

УДК 656.25: 621.355

Т. Н. СЕРДЮК – к.т.н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, serducheck-t@rambler.ru
МАУРО ФЕЛИЗИАНИ – д.т.н., проф., Университет Л’Аквили, Италия, mauro.feliziani@univaq.it

А. А. КОВАЛЕНКО – студент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

А. Ю. ЖУРАВЛЁВ – ассистент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, anton.zhuravlev@gmail.com

Е. В. КУЗНЕЦОВА – старший преподаватель кафедры гуманитарных, фундаментальных и общих инженерных дисциплин, Национальная металлургическая академия Украины, wit_jane2000@i.ua

ЛИТИЙ-ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И СВЯЗИ

Постановка проблемы

Качественная эксплуатация железнодорожного транспорта, осуществляется за счет повышения надежности и стабильности железнодорожных устройств автоматики и связи, которые относятся к электропотребителям особо важной первой категории. Релейные схемы сигнальных установок устройств автоблокировки, устройства связи и пост электрической централизации (ЭЦ) при электрической тяге получают основное питание от высоковольтных линий сигнализации, централизации и блокировки ВЛ СЦБ 6 (10) кВ, которые располагаются на отдельных опорах вдоль железнодорожной линии, а резервное – от высоковольтных линий продольного электроснабжения ВЛ ПЭ 6 (10) кВ, которые подвешиваются с полевой стороны опор контактной сети. При автономной тяге высоковольтные линии СЦБ выполняют кабельными двухцепными и зачастую прокладываются под землей на вновь проектируемых участках.

Для резервного электроснабжения потребителей особо важной категории применяются кислотно-свинцовые аккумуляторные батареи (АБ) типа С или СК емкостью 216...360 А·ч или АБН-72, АБН-80. Аккумуляторные батареи размещаются на постах

ЭЦ в специальных отапливаемых помещениях, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией и защищенных от попадания прямых солнечных лучей, поскольку выделяющаяся при заряде батареи смесь водорода с кислородом взрывоопасна.

Электропитание устройств автоматической переездной сигнализации (АПС) и схем входных светофоров на станцию осуществляется по схеме электропитания устройств автоблокировки с обязательным третьим источником, которым является аккумуляторная батарея. Итак, АБ выходных светофоров, устройств переездной сигнализации и прочее устанавливаются в батарейных шкафах или ящиках.

В устройствах железнодорожной связи для резервного электроснабжения используются никель-кадмиевые (НК), никель-железные (НЖ) или серебряно-цинковые (СЦ) щелочные аккумуляторы с разрядной емкостью 105 А·ч напряжением +12 В, +24 В, +48 В. Часто их заменяют на кислотные аккумуляторы АБН-80 с пластинами намазного типа [1–3].

Кислотно-свинцовые аккумуляторы в сравнении со щелочными имеют более высокий коэффициент полезного действия (КПД) и более стабильное напряжения раз-

ряда, отдают значительные токи. Щелочные АБ обладают более высокой механической прочностью и менее чувствительны к коротким замыканиям. Однако, номинальное напряжение в одной банке АБ типа С, СК, АБН 2,2 В, а у щелочных 1,5...1,6 В [2].

Таким образом, низкая плотность энергии в аккумуляторах старого типа (С, СК, АБН и НК, НЖ, СЦ), значительный вес батарей и вредные условия труда обуславливают необходимость поиска новых решений и внедрение современных источников в систему резервного электроснабжения устройств железнодорожной автоматики и связи. Вследствие этого, модернизация и усовершенствование систем резервного электроснабжения устройств автоматики и связи, оценка возможности применения современных типов аккумуляторных батарей нового поколения (литий ионных АБ) является актуальной научно-технической задачей.

Целью научно-исследовательской работы является решение задачи улучшения параметров качества электрической энергии и облегчения условий труда за счет модернизации системы резервного электроснабжения устройств автоматики и связи, а именно: анализ возможности применения литий-ионных аккумуляторов нового поколения на постах ЕЦ, переездах и в устройствах связи.

Сравнительный анализ аккумуляторов нового поколения

Литиевые аккумуляторы в сравнении с источниками других типов обладают высокой удельной плотностью энергии, что при равных типоразмерах позволяет обеспечить электропитанием нагрузку в течение более продолжительного времени. Литиевые батареи производятся в различных исполнениях: «таблетка», цилиндрические, призматические, гибкие.

В зависимости от электрохимической системы литиевые батареи делятся на:

– аккумуляторы малой емкости (десятки – тысячи мА·ч): литий-тионилхлоридные (LiSOCl_2) (максимальная емкость 36 А·ч); литий-серные (LiSO_2); литий-никелевые (LiNiO_2); литий-кобальтовые (LiCoO_2) или LCO; литий-никель-марганец-кобальт-оксидные (LiNiMnCoO_2) или NMC;

– аккумуляторы большой емкости – от 10 до 250 А·ч: литий-железофосфатные (LiFePO_4) или LFP; литий-кобальт-никелевые (LiCoNiO_2); литий-марганцевые (LiMnO_2 и LiMn_2O_4) или LNO; литий-кобальт-марганец-никелевые (LiCoMnNiO_2); литий-титанатные ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) или LTO; литий-никель-кобальт-алюминиевые (LiNiCoAlO_2) или NCA [3–15]. Другие перспективные литий-оксидные системы, широко исследуемые в наше время [16–18], пока не нашли широкого практического применения.

Основные характеристики аккумуляторов нового поколения приведены в табл. 1, 2. Самым изученным из литиевых аккумуляторных батарей малой емкости являются элементы на основе лития и оксидов марганца (LiMnO_2 и LiMn_2O_4), поэтому они самые доступные по цене. Их емкость ниже, чем у материалов на основе кобальта, но они дешевле и не требуют применения сложных микросхем для управления процессами заряда-разряда. LiNiO_2 имеет более высокую емкость, но имеют более сложную и опасную технологию изготовления. Для повышения безопасности в аккумуляторах большой емкости начали использовать смешанные оксиды кобальта и никеля (20...30 % никеля). Литий-никелевые (LiNiO_2) аккумуляторы обладают низким сопротивлением менее 100 мОм. Батареи LiSOCl_2 характеризуются самым высоким выходным напряжением (3,6 В), малыми токами саморазряда и широким диапазоном температур (от -55 до $+85$ °С).

Таблиця 1

**Сравнительная характеристика современных
 литий-ионных аккумуляторных батарей малой емкости**

Характеристики	Типы аккумуляторных батарей				
	литий- тионилхлорид- ные (LiSOCl ₂)	литий-серные (LiSO ₂)	литий- никелевые (LiNiO ₂)	литий- кобальтовые (LiCoO ₂)	литий-никель- маргаец- ко- бальт-оксидные (LiNiMnCoO ₂)
Удельная энергоем- кость, Вт·ч/кг	650	270	200...250	150...240	150...240
Емкость аккумуляторной батареи, мА·ч	400...36000	500...33000	2600	6800	4000
Число циклов заряд-разряд	500...1000	450...1000	3...10	500...1000	1000...2000
Время заряда, ч	3	3	3	3	3
Саморазряд при комнатной темпера- туре, %	Менее 1 % в год	1...3	1...3	1,6	1...3
Напряжение на элементе, В	3,6	2,8...3	3,7	3,6	3,6...3,7
Ток нагрузки отно- сительно емкости (С): – пиковый – наиболее приемлемый	20С 1С	5С до 0,5С	5С 0,2С	1С до 0,8С	2С (0,7...1)С
Диапазон рабочих температур, °С	–55...+85	–60...+70	–20...+60	–20...+60	0...+60
Особенности	требуют депассивации	минималь- ный уровень пассивации	низкое внутреннее сопротивле- ние – менее 100 мОм	плохо пере- носят пони- жение темпе- ратуры, не- большой срок службы, дороговизна	большая токоотдача, могут заря- жаться при отрицатель- ных темпера- турах, пол- ный разряд способствует тепловому пробою

Таблиця 2

**Сравнительная характеристика современных
 литий-ионных аккумуляторных батарей большой емкости**

Характеристики	Типы аккумуляторных батарей					
	литий-железофосфатные (LiFePO ₄)	литий-никель-кобальт-алюминиевые (LiNiCoAlO ₂)	литий-марганцевые (LiMnO ₂ и LiMn ₂ O ₄)	литий-кобальт-марганец-никелевые (LiCoMnNiO ₂)	литий-титанатные (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂)	литий-полимерные
Удельная энергоемкость, Вт·ч/кг	90...140	200...260	150...300	150...260	65...80	150...180
Емкость аккумуляторной батареи, А·ч	до 200	2,5...15	33	10...200	15...120	3...200
Время заряда, ч	1...2	3	3	1	0,5...3	1...3
Число циклов заряд-разряд	1500...7000	500...1000	300...700	1000...10000	3000...16000	1000...10000
Саморазряд при комнатной температуре, %	1	2...4	2	1	1	1...5
Напряжение на элементе, В	3,6...4	3,6	3,7	3,7...3,8	2,4	3,7
Ток нагрузки относительно емкости (С): - пиковый - наиболее приемлемый	до 25С 1С	2С 1С	3С (0,7...1)С	3С (2...3)С	до 10С (0,5...1)С	(3...5)С 2С
Диапазон рабочих температур, °С	-10...+60	-20...+60	-40...+70	-30...+50	-40...+80	0...+60
Примечание	Самые безопасные литиевые батареи, способны отдавать большие токи при разряде	Большая емкость, устойчивы к механическим воздействиям, взрывоопасные	Высокая мощность, но умеренная емкость, безопаснее литий-кобальтовых АБ	Низкое внутреннее сопротивление (< 30мОм),	Один из самых безопасных литиевых АБ, быстрый заряд, заряд при низких температурах	Малый вес, низкое внутреннее сопротивление (меньше 0,5...1,2 мОм), высокая надежность

Основной особенностью Li-FePO₄ аккумуляторов (LFP) является длительный срок службы. Они 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 около 10 %. Такие АБ допускают высокую скорость разряда током до 2С при длительном разряде и до 10С при кратковременном разряде. Имеют высокий ток заряда до 0,5С, что значительно уменьшает время заряда аккумулятора (1...2 часа).

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: 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. 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.

Литий-тионилхлоридные батареи отличаются самым высоким значением удельной плотности энергии и самым малым то-

ком саморазряда (менее 1 % в год). Кроме того, батареи данного типа могут работать в очень жестких условиях, обладают самой лучшей стабильностью напряжения при разряде: напряжение батареи сохраняет значение 3,6 В, пока батарея не разрядится до 85 %, а затем напряжение резко уменьшается до 3,1 В.

В настоящее время наблюдается рост доли никельсодержащих литий-ионных батарей, поскольку никель обладает высокой энергоемкостью. Соединения никеля с марганцем обеспечивает стабильность полученного соединения и низкое внутреннее сопротивление. Так, на 2016 г. доля никельсодержащих литий-ионных батарей составляет 39 % (литий-никель-марганец-кобальтовые NMC с низким содержанием Ni – 19 %, со средним содержанием Ni – 7 %, с высоким содержанием Ni – 3 %; литий-никель-кобальтовые NCA – 10 %). Процентное соотношение между другими аккумуляторами распределяется так: литий-железофосфатные LFP – 22%; литий-кобальт-оксидные LCO – 25 %; литий-марганец-оксидные LMO – 13 %, литий-титанатные LTO – 1%. Прогнозируется увеличение доли никельсодержащих литиевых батарей до 58 % к 2025 г. [16].

Применение литий-ионных аккумуляторов с гель-полимерным электролитом исключает необходимость контроля уровня, температуры и плотности электролита, что является необходимым условием в технологии обслуживания свинцовых аккумуляторов типа АБ. Применение таких батарей существенно сокращает расходы на их эксплуатацию, они имеют длительный срок службы от 10 до 15 лет, что в 2...3 раза превышает срок эксплуатации аккумуляторов типа АБН.

К преимуществам литий-ионных аккумуляторов относятся высокий уровень удельной емкости и плотности разрядного тока; высокое напряжение разряда 3...4 В; минимальный саморазряд (для некоторых типов литий-ионных батарей при 20 °С – не более 3 % в год); отсутствие «эффекта па-

мяти» (не требует полного разряда перед зарядом); большое количество циклов заряд-разряд (гарантируется свыше 800 циклов); минимальные габариты и вес; простота в обслуживании, безопасность.

Таким образом, для радиостанций и переносной аппаратуры железнодорожной связи могут быть рекомендованы аккумуляторы, приведенные в табл. 1, для постов ЕЦ, переездной сигнализации, резервного электропитания входных светофоров – в табл. 2.

Режимы работы литиевых аккумуляторов

Основным режимом работы данного вида аккумулятора является буферный, при котором периоды разряда непродолжительны, в сравнении с периодами заряда. В этом режиме аккумулятор постоянно подзаряжается и выполняет роль не только резервного источника, а и стабилизатора постоянного напряжения, и сглаживающего фильтра.

Удельные зарядно-разрядные характеристики литий-ионных аккумуляторов превышают аналогичные показатели традиционных АБ по крайней мере вдвое. Они хорошо работают на больших токах, что необходимо для резервного питания устройств железнодорожной автоматики и связи и имеют низкий саморазряд (для современных батарей – всего около 2...5 % в месяц).

Циклический режим работы характеризуется длительными периодами заряд-разряд. На практике используется редко, например, для контрольных зарядно-разрядных циклах аккумуляторов. В этом случае аккумулятор полностью заряжается, а затем разряжается до минимально допустимого напряжения и снова заряжается. Таким образом, определяют фактическую емкость аккумулятора – максимальное количество электричества в кулонах (ампер часах, $1 \text{ А} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Кл}$), которое аккумулятор отдает при разряде до выбранного конечного напряжения. Минимальное конеч-

ное напряжение разряда батареи оговаривается изготовителем. Не рекомендуется использовать режим более глубокого, а также мягкого разряда, которые снижают продолжительность циклического срока службы аккумулятора.

Li-ion аккумуляторы могут заряжаться в комбинированном режиме: с самого начала при постоянном токе (величиной 0.2С до 1С) до напряжения в 4.2 В (это значение зависит от производителя батареи), а далее зарядка будет проходить при постоянном напряжении.

При заряде литий-ионных батарей током равным 1С время заряда составляет 2...3 часа, и по достижению напряжения отсечки, ток будет значительно уменьшаться до величины примерно 3 % от начального зарядного тока (рис. 1).

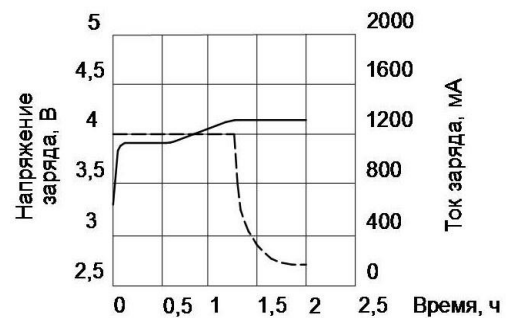


Рис. 1. Напряжение и ток заряда Li-ion аккумуляторов

Время заряда Li-ion и Li-polymer аккумуляторов составляет около 3 часов. При этом аккумулятор во время заряда остается прохладным. Основные характеристики заряда АБ с коксовым и графитовым электродами приведены в табл. 3 и рис. 2 [20].

Более высокое значение порога напряжения обеспечивает большее значение емкости. На величину напряжения заряда влияет температура аккумулятора, поэтому его устанавливают достаточно низким для того, чтобы допустить повышенную температуру при заряде.

Зарядное устройство Li-ion АБ подобно зарядному устройству для свинцово-кислотных и щелочных аккумуляторов. Основное различие в уровне напряжения

заряда: для Li-ion аккумуляторов номинальное напряжение элемента 3,6 В, у свинцово-кислотных – 2,2 В, щелочных – 1,5...1,6 В.

Фактическая емкость аккумулятора

Обычно номинальная расчетная емкость свинцового или щелочного аккумулятора выбирается исходя из условий эксплуатации с учетом десятичасового режима резервирования ($t_p = 10$ ч):

$$C_p = \frac{I_p t_p}{K_c p [1 + K_t (t - 25^\circ)]} \quad (1)$$

где $I_p t_p$ – фактическая разрядная емкость аккумулятора, А·ч; K_c – коэффициент старения аккумулятора, для устройств СЦБ и связи $K_c = 0,85$; p – коэффициент интенсивности разряда, который показывает какую часть от номинальной емкости аккумулятора можно получить в данном режиме разряда [1, 2]. Его величина зависит от времени разряда батареи током основного резервирования; K_t – температурный коэффициент емкости, для аккумуляторов типа С, СК $K_t = 0,008$, СН – $K_t = 0,007$, АБН – $K_t = 0,01$; щелочных – $K_t = 0,005$; t – температура электролита во время разряда, принимается для помещений $t = 15^\circ \text{C}$.

Емкость таких аккумуляторов с повышением интенсивности разряда и снижением температуры электролита снижается.

В литий-ионных аккумуляторах, как правило, расчетная длительность разряда составляет $t_p = 20$ ч, если не указано другое значение в спецификации. И, например, при номинальной емкости $C_{ном} = I_p t_p = 200$ А·ч в течении $t_p = 20$ ч аккумулятор сможет отдавать ток $I_p = 20$ А. Однако зависимость между током разряда и длительностью нелинейная, и чем больше нагрузка АБ, тем меньше время его разря-

да, поскольку ток в нем протекает за счет ионной проводимости.

Соотношение между током разряда I_p и длительностью разряда t_p литий-ионной АБ может быть описано выражением:

$$C_p = I_p^n t_p \quad (2)$$

где C_p – номинальная емкость аккумулятора или емкость Пекерта, А·ч; n – экспонента Пекерта, $n > 1$ [21].

Поскольку принимается, что $C_p = \text{const}$, то справедливым будет выражение:

$$C_p = I_{p1}^n t_{p1} = I_{p2}^n t_{p2} \quad (3)$$

Таблица 3

Сравнительные зарядные характеристики литий-ионных аккумуляторов

Параметры	Тип электродов		
	коксосо-вые	графитовые-1	графитовые-2
Максимальное напряжение заряда, В	4,2	4,1	4,2
Конечное напряжение заряда, В	2,5	3,0	2,5
Ток заряда	0,2С	0,2... 0,5С	0,2... 0,5С

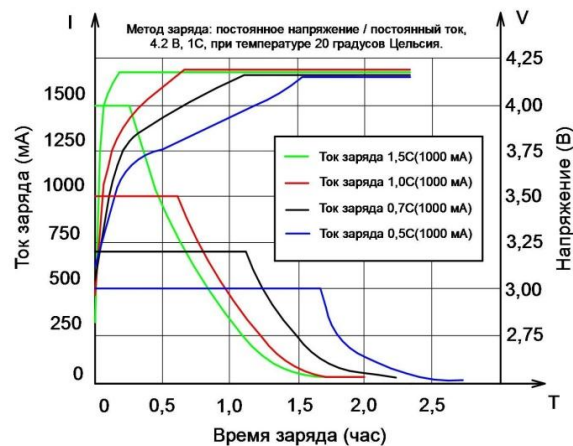


Рис. 2. Характеристики быстрого заряда Li-ion (Li-polymer) аккумуляторов

Преобразовав выражение (3), получим:

$$\frac{I_{p1}^n}{I_{p2}^n} = \left(\frac{I_{p1}}{I_{p2}} \right)^n = \frac{t_{p2}}{t_{p1}},$$
$$n = \frac{\ln \left(\frac{t_{p2}}{t_{p1}} \right)}{\ln \left(\frac{I_{p1}}{I_{p2}} \right)} = \log_{\left(\frac{I_{p1}}{I_{p2}} \right)} \left(\frac{t_{p2}}{t_{p1}} \right), \quad (4)$$

Чем больше n , тем меньше способность аккумулятора отдавать полную емкость при повышенной нагрузке.

Таким образом, становится возможным рассчитать действительное время разряда аккумулятора при известной нагрузке и номинальной емкости АБ:

$$t_p = \frac{C_p}{I_p^n}. \quad (5)$$

Источники электропитания переносных радиостанций

В настоящее время на железнодорожном транспорте применяется множество переносных радиостанций отечественного и зарубежного производства. Например «Транспорт-НБ», «Транспорт РН-02» и др. в которых используются малогабаритные аккумуляторные батареи 10КВМ, АКБ-04 емкостью 0,5 А·ч и напряжением 12 В и 7,1 В соответственно. В комплект радиостанций входят и зарядные устройства, которые содержат низкочастотные трансформаторы 220 В 50 Гц, стабилизаторы тока на стабилитронах и транзисторах.

Предлагается модернизировать существующие переносные радиостанции за счет применения современных литий-ионных аккумуляторов и зарядных устройств на микроконтроллерах, что позволит уменьшить длительность заряда АБ переносных радиостанций и увеличить время между зарядами. Это в свою очередь позволит продлить срок службы существующих образцов переносных радиостанций.

Наибольшее распространение получили Li-Ion аккумуляторы, для заряда которых требуется напряжение 4,1...4,2 В. Выбор напряжения на выходе микроконтроллера VOUT обеспечивают микросхемы серии SC801, SC802(A), SC803; а SC805 и SC806 – 4,2 В. Для выбора величины выходного напряжения SC801...SC803 служит вход VPRGM: для VOUT = 4,1 В на вход VPRGM необходимо подать низкий логический уровень (подключить к общему проводу), для VOUT = 4,2 В вход VPRGM подключить к высокому логическому уровню (вход подачи питания от внешнего источника VCC ; для SC801 – к выходу CP).

Промышленностью выпускаются также аккумуляторы, для заряда которых требуется напряжение, отличное от рассмотренных. Контроллеры SC801...SC804 предоставляют возможность установить произвольное напряжение на выходе в пределах от 3,4 до 6 В с помощью резистивного делителя в цепи обратной связи. Схема зарядного устройства а микроконтроллерах приведены на рис. 3 [19, 20].

Основные режимы работы контроллеров заряда серии SC80x – заряд малым током, быстрый заряд, прекращение заряда, режим слежения за напряжением на аккумуляторе, режим линейного стабилизатора с малым падением напряжения (кроме SC804(A)), отключение устройства.

В начале процесса заряда контроллер работает как источник постоянного тока. Величина зарядного тока задается резистором RPRGM, подключаемым к выводу IPRGM (см. рис. 3). Напряжение на АБ при этом нарастает. После достижения номинального напряжения (4,1 В, 4,2 В или установленное в соответствии с документацией) контроллер автоматически переходит в режим заряда при постоянном напряжении, а ток начинает уменьшаться. Порог окончания заряда определяется по снижению тока через аккумулятор величиной резистора RTERM на выводе ITERM.

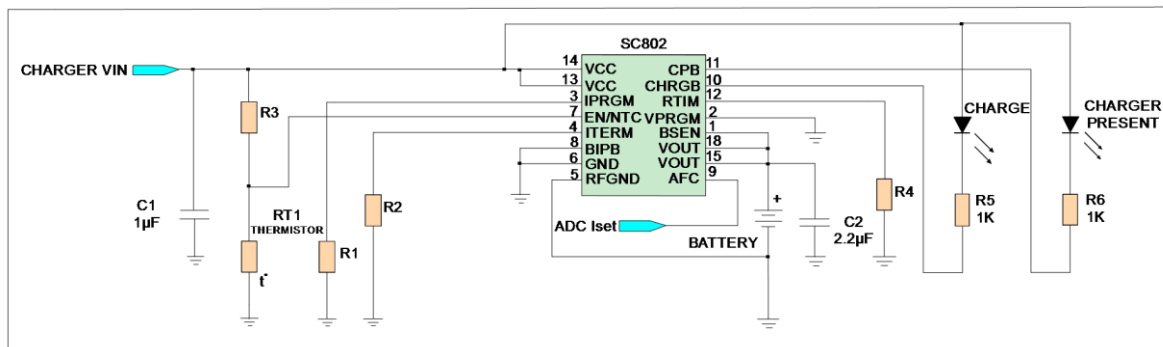


Рис. 3. Типовая схема включения контроллера заряда литиевой аккумуляторной батареи

Функцию аналогового регулирования тока заряда поддерживают контроллеры SC802, SC802A, SC804 и SC804A. Для управления величиной тока заряда служит вход AFC. Величина напряжения, подаваемого на него от ЦАП или микроконтроллера с аналоговым выходом, пропорциональна выходному току: $I_{AFC} = (V_{AFC}/R_{PRGM}) Q1000$ или $I_{AFC} = (V_{AFC}/R_{PRGM}) Q1000 - 0,3Q_{I\text{TERM}}$ – для SC802A [19, 20].

Выводы

Главным преимуществом литиевых аккумуляторов является их неприхотливость и простота в обслуживании, так как они имеют низкий саморазряд и у них полностью отсутствует «эффект памяти». Однако следует учитывать, что при неправильной эксплуатации таких аккумуляторов может произойти их возгорание или взрыв. Для обеспечения безопасности Li-Ion-аккумуляторов необходимо исключить возможность короткого замыкания; нельзя допускать перегрев; запрещается использовать Li-Ion-аккумулятор с поврежденным корпусом.

Внедрение литий-ионных аккумуляторов нового поколения разрядной в устройствах СЦБ емкостью 100...360 А·ч позволит сократить размеры и массу АБ в 5...10 раз, высвободить помещения, а также исключить вредные условия труда, возникающие при уходе за свинцовыми и щелочными АБ. При этом увеличивается срок

службы батарей с 7...10 до 20...25 лет, улучшается экономия денежных средств, исходя из расхода на периодические замены и утилизацию свинцовых АБ. Так, экономия денежных средств при эксплуатации литий-ионных аккумуляторов за 20 лет составит не менее 350 %.

Наиболее перспективным аналогом свинцово-кислотных батарей АБН являются аккумуляторы типа SLPB (Superior Lithium Polymer Battery) Кореянской компании КОКАМ, которые имеют более широкий ряд номиналов емкостей (65, 70, 75, 80, 100, 200, 240 Ач) в отличие от российского аналога, выпускаемого ООО «АККУ-ФЕРТРИБ». Преимуществами для применения литийникельмарганцевокобальтовых батарей перед железофосфатными литий-ионными аккумуляторами являются меньшие габариты и масса, возможность отдавать большие токи при разряде и обеспечение требуемой ёмкости.

В устройствах железнодорожной связи предлагается модернизировать существующие переносные радиостанции за счет применения современных литий-ионных аккумуляторов и зарядных устройств на микроконтроллерах, что позволит уменьшить длительность заряда АБ переносных радиостанций и увеличить время между зарядами.

Библиографический список

1. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] / Вл. В. Сапожников, Н. П. Ковалев,

- В. А. Кононов, А. М. Костроминов // под ред. Сапожникова Вл. В. – М.: Маршрут, 2005. – 453 с.
2. Гаврилюк, В. І. Електроживлення систем автоматики, телемеханіки та зв'язку [Текст]: монографія / В. І. Гаврилюк, В. Г. Сиченко, Т. М. Сердюк. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2016. – 193 с.
 3. Сердюк, Т. Н. Применение аккумуляторов на постах электрической централизации, переездах и батарейных шкафах входных светофоров [Текст] / Т. Н. Сердюк, А. Р. Олейник // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2016. – Ном. 11. – Днепропетровск: Изд-во ДНУЖТ, 2016. – С. 24–34.
 4. Профатиллов, В. И. Особенности эксплуатации современных аккумуляторов и батарей [Текст] / В. И. Профатиллов, Т. Н. Сердюк // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2014. – Ном. 7. – Днепропетровск: Изд-во ДНУЖТ, 2014. – С. 70–81.
 5. Беляев, С. Современные Li-ion аккумуляторы. Типы и конструкция [Текст] / С. Беляев, С. Румянцев, А. Рыкованов // Компоненты и технологии. – 2013. – № 11. – http://www.kite.ru/preview/pre_111_11_13_Liion_in_action.php
 6. Lightweight. Battery systems using metallic Lithium are known to offer the highest specific energy. [Электронный ресурс] / OXISENERGY:Technology. – Режим доступа: <https://oxisenergy.com/technology/>
 7. Типы литий-ионных аккумуляторов (Li-ion) [Электронный ресурс] / Best Energy. Системы электропитания: проектирование-продажа-установка. Режим доступа: <https://best-energy.com.ua/support/battery/bu-205#battery-bu-205-010>
 8. Промышленные литий-ионные аккумуляторы LionTec GmbH (Германия) [Электронный ресурс] / «Онлайн-Лайн»– коммуникация и системы связи под ключ. – Режим доступа: <http://www.onx-line.ru/catalog/electric-feeding/accum-list/liontec/>
 9. Татарников, О. Современные аккумуляторы [Электронный ресурс] / О. Татарников. – Режим доступа: <http://compress.ru/article.aspx?id=16846>
 10. Вихарев, Л. И вновь о правильном питании, или некоторые особенности эксплуатации литиевых батарей [Электронный ресурс] / Л. Вихарев. Компоненты и технологии/ – 2006. – № 4. Режим доступа: http://www.kite.ru/articles/powersource/2006_4_160.php
 11. Wayside and on-board storage can capture more regenerated energy [Электронный ресурс] / Railway Gazette. – 20.07.2007. Режим доступа: <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/wayside-and-on-board-storage-can-capture-more-regenerated-energy.html>
 12. East Japan Railway Company, Ome Line Haijima substation Commencement of operation of a system using lithium-ion batteries for the storage of regenerative power (the wayside B-CHOP system) [Электронный ресурс] / Hitachi Railway Systems Website. – 20.02.2013. Режим доступа: <http://www.hitachirail.com/topics/2013/130220.html>
 13. Бейбулатова, С. И. Необслуживаемые аккумуляторы для железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст] / С. И. Бейбулатова, Д. И. Селиверов // Молодой ученый. – 2012. – № 3. – С. 29-31.
 14. КОКАМ Li-ion/Polymer Cell: Superior Lithium Polymer Battery (SLPB) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kokam.com/wp-content/uploads/2016/03/SLPB-Cell-Brochure.pdf>
 15. Промышленные аккумуляторы для всех областей применения. Литий-ионные аккумуляторы серии 167 с ВОС) [Электронный ресурс] / АККУ-ФЕРТРИБ. Режим доступа: <http://www.akkuvertrieb.ru/products/litium/battery/167/>
 16. Gavrilyuk, V. I. IR spectra of inclusion compounds in the Li-V2O5 system. // Inorganic materials. – 1997. – Vol. 33. – Iss. 11. –P. 1142-1143.
 17. Gavrilyuk, V. I. Thermodynamics of lithium intercalation in glassy vanadium pentoxide // Technical Physics. – 1997. – Vol. 42. – Iss. 1. –P. 121-123.
 18. Khandetskii, V. S. Study of physical models of a monolayer of a fiber composite by the eddy-current method / V. S. Khandetskii, V. I. Gavrilyuk, P. V. Khandetskii // Russian

- Journal of Nondestructive Testing. –1999. – Vol. 35. – Iss. 9. –Р. 661-668.
19. Заряжая энергией будущее [Электронный ресурс] / Никель, Т. 32, № 1, май, 2017. – Режим доступа: https://www.nickelinstitute.org/~media/Files/Magazine/Volume32/Vol32-1/NickelVol32No1May2017_RUS_FB.ashx.
 20. Заряд литий-ионных (Li-ion) аккумуляторов [Электронный ресурс] / ООО «Электроком». – 2016. – Режим доступа: <http://www.xn--e1akabikbnr0i.xn--p1ai/statii%20zaryad%20li-ion.html>.
 21. Спицын, Д. Расчет реальной емкости аккумулятора в зависимости от нагрузки [Электронный ресурс] / Д. Спицын. – 2010. – Режим доступа: <http://sdisle.com/battery/peukert.html>.

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.

Рецензенти:
проф., д.т.н., А. Б. Бойник,
проф., д.т.н., А. М. Муха.

Поступила в редколлегию 15.11.2017.
Принята к печати 27.11.2017.