряжением выше необходимого для компенсации саморазряда, выделяет излишнюю энергию в тепло. Следствием тепловыделения является нагрев и уменьшение внутреннего сопротивления аккумуляторов. Уменьшение внутреннего сопротивления элементов, при стабильном напряжении на батарее, приводит к повышению выделяемой на них мощности и нагреву. В свою очередь, повышение температуры аккумулятора на 10 °С снижает срок его службы вдвое [3].

Таким образом, повышенному буферному напряжению сопутствуют два процесса:

- увеличение разброса параметров элементов батареи;

- выкипание воды из электролита и осыпание в шлам пластин.

Пониженному буферному напряжению сопутствует сульфатация пластин.

Выкипание воды из элементов сопровождается потерей емкости. Известно, что потеря 10 % воды приводит к выходу из строя элемента по условию снижения емкости до 80 % от номинальной. Некоторые фирмы для компенсации потери воды изготавливают аккумуляторы с избыточным объемом электролита. Возможна компенсация выкипания воды, когда напряжение «плавающего заряда» для негерметичных аккумуляторов выбирается на пороге кипения электролита и его величина достаточна для компенсации саморазряда самого «отстающего» элемента батареи.

Как отмечалось выше, внутреннее сопротивление аккумулятора имеет отрицательный температурный коэффициент, следовательно при понижении температуры поляризация пластин будет уменьшаться. При недостаточной поляризации аккумулятор саморазряжается и идет сульфатация пластин.

Понижение напряжения «плавающего заряда», как и понижение температуры, ведут к саморазряду. Саморазряд приводит к уменьшению гарантированного времени разряда до конечного напряжения. Сульфатация уменьшает эффективную площадь пластин и максимальную фактическую емкость.

Повышение напряжения «плавающего заряда», как и повышение температуры, ведут к потере воды и осыпанию пластин – старению аккумулятора.

Изменение температуры и зарядного напряжения одинаково влияют на долговечность аккумуляторов. Повышение любого из них ведет к потере воды, понижение – к сульфатации.

Как старение, так и сульфатация приводят, в конечном счете, к выходу из строя аккумулятора по критерию снижения фактической емкости ниже 80 % от номинальной.

Существует оптимальное с точки зрения ресурса и долговечности напряжение «плавающего заряда» для каждого значения температуры батареи. Тем не менее, относительное изменение температуры менее существенно сказывается на ресурсе батареи, чем относительное изменение напряжения. В некоторой степени увеличением напряжения «плавающего заряда» можно компенсировать уменьшение температуры и наоборот, уменьшением напряжения компенсировать ее повышение.

Важно отметить, что термокомпенсация напряжением заряда для герметичных батарей служит единственным способом добиться компромисса между сульфатацией и потерей воды, поскольку компенсация этой потери невозможна.

Таким образом, все доступные для рассмотрения технические условия эксплуатации аккумуляторов различных фирм требуют термокомпенсации напряжением «плавающего заряда». В настоящее время фирмы-изготовители источников питания (YUASA, SIEMENS, ABB, TeleNokia, ITALTEL, Ericsson Nikola Tesla) выпускают выпрямители, поддерживающие режим термокомпенсации «плавающего заряда». Отечественных выпрямителей

такого класса в настоящее время нет. На рис. 1 приведена типичная зависимость напряжения «плавающего заряда» от температуры, поддерживаемая указанными выше выпрямителями.

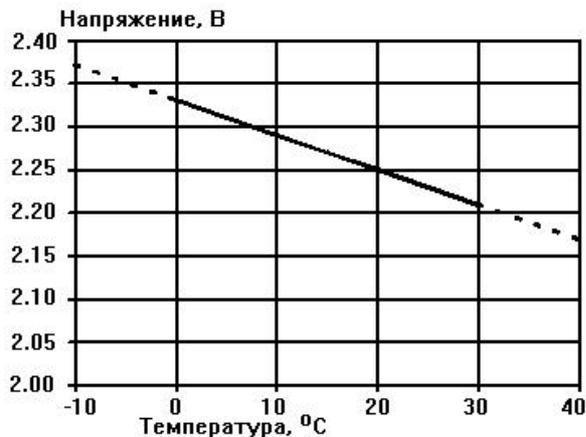


Рис. 1. Зависимость напряжения заряда от температуры

Таким образом, для обеспечения долгосрочной эксплуатации аккумуляторной батареи необходимо зарядное устройство, учитывающее температурный разбег на аккумуляторах батареи и ограничивающее рост напряжения на полностью заряженных элементах.

Устройство состоит из силовой части и схемы измерения \ контроля.

Контроллер постоянно производит измерения температуры и напряжения на аккумуляторах батареи. Если показания измеренной температуры превышают предельно допустимые значения, то заряд прекращается до тех пор, пока температура не нормализуется. Если напряжение на аккумуляторе превышает предельный уровень, то устройство начинает ограничивать его. Для обеспечения оптимального режима заряда и поддержания требуемой величины поляризации, контроллер изменяет максимальный допустимый уровень зарядного напряжения в зависимости от температуры аккумулятора. Ограничение напряжения на аккумуляторах возможно разными способами.

1. Способ ограничения напряжения с помощью пассивных компонентов предполагает, что к аккумуляторам батареи, на которых напряжение заряда превышает максимальный уровень, силовые ключи подключают параллельную резистивную нагрузку. Зарядный ток через аккумулятор уменьшается. Основные достоинства данного способа – простота реализации и низкие требования к быстродействию системы управления. Недостатки – ступенчатость регулирования токов и потери мощности на нагрев.

2. Способ ограничения напряжения с помощью активных полупроводниковых силовых элементов предполагает параллельное подключение к аккумуляторам, на которых повышенный уровень напряжения, регулируемых силовых элементов. При этом способе ток заряда протекает через силовой полупроводниковый элемент и напряжение понижается. Достоинства данного способа: плавность регулирования токов нагрузки и простота исполнения. Недостатки: необходимость отвода тепла от полупроводниковых силовых элементов.

3. Способ ограничения напряжения с рекуперацией энергии заряда предполагает использование ШИМ преобразователя, подключаемого к аккумуляторам с повышенным уровнем напряжения. При этом способе напряжение понижается за счет «перекачки» энергии от аккумулятора к зарядному устройству. Достоинства данного метода: малые потери энергии, плавность регулирования токов нагрузки и высокое быстродействие. Недостатки: сложность силовой части и высокая стоимость устройства.

Структурная схема блока контроля и измерений представлена на рис. 2.

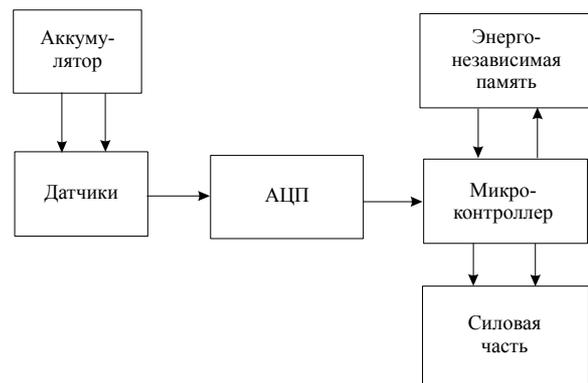


Рис. 2. Структурная схема блока контроля и измерений

Измерительная часть подключается непосредственно к каждому аккумулятору батареи и состоит из температурного датчика и датчика напряжения. С помощью АЦП происходит измерение температуры и напряжения и передача полученных результатов в микроконтроллер. Зависимость напряжения от температуры (см. рис. 1) хранится в виде таблиц в памяти контроллера. Контроллер производит сравнение измеренных результатов с результатами хранящимися в памяти, и выдает управляющие сигналы для силовой части устройства ограничения напряжения. Алгоритм работы представлен на рис. 3.

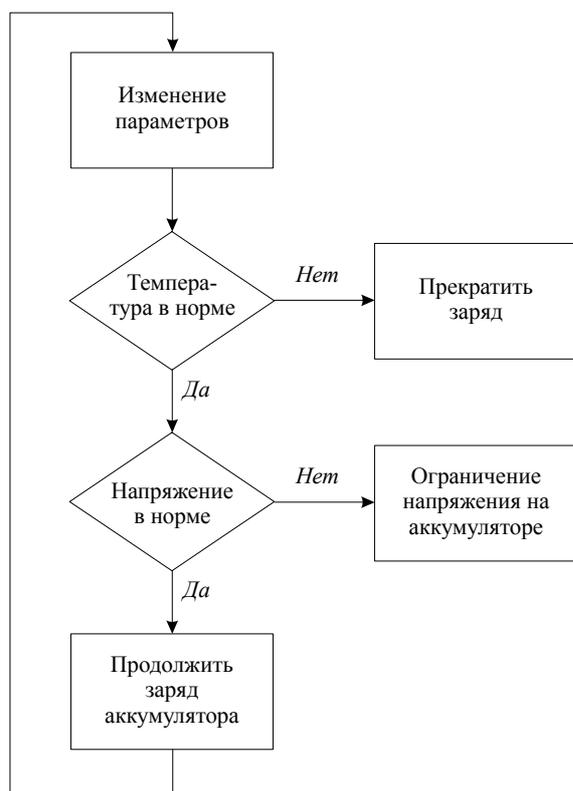


Рис. 3. Функциональный алгоритм блока контроля и измерений

По результатам проведенной работы можно сделать выводы:

1. Применение контроллера заряда позволяет продлить время эксплуатации батарей, обладающих разбросом внутреннего сопротивления, за счет корректировки напряжения поляризации на каждом аккумуляторе.

2. Применение первого и второго способов ограничения напряжения целесообразно в стационарных условиях, где возможно использование элементов с большими массогабаритными показателями.

3. Третий способ ограничения целесообразно применять в мобильных устройствах и там, где требуется максимальный КПД и экономичность.

4. Необходимо совершенствовать устройство, добавляя функциональные возможности: накопление статистической информации о параметрах аккумуляторов в энергонезависимую память устройства; вывод информации на внешние устройства. Такая информация позволит производителям аккумуляторов вносить коррективы в технологические процессы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования / Под ред. Ф. Л. Когана. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2001. – 496 с.
2. Гусев Ю. П. Электрофизические процессы в аккумуляторах электростанций при коротких замыканиях / Ю. П. Гусев, А. М. Поляков // Известия РАН. Энергетика. – 2001, № 4, С. 99–105.
3. Балашов В. В. Диагностика электроустановок оперативного постоянного тока на подстанциях ОАО «Мосэнерго» / В. В. Балашов, Ю. П. Гусев, А. М. Поляков, В. А. Фещенко // Электрические станции. – 2000, № 8, – С. 39–46.

Поступила в редколлегию 17.06.2005.