

УДК: 656.25: 621.31

В. И. ПРОФАТИЛОВ – к. т. н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, profatilov@ua.fm
Т. Н. СЕРДЮК – к. т. н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, serducheck-t@rambler.ru

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И БАТАРЕЙ

Статью представил д. физ. - мат. н., проф. В. И. Гаврилюк

Введение

В настоящее время на железнодорожном транспорте для автономного питания переносной аппаратуры связи (радиостанций, мобильных телефонов), а также измерительных приборов используются аккумуляторы и батареи (источники постоянного тока однократного применения) разных типов, а для резервного питания станционных и перегонных устройств кислотные и свинцовые аккумуляторы.

Для питания устройств железнодорожной автоматики и связи можно использовать следующие типы аккумуляторов:

- никель-кадмиевые (NiCd) аккумуляторы, которые имеют внутреннее сопротивление в диапазоне 0,1...0,2 Ом, плотность энергии в диапазоне 40...80 Вт·ч/кг, число рабочих циклов (циклов «заряд – разряд») – 1500. К преимуществам никель-кадмиевых аккумуляторов можно отнести невысокую стоимость, большой срок службы, устойчивую работу при низких температурах (до минус 40°C), а также высокую надежность. Они не теряют работоспособность при полном разряде и легко переносят перезаряд при небольших зарядных токах менее 0,1С, где С – номинальная емкость аккумулятора, которая измеряется в Ампер-часах (в некоторых источниках употребляется Q для обозначение емкости аккумуляторов). К недостаткам аккумуляторов данного типа относятся высокий уровень саморазряда (до 20 % в месяц), а также наличие эффекта

«памяти» (т. е. частичную потерю емкости при заряде не полностью разряженного аккумулятора) [1 – 4];

- никель-металлгидридные (NiMh) аккумуляторы, которые имеют внутреннее сопротивление в диапазоне 0,2...0,3 Ом, плотность энергии в диапазоне 60...120 Вт·ч/кг, число рабочих циклов – 500. К преимуществам никель-металлгидридных аккумуляторов можно отнести более высокую емкость по сравнению с NiCd-аккумуляторами и частичное устранение эффекта «памяти», а к недостаткам меньший срок службы и более высокий саморазряд (до 30 % в месяц) по сравнению с NiCd-аккумуляторами [1, 2];

- литиевые (Li-Ion) аккумуляторы имеют внутреннее сопротивление в диапазоне 0,15...0,25 Ом, плотность энергии в диапазоне 100...160 Вт·ч/кг, число рабочих циклов – 1000. К преимуществам литиевых аккумуляторов можно отнести высокую удельную емкость, низкий уровень саморазряда (менее 10 % в месяц), а также отсутствие эффекта «памяти». К недостаткам аккумуляторов данного типа относятся высокая цена, возможность возгорания при неправильной эксплуатации, а также необходимость в специальных зарядных устройствах, поддерживающих «интеллектуальный» алгоритм заряда. В настоящее время появились литий-полимерные (Li-Pol) аккумуляторы, которые являются разновидностью литиевых аккумуляторов и имеют более высокую плотность энергии

(до 200 Вт·ч/кг), более высокую безопасность при эксплуатации, а также меньший вес, возможность уменьшить толщину аккумулятора до 1 мм и придания им любой формы (в том числе и гибкой). К недостаткам Li-Pol аккумуляторов можно отнести более узкий диапазон рабочих температур (0...60°C), в частности они плохо работают при низких температурах [1, 2];

- обслуживаемые и необслуживаемые кислотные-свинцовые аккумуляторы имеют самое низкое внутреннее сопротивление (менее 0,1 Ом), но в тоже время самую низкую плотность энергии (не более 30 Вт·ч/кг), поэтому они имеют большие массогабаритные показатели. Кислотные аккумуляторы следует применять, если необходимо обеспечить большие токи разряда или необходимо эксплуатировать аппаратуру при очень низких температурах. Также в необслуживаемых кислотных аккумуляторах полностью отсутствует «эффект памяти». В устройствах сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) применяют стационарные аккумуляторные батареи типа С и СК, допускающие кратковременный разряд и устанавливаемые на постах электрической централизации (ЭЦ), и переносные типа АБН-72, АБН-80, используемые на переездах, сигнальных точках входных светофоров и т.п., а в некоторых случаях и на постах ЭЦ [3, 6, 9].

Для питания электронной аппаратуры также можно использовать батареи, которые делятся на три типа:

- солевые батареи (угольно-цинковые и их разновидности), имеющие низкую стоимость, но и малую емкость (внутреннее сопротивление 0,4...0,75 Ом) [1, 2];

- щелочные (Alkaline) батареи (внутреннее сопротивление 0,15...0,4 Ом), обладающие достаточно высокой емкостью (в 5...10 раз выше, чем у солевых), но в тоже время и более высокую стоимость [4, 5];

- литиевые батареи, обеспечивающие наибольшее номинальное напряжение

2,6...3,6 В при минимальных габаритах, обладающие низким током саморазряда (менее 1...2% в год) и длительным сроком службы [1, 7].

При эксплуатации батарей необходимо учитывать, что по соотношению емкость/цена щелочные и солевые батареи не сильно отличаются друг от друга. Солевые батареи рекомендуется использовать в аппаратуре с низким потреблением тока, и имеющими периодический цикл работы (например, измерительные приборы и «интеллектуальные» датчики), а щелочные батареи лучше использовать для питания устройств с большим током потребления.

Литиевые батареи используются для работы с нагрузками, требующими небольшого или среднего разрядного тока, и там где необходимо обеспечить минимальные габариты (они обладают самой большой удельной плотностью энергии).

Никель-кадмиевые аккумуляторы эксплуатируются в устройствах железнодорожной автоматики с 50-х годов прошлого столетия, а кислотные (свинцовые) с 80-х и в большинстве случаев, учитывая экономические процессы, происходящие в Украине и странах СНГ в последнее десятилетие XX века и настоящее время, требуют замены.

Таким образом, тема работы, связанная с анализом возможности применения современных типов аккумуляторных батарей в устройствах СЦБ и связи и изучением особенностей их эксплуатации является актуальной задачей.

Целью является поиск современных типов необслуживаемых аккумуляторных батарей, которые возможно применить вместо существующих образцов, и внедрение которых позволит сократить число обслуживающего персонала, облегчить условия труда электромехаников, исключить влияние вредных факторов, связанных с их обслуживанием, и повысить надежность устройств электропитания железнодорожной автоматики и связи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить такие задачи: критический анализ характеристик и особенностей эксплуатации аккумуляторов нового поколения и, в соответствии с требованиями, предъявляемыми к батареям устройств железнодорожной автоматики и связи, выдать рекомендации по замене их аналогами.

Особенности эксплуатации NiCd и NiMh аккумуляторов

При эксплуатации NiCd- и NiMh-аккумуляторов необходимо учитывать, что их реальные параметры со временем ухудшаются: емкость аккумулятора уменьшается, а внутреннее сопротивление и значение саморазряда увеличивается. Слишком частый перезаряд NiCd- и NiMh-аккумуляторов приводит к росту саморазряда, что негативно сказывается на работе устройств, которые долго находятся в режиме хранения. Одним из главных недостатков NiCd-аккумуляторов является «эффект памяти», который приводит к уменьшению емкости аккумулятора, а следовательно, и к уменьшению времени работы устройства. Данный эффект возникает, если на зарядку поставить не до конца разряженный аккумулятор. Для борьбы с эффектом «памяти» необходимо периодически (один раз в месяц), проводить полный разряд аккумулятора, т.е. разряд аккумулятора с номинального напряжения 1,25 В до напряжения 0,9 В. Если полный разряд не приводит к восстановлению емкости аккумулятора, то необходимо провести цикл восстановления, который заключается в полной зарядке и затем глубокой разрядке аккумулятора до напряжения 0,4 В.

При эксплуатации никель-металлогидридных аккумуляторов необходимо учитывать, что «эффект памяти» в них устранен только частично, т. е. заряжать не полностью разряженный NiMh-аккумулятор можно, если он хранился в таком состоянии не более одного (двух) дней.

Если же NiMh-аккумулятор был частично разряжен, а затем не использовался в течение длительного времени, то перед зарядом его необходимо полностью разрядить, так же как и NiCd-аккумулятор.

В отличие от NiCd-аккумуляторов, которые допускают длительное хранение в разряженном состоянии, NiMh-аккумуляторы необходимо хранить в полностью заряженном состоянии. При этом необходимо периодически проверять напряжение на NiMh-аккумуляторе и при снижении его ниже 1 В, необходимо полностью зарядить аккумулятор, при этом предварительно полностью его разрядив.

Особенно опасным при эксплуатации аккумуляторов является рост внутреннего сопротивления аккумулятора, что может привести к возникновению ряда неисправностей аппаратуры. При росте внутреннего сопротивления аккумулятора и большом токе потребления будет расти и падение напряжения на аккумуляторе, в результате произойдет уменьшение эффективной емкости аккумулятора. Эксплуатация такого аккумулятора приведет к более раннему отключению устройства, хотя аккумулятор еще не отдал всю свою энергию, или к появлению ложных выключений аппаратуры при росте тока потребления. Например, при переходе радиостанции или мобильного телефона в режим передачи, резко возрастает ток потребления, и они могут самопроизвольно выключаться. При таких неисправностях, обслуживающий или ремонтный персонал, часто делает ошибку, принимая их за проявление «эффекта памяти», и пытается устранить неисправность путем проведения циклов восстановления.

Рост выходного сопротивления аккумулятора приводит также к неправильной работе зарядных устройств. Для определения момента полной зарядки NiCd-аккумулятора в зарядных устройствах используется метод контроля превышения напряжения на аккумуляторе определенного порога. Но из-за повышенного внутрен-

него сопротивления, данный порог достигается раньше, чем аккумулятор достигнет полного заряда. В результате аккумулятор оказывается недозаряженным, а это приводит к сокращению времени работы устройств железнодорожной автоматики и связи. При эксплуатации NiCd-аккумуляторов также необходимо учитывать, что они теряют 10 % своего заряда в первые 24 часа после зарядки.

При эксплуатации аппаратуры, питающейся от аккумулятора, необходимо проводить периодическое измерение внутреннего сопротивления аккумулятора. Для этого можно использовать специальные измерительные приборы для проверки аккумуляторов или провести измерения самостоятельно. Для этого необходим тестер и резистор с сопротивлением от 1 до 10 Ом (достаточной мощности).

Внутреннее сопротивление аккумулятора вычисляется по следующей формуле:

$$R_{вн} = R \frac{U_{xx} - U_n}{I_n}, \quad (1)$$

где R – сопротивление нагрузки, Ом; U_{xx} – напряжение на выводах аккумулятора без нагрузки, U_n – напряжение на выводах аккумулятора при нагрузке, В; I_n – ток нагрузки, А.

Заряд аккумуляторов NiCd- и NiMh-аккумуляторов

NiCd- и NiMh-аккумуляторы имеют номинальное напряжение 1,2 В и особый алгоритм заряда, поэтому для их заряда необходимо использовать специальные зарядные устройства. В настоящее время для построения зарядных устройств NiCd- и NiMh-аккумуляторов выпускаются специальные микросхемы контроля заряда: ON Semiconductor, Maxim (более 10 видов) и др. Использование специальных контроллеров заряда аккумуляторов позволяет обеспечить максимально быстрый заряд и максимальный срок службы аккумулято-

ров, а также защищает аккумулятор от перезаряда и потери емкости [1, 2, 7].

Контроллеры заряда NiCd- и NiMh-аккумуляторов реализуют следующие функции:

- выбор способа заряда аккумулятора и реализация его алгоритма. В настоящее время реализуются два способа заряда: медленный заряд и быстрый заряд;

- определение момента окончания зарядки. Для NiCd- и NiMh-аккумуляторов используются два алгоритма: по изменению напряжения и по скорости изменения температуры;

- определение подключения вместо аккумулятора одноразовых батарей и блокировка их заряда;

- программирование времени заряда аккумуляторов (1...4 часа);

- контроль перезаряда аккумулятора и прекращение заряда при превышении напряжения на аккумуляторе 1,75 В;

- контроль перегрева аккумулятора и прекращение заряда при превышении температуры 50°C;

- контроль времени заряда и прерывание заряда по окончании тайм-аута;

- реализация паузы перед отключением зарядки при детектировании по изменению напряжения (от 2 до 10 минут) для предотвращения неполного заряда аккумулятора;

- индикация состояния заряда аккумулятора на светодиодах.

Для заряда NiCd- и NiMh-аккумуляторов используется алгоритм заряда постоянным током CCI (Constant Charge I) с измерением изменения напряжения на аккумуляторе. Алгоритм заряда NiCd- и NiMh-аккумуляторов состоит из следующих этапов:

- медленный заряд разряженного аккумулятора (напряжение аккумулятора меньше 1 В) малым током 0,1С...0,25С до тех пор, пока напряжение на аккумуляторе не превысит 1 В;

- быстрый заряд аккумулятора током 1С с контролем окончания заряда по методу отрицательного приращения напряжения «-ΔV»;

- определение полного заряда аккумулятора и отключение зарядного устройства. При заряде NiCd- и NiMh-аккумулятора напряжение на нем постоянно возрастает, а после того, как аккумулятор будет полностью заряжен, напряжение на нем начнет уменьшаться. Контроллер, определив данное снижение напряжения, примерно на 15...20 мВ для Ni-Cd и на 5...10 мВ для Ni-Mh аккумуляторов, отключает заряд аккумулятора. Современные контроллеры заряда аккумуляторов имеют чувствительность 1...2 мВ, что позволяет им достаточно точно определять момент окончания заряда аккумулятора. Также необходимо учитывать, что эффект «-ΔV» наблюдается только при быстром заряде, т. е. достаточно больших токах зарядки.

Альтернативным способом определения момента окончания заряда NiCd- и NiMh-аккумулятора является измерение скорости изменения температуры аккумулятора «dT/dt», которое реализовано, например, в микросхемах компании MAXIM. При заряде аккумулятора большая часть электрической энергии преобразуется в химическую энергию. Когда аккумулятор полностью зарядится, то электрическая энергия начнет преобразовываться в тепловую энергию, что приведет к резкому росту температуры аккумулятора. Если в зарядном устройстве установить датчик температуры, измеряющий температуру аккумулятора, то при быстрой зарядке (т. е. достаточно большом зарядном токе) можно определить окончание заряда по резкому увеличению температуры аккумулятора [1, 7].

Для реализации постоянного тока заряда в современных контроллерах могут использоваться два вида регуляторов тока: линейны или импульсный. Контроллеры с линейным регулятором тока отличаются бо-

лее высокой точностью (точность стабилизации тока в линейном режиме равно приблизительно 1 %) и поэтому отличаются высоким качеством заряда аккумуляторов. Но такие зарядные устройства больше потребляют электроэнергии и сильнее нагреваются. Контроллеры с импульсным регулятором тока, наоборот меньше потребляют тока и практически не греются, но точность у них хуже (точность стабилизации тока в импульсном режиме равняется приблизительно 7 %) и поэтому качество заряда аккумуляторов тоже меньше (у них чаще может происходить неполный заряд аккумулятора).

Особенности эксплуатации Li-Ion и Li-Pol аккумуляторов

Главным преимуществом эксплуатации литиевых аккумуляторов является их неприхотливость и простота в обслуживании, так как они имеют низкий саморазряд и у них полностью отсутствует «эффект памяти». Однако при эксплуатации Li-Ion-аккумуляторов необходимо учитывать, что в них используется электролит в виде геля, и при неправильной эксплуатации таких аккумуляторов может произойти их возгорание или взрыв. Для обеспечения безопасной эксплуатации Li-Ion-аккумуляторов необходимо учитывать следующее:

- необходимо исключить возможность короткого замыкания положительных и отрицательных электродов (внутри аккумулятора для изоляции электродов используются полиолефиновые пористые пленки) и подачи напряжения обратной полярности при подключении зарядного устройства;

- нельзя допускать перегрева аккумулятора, для этого они оснащаются встроенным терморезистором, позволяющим контролировать температуру аккумулятора и отключать его при необходимости, а также предохранительным клапаном для сброса избыточного давления при нагреве;

- запрещается эксплуатировать Li-Ion-аккумулятор с поврежденным корпусом, так как при заряде такого аккумулятора будет выделяться газ, который может при определенной температуре воспламениться.

В Li-Pol-аккумуляторах используется твердый сухой электролит, что позволяет значительно повысить безопасность эксплуатации аккумуляторов, но при этом получить практически такие же характеристики, как и в Li-Ion-аккумуляторах.

Оптимальными условиями длительного хранения Li-Ion-аккумуляторов является хранение при заряде на 40 % от его емкости. Но при этом необходимо учитывать, что Li-Ion-аккумуляторы подвержены старению, т. е. они теряют до 60 % своей емкости через два-три года, даже если они не эксплуатировались.

Заряд аккумуляторов Li-Ion- и Li-Pol -аккумуляторов

Li-Ion- и Li-Pol-аккумуляторы имеют номинальное напряжение 3,6 В и специфический алгоритм заряда, поэтому для их заряда необходимо использовать специальные зарядные устройства. В настоящее время для построения зарядных устройств Li-Ion- и Li-Pol-аккумуляторов выпускаются специальные микросхемы контроля заряда: STMicroelectronics, Texas Instruments, ON Semiconductor, Maxim (более 30 видов) и др. Использование специальных контроллеров заряда аккумуляторов позволяет обеспечить максимально быстрый заряд и максимальный срок службы аккумуляторов, а также защищает аккумулятор от перезаряда и потери емкости [1, 2, 7].

Контроллеры заряда Li-Ion- и Li-Pol-аккумуляторов реализуют следующие функции:

- выбор алгоритма заряда аккумулятора: постоянным током (режим CСI) или постоянным напряжением (режим CСV - Constant Charge V);

- определение момента окончания зарядки по критерию «минимальный ток заряда»;

- программирование величины максимального зарядного тока (определяется внешним резистором);

- контроль времени заряда аккумулятора и выключение заряда при превышении времени тайм-аута (значение тайм-аута задается внешним конденсатором в интервале 7...700 мин);

- формирование сигналов о состоянии процесса заряда аккумулятора;

- контроль температуры корпуса аккумулятора и прекращение заряда при превышении значения 100...120°C;

- контроль перенапряжения и выключение зарядного устройства, если значение входного напряжения превышает 7,2 В;

- выбор источника входного напряжения: AC/DC-адаптер или USB-порт;

- капельная подзарядка (trickle charge) аккумулятора в процессе эксплуатации в целях компенсации его саморазряда.

Алгоритм заряда литиевых батарей представлен на рис. 1. Выбор алгоритма заряда литиевого аккумулятора зависит от его состояния:

- если литиевый аккумулятор сильно разряжен (напряжение аккумулятора меньше 2,8 В), то включается режим предварительного заряда аккумулятора малым током (10 % от величины максимального тока), пока напряжение на аккумуляторе не превысит 2,8 В. Аккумулятор нельзя заряжать максимально возможным током при напряжении меньше 2,8 В, так как это сильно сократит срок службы аккумулятора;

- если аккумулятор находится в частично разряженном состоянии (напряжение аккумулятора в диапазоне 2,8...4,2 В), то включается режим быстрого заряда по алгоритму CСI (т. е. зарядное устройство работает как источник постоянного тока). В этом режиме заряд аккумулятора осуществляется максимальным током 1С. При

этом напряжение на аккумуляторе постепенно увеличивается до тех пор, пока не достигнет значения, равного 4,2 В. Литиевый аккумулятор на данный момент будет заряжен примерно на 70 % своей емкости. Некоторые контроллеры заряда поддерживают режим «плавного старта» (Soft Start), т. е. максимальный ток подается на аккумулятор не сразу, а плавно нарастает до максимума в течение нескольких минут;

- на завершающей стадии быстрого заряда литиевого аккумулятора включается алгоритм заряда CCV, т.е. заряд осуществляется постоянным напряжением 4,2 В с измерением тока, заряжающегося аккумулятора. Ток заряда будет постепенно уменьшаться, и в тот момент, когда ток заряда станет меньше некоторого порогового значения (примерно 0,05...0,1С), заряд аккумулятора считается законченным и процесс заряда завершается.

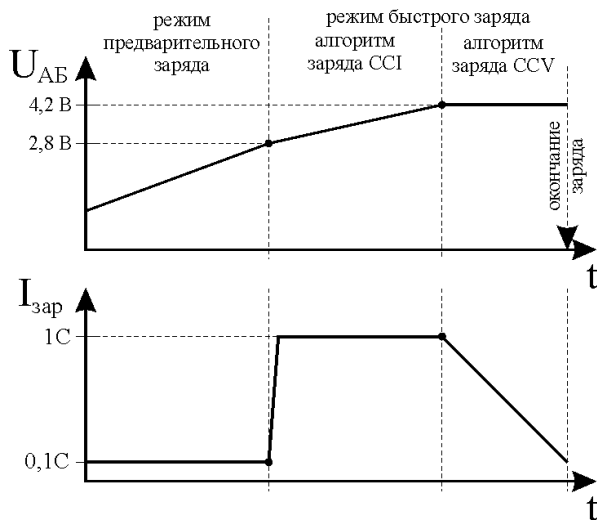


Рис. 1. Алгоритм заряда литиевого аккумулятора

Как видно из алгоритма (см. рис. 1) заряд литиевых аккумуляторов сильно зависит от емкости аккумулятора (С – емкость аккумулятора, используемая в качестве единицы измерения, А·час). Это означает, что для оптимальной эксплуатации Li-Ion и Li-Pol-аккумуляторов максимальный ток зарядного устройства должен приблизительно совпадать с емкостью аккумулятора.

Если емкость аккумулятора будет значительно меньше максимального тока заряда зарядного устройства, то такой аккумулятор будет систематически перегреваться во время заряда, особенно в режиме предварительного заряда, что приведет к сокращению его срока службы. К тому же такой аккумулятор не будет полностью заряжаться до своей емкости, и его придется чаще подзаряжать. Если емкость аккумулятора значительно больше максимального тока заряда зарядного устройства, то такой аккумулятор будет долго заряжаться и подвергаться систематическому перезаряду, что также может сократить срок его службы.

Литиевые аккумуляторы поддерживают режим автоматической капельной подзарядки. При снижении напряжения аккумулятора до 4,05...4,1 В включается режим быстрого заряда батареи, который прекращается опять же при достижении «минимального тока заряда». Это позволит поддерживать заряд аккумулятора на уровне не ниже 80 % от его номинальной емкости.

Ток заряда 0,1С соответствует не 100 % заряду литиевого аккумулятора, а примерно заряду на 95%. Для полного заряда аккумулятора, необходимо при достижении минимального тока заряда не прекращать заряд, а продолжить его в режиме CCV в течении 10...50 минут. Ток заряда в это время будет продолжать снижаться, и предполагается, что оставшиеся 5 % будут набраны аккумулятором. Данный режим заряда на практике применяется не часто, так как литиевые аккумуляторы критичны к перегреву, и неверно подобранное время заряда будет приводить к систематическому перегреву аккумулятора, что значительно сократит его срок службы.

В настоящее время все шире поступают в эксплуатацию «интеллектуальные» аккумуляторы типа «Smart Battery», которые содержат информацию о своем типе, параметрах заряда, а также текущем состоянии. Считывание такой информации из аккумулятора осуществляется по последователь-

ному каналу обмена данными SMBus или I²C. Современные зарядные устройства, поддерживающие работы с такими видами аккумуляторов, имеют встроенный микроконтроллер, который считывает информацию из аккумулятора и на ее основании осуществляет все необходимые настройки параметров заряда аккумулятора [1, 7].

Особенности эксплуатации литиевых батарей

Литиевые первичные источники тока по сравнению с источниками других типов обладают высокой удельной плотностью энергии, что при равных габаритных размерах позволяет обеспечить питание нагрузки в течение более продолжительного времени. Литиевые батареи производятся в различных форм-факторах «таблетка», цилиндрические, призматические. В зависимости от электрохимической системы литиевые батареи делятся на три вида:

- литий-диоксидмарганцевые (Li/MnO₂);
- литий-диоксидсерные (Li/SO₂);
- литий-тионилхлоридные (Li/SOCl₂).

Самыми массовыми и доступными по стоимости являются литий-диоксидмарганцевые и литий-диоксидсерные батареи. Литий-диоксидмарганцевые батареи характеризуются небольшим током саморазряда (2...2,5 % в год) и большим сроком хранения (более 10 лет), а также широким диапазоном рабочей температуры (-40...+85°C). Напряжение на выходе литий-диоксидмарганцевой батареи не отличается высокой стабильностью (рис. 2): в диапазоне от 0% до 60% степени разряда напряжение изменяется в диапазоне от 3,0 до 2,5 В, а при разряде более 60% напряжение резко уменьшается от 2,5 В до 1,7 В.

Литий-диоксидсерные батареи обладают малым током саморазряда (1...2% в год) и сохраняют работоспособность в диапазоне температур -55...+70°C. Напряжение имеет очень хорошую стабильность при разряде (2,6...2,9 В) и сохраняется неизменным до

тех пор, пока батарея не разрядится до 85%, а затем напряжение резко уменьшается до 2 В (рис. 2). К недостаткам данного типа батарей можно отнести высокое внутреннее давление и опасность сильного нагрева при коротком замыкании. Для предотвращения возгорания или взрыва батареи оснащаются специальным предохранительным клапаном, сбрасывающим лишнее давление при повышении температуры.

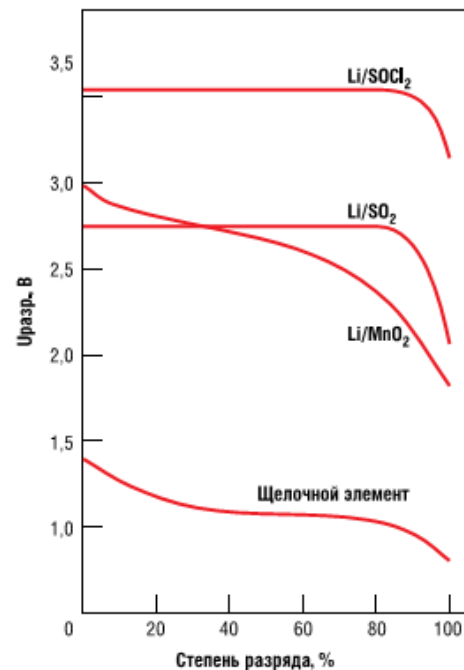


Рис.2. Зависимость напряжения батареи от степени разряда

Литий-тионилхлоридные батареи отличаются самым высоким значением удельной плотности энергии и самым малым током саморазряда (менее 1% в год). Кроме того, батареи данного типа могут работать в очень жестких условиях, так как имеют широкий рабочий температурный диапазон -55...+85°C. Батареи данного типа обладают самой лучшей стабильностью напряжения при разряде (см. рис. 2): напряжение батареи сохраняет значение 3,6 В, пока батарея не разрядится до 85 %, а затем напряжение резко уменьшается до 3,1 В.

При эксплуатации литиевых батарей необходимо учитывать, что все они под-

вержены процессу пассивации, особенно остро он выражен у литий-тионилхлоридных батарей. Пассивацией литиевого элемента называется процесс образования изолирующей пленки хлорида лития на поверхности литиевого электрода, которая образуется из-за химической реакции, возникающей во время сборки батареи, а в процессе хранения батареи толщина изолирующей пленки увеличивается [2]. У этого эффекта есть как положительные, так и отрицательные стороны. Образовавшаяся изолирующая пленка уменьшает интенсивность химических реакций в батарее, что приводит к резкому уменьшению тока саморазряда, в результате чего батарея может длительное время находиться в режиме хранения без ухудшения параметров. Но если к такой батарее подключить нагрузку, потребляющую достаточно большой ток, то напряжение батареи какой-то момент времени будет пониженным до 2,3...2,7 В, хотя на холостом ходу напряжение будет нормальным 3,3...3,6 В. Это происходит из-за того, что изолирующая пленка не может быть разрушена мгновенно, а она обладает достаточно высоким сопротивлением, которое препятствует протеканию тока.

Характер пассивации литиевой батареи зависит от времени и условий ее хранения, а также от режима эксплуатации. Значительные негативные проявления эффекта пассивации начинаются после шести месяцев хранения в нормальных условиях, либо после длительного использования батареи в режиме микротоков (не более 100 мкА) [7]. Чем выше температура и больше период хранения, тем более толстая образуется изолирующая пленка.

При эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и связи, работающих большую часть времени в ждущем режиме (датчики, измерительные приборы и др.), и включающихся периодически в режим среднего или большого энергопотребления, необходимо учитывать, что они могут не включиться из-за пониженного напряжения батареи. При эксплуатации устройств с ма-

лым потреблением тока они могут отключиться, или их работа может стать неустойчивой из-за продолжающегося процесса пассивации батареи. Для таких устройств не рекомендуется использовать литиевые батареи с большой емкостью.

Для активации литиевой батареи после длительного хранения необходимо провести ее депассивацию, т. е. разрушить изолирующую пленку хлорида лития импульсом тока. Ни в коем случае нельзя делать короткое замыкание выводов батареи питания, так как это приведет к выходу батареи из строя. Существуют рекомендованные производителем максимально допустимые значения тока и время депассивации батареи. При длительном хранении литий-тионилхлоридных батарей можно предупредить образование пленки хлорида лития с помощью регулярной кратковременной нагрузки батареи током не менее 1,25 % от номинальной емкости в течение трех секунд один раз в сутки.

К недостаткам литиевых батарей следует отнести пока еще относительно высокую стоимость по сравнению с другими типами батарей, а также пассивацию. Кроме того, следует учитывать, что некоторые литиевые элементы при вскрытии взрывоопасны.

Литий-железофосфатные аккумуляторы

В настоящее время для резервного питания стационарных и перегонных устройств железнодорожной автоматики применяются кислотнo-свинцовые аккумуляторы типа СК-6, СК-8, СК-10 или АБН-72, АБН-80. Данные аккумуляторы могут обеспечить ток разряда до 185 А, и поэтому очень долго им не было альтернативы в качестве резервного питания стрелок и светофоров, особенно на крупных станциях с количеством стрелок от 30 до 100 и выше [3, 6].

Литий-железофосфатные аккумуляторы (Lithium Iron Phosphate – Li-FePO₄) – это один из новых видов литиевых аккумуляторов с номинальным напряжением

3,2...3,3 В на один елемент. Удельная плотность энергии литий-железофосфатных аккумуляторов в 3...5 раза выше, чем у свинцово-кислотных аккумуляторов, и при этом они могут обеспечить высокую скорость разряда током до 10С [8].

Основные особенности и характеристики Li-FePO₄ аккумуляторов:

- длительный срок эксплуатации. Литий-железофосфатные аккумуляторы обеспечивают более 2000 циклов «заряд-разряд» (при заряде и разряде током в 1С). После 1000 циклов «заряд-разряд» током 1С снижение емкости аккумуляторов Li-FePO₄ составляет всего 10 %, а после 2000 циклов остается примерно 80 % емкости от первоначального значения. После этого аккумулятор можно эксплуатировать и дальше, но с пониженной емкостью;

- допускают высокую скорость разряда током: длительный разряд до 2С и кратковременный разряд до 10С;

- допускают высокий ток заряда до 0,5С, что значительно уменьшает время заряда аккумулятора (1...2 часа). При токе заряда 0,5С литий-железофосфатный аккумулятор за 30 минут заряжается до 80% от своей номинальной емкости;

- отдельные элементы литий-железофосфатных аккумуляторов, также как и кислотно-свинцовые аккумуляторы, можно включать параллельно и последовательно для увеличения емкости и напряжения аккумуляторных батарей;

- высокий уровень безопасности литий-железофосфатных аккумуляторов. В отличие от Li-Ion-аккумуляторов в них отсутствует опасность возгорания или взрыва при заряде или коротком замыкании;

- широкий диапазон рабочих температур от -10 до +60°C;

- практически во время всего процесса разряда литий-железофосфатные аккумуляторы обеспечивают постоянное номинальное значение напряжения 3,2...3,3 В;

- отсутствие токсичности производства литий-железофосфатных аккумуляторов,

так как все сырье, используемое при производстве, является экологически чистым и не отравляет окружающую среду.

В настоящее время литий-железофосфатные аккумуляторы широко применяются для питания электротранспорта (электрические велосипеды и мотоциклы, электротележки), для резервного питания базовых станций в системах мобильной связи, для автономного питания электроинструментов и других устройств в которых используются электродвигатели, а также в источниках питания на солнечных батареях для накопления энергии (системы обеспечения электроэнергией жилья).

Для автономного питания переносной аппаратуры выпускаются одноэлементные аккумуляторы с номинальным напряжением 3,2 В, и емкостью от 600 мА·ч (вес 15 г) до 36 А·ч (вес 900 г). Аккумуляторы данного типа можно использовать для питания радиостанций, датчиков, измерительных приборов. Для резервного питания стационарной аппаратуры и автономного питания электрических транспортных средств выпускаются аккумуляторные сборки с номинальным напряжением 6, 9, 12, 24, 36 и 48 В, и емкостью от 10 А·ч (вес 500 г)-до 200 А·ч (вес 78 кг). Аккумуляторы данного типа подходят в качестве замены кислотно-свинцовых аккумуляторов для резервного питания стационарных и переносных устройств железнодорожной автоматики, так как могут обеспечить токи разряда до 200 А.

К недостаткам литий-железофосфатных аккумуляторов можно отнести то, что они пока немного уступают по плотности энергии литий-полимерным аккумуляторам. Они не совместимы с зарядными устройствами для литий-ионных аккумуляторов, так как максимально допустимое напряжение полного заряда литий-железофосфатных аккумуляторов составляет 3,7 В, а у Li-Ion- и Li-Pol-аккумуляторов номинальное напряжение заряда составляет 4,2 В.

Для создания зарядных устройств литий-железосфатных аккумуляторов можно применять контроллеры заряда LiFePO₄-аккумуляторов компании Texas Instruments, которые построены на основе контроллеров для Li-Ion- и Li-Pol-аккумуляторов, с изменением уровней напряжений, до которых необходимо заряжать литий-железосфатные аккумуляторы [7, 8].

Выводы

В соответствии с поставленной целью был выполнен анализ характеристик и особенностей эксплуатации нового поколения аккумуляторов и батарей. Было установлено, что для автономного питания переносной аппаратуры связи или измерительных устройств малой мощности могут быть использованы литий-ионные или литий-полимерные аккумуляторы, которые имеют самый высокий уровень номинального напряжения 3,6В, и являются неприхотливыми и простыми в обслуживании, поскольку имеют низкий саморазряд и у них отсутствует «эффект памяти». Однако такие батареи быстро стареют (срок эксплуатации для литий-ионных два-три года, литий-полимерных – три-пять лет), имеют дорогое зарядное устройство, да и сами являются не дешевыми.

Одноэлементные литий-железосфатные аккумуляторы с номинальным напряжением 3,2 В, и емкостью от 600 мА·ч (вес 15 г) до 36 А·ч (вес 900 г) можно использовать для питания радиостанций, датчиков, измерительных приборов.

Для резервного питания стационарной аппаратуры и автономного питания электрических транспортных средств выпускаются аккумуляторные сборки с номинальным напряжением 6, 9, 12, 24, 36 и 48 В, и емкостью от 10 А·ч (вес 500 г) до 200 А·ч (вес 78 кг). Такие аккумуляторы могут быть внедрены для резервного питания стационарных и перегонных устройств железнодорожной автоматики, поскольку могут обес-

печить токи разряда до 200 А, что характерно для станций с числом стрелок от 30 до 100.

Литий-железосфатные аккумуляторы как один из новых видов литиевых аккумуляторов с номинальным напряжением 3,2...3,3 В на один элемент и имеют удельную плотность энергии в 3...5 раза выше, чем у свинцово-кислотных аккумуляторов, и при этом они могут обеспечить высокую скорость разряда током до 10С, являются дорогостоящими и требуют использования специальных зарядных устройств, несовместимых с зарядными устройствами литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов.

Применение литиевых аккумуляторов в устройствах СЦБ и связи позволит улучшить условия труда электромехаников, что связано с исключением такого вредного фактора, как влияние паров или брызг серной кислоты на оборудование и обслуживающий персонал и, следовательно, повысить безопасность, сократить место для размещения оборудования, облегчить труд и, таким образом, высвободить определенное число электромехаников.

Библиографический список

1. Хрусталева, Д. А. Аккумуляторы [Текст] / Д. А. Хрусталева. – Москва: Изумруд, 2003. – 224 с.
2. Коровин, Н. В. Химические источники тока [Текст]: справочник / Н. В. Коровин, А. М. Скундин. – Москва: Издательство МЭИ, 2003. – 740 с.
3. Михайлов, А. Ф. Электроснабжение устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта [Текст] / А. Ф. Михайлов, Л. А. Частоедов. – Москва: Транспорт, 1980. – 383 с.
4. Фельдман, А. Б. Электроснабжение устройств связи железнодорожного транспорта [Текст] / А. Б. Фельдман, Л. А. Частоедов. – Москва: Транспорт, 1986, 256 с.

5. Коган, Д. А. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики [Текст] / Д. А. Коган, М. М. Молдавский – Москва: – ЕКЦ.: Академкнига, 2003. – 438 с.
6. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] / Сапожников Вл. В., Ковалев Н. П., Кононов В. А., Костроминов А. М. // под ред. Сапожникова Вл. В. – Москва: Маршрут, 2005. – 453 с.
7. Таганова, А. А. Герметичные источники тока [Текст]: справочник / А. А. Таганова, Ю. И. Бубнов, С. Б. Орлов. – Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2005. – 264 с.
8. Звонарев, Е. До 2000 циклов «заряд – разряд»: литий-железофосфатные аккумуляторы ЕЕМВ [Текст] / Е. Звонарев // Новости электроники. – 2012. – № 2. С. 41-44.
9. Багуц, В. П. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] / В. П. Багуц, А. П. Ковалев, А. М. Костроминов. – Москва: Транспорт. – 1991. – 286 с.
10. Дмитриев, В. Р. Электропитающие устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст]: справочник / В. Р. Дмитриев, В. И. Смирнова. – Москва: Транспорт, 1983. – 248 с.
11. Abe, H. Vapor-grown carbon fiber anode for cylindrical lithium ion rechargeable batteries [Text] / H. Abe, T. Murai, K. Zaghbi // Journal of Power Sources 77 (2): 110. doi:10.1016/S0378-7753(98)00158-X. – 1999.
12. Voelcker, J. Lithium Batteries Take to the Road [Электронный ресурс] / J. Voelcker // IEEE Spectrum. – 2007. – Режим доступа: <http://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/lithium-batteries-take-to-the-road>
13. Lithium Ion. Technical handbook: Lithium Ion catalog [Электронный ресурс]. Gold Peak Industries (Taiwan) Ltd. – November 2003. Режим доступа: http://web.archive.org/web/20071007175038/http://www.gpbatteries.com/html/pdf/Li-ion_handbook.pdf
14. Andrea, Davide. Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs [Электронный ресурс] / D. Andrea // Artech House. ISBN 1608071049. – 2010. – 234 p. Режим доступа: <http://book.liionbms.com/>
15. Application of Life-Cycle Assessment to Nanoscale Technology: Lithium-ion Batteries for electric vehicles [Электронный ресурс] / United State Environmental Protection Agency: EPA 744-R-12-001. – April 24, 2013. – 120 p. – Режим доступа: <http://www.epa.gov/dfe/pubs/projects/lbnp/final-li-ion-battery-lca-report.pdf>

Ключові слова: акумулятор, електроживлення пристроїв залізничної автоматики та зв'язку, зарядний пристрій, експлуатація акумуляторів.

Ключевые слова: аккумулятор, электропитание устройств железнодорожной автоматики и связи, зарядное устройство, эксплуатация аккумуляторов.

Keywords: battery, power devices of railway automation and communication, charger, maintenance of battery.

Поступила в редколлегию 27.05.2014