

с. 3 Надежные и долговечные:

литиевые источники тока от EEMB и EVE

с. 20 Заряд от -30°C, работа от -60°C:

уникальные АКБ от SAFT

с. 33 Консолидированная энергия:

сборки химических источников тока

Химические источники тока



№4 (150), 2016 г.

Информационно-технический
журнал

Учредитель – ООО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-43993

Редактор:

Геннадий Каневский
vesti@compel.ru

Выпускающий редактор:
Снежана Холодова

Редакционная коллегия:

Андрей Агеноров
Евгений Звонарев
Александр Маргелов
Николай Паничкин
Борис Рудяк

Дизайн, графика, верстка:

Елена Георгадзе
Екатерина Беляева
Евгений Торочков

**Е-mail-рассылка
и продвижение:**

Снежана Холодова
Нина Вершинина
Александра Гирина

Электронная подписка:
www.compel.ru/mail

Распространяется бесплатно
в электронном виде

Подписано к публикации:
28 апреля 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

■ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

● ХИТ от EEMB и EVE: источники питания на любой вкус <i>Вячеслав Гавриков</i>	3
● Литий-железофосфатные АКБ EEMB: достаточно в два раза меньшей емкости <i>Александр Калачев, Иван Калюжный</i>	11
● Питание для холодного климата: морозостойкие литий-полимерные АКБ от EEMB <i>Александр Донцов</i>	17
● Заряд от -30°C, работа от -60°C – это аккумуляторы SAFT <i>Вячеслав Гавриков</i>	20
● Литиевые химические источники тока: некоторые особенности применения <i>Сергей Миронов</i>	27
● Консолидированная энергия: сборки химических источников тока <i>Евгения Савоськина, Сергей Холуев</i>	33



**СКОРО: ВЫПУСК ЖУРНАЛА, ПОСВЯЩЕННЫЙ РЕШЕНИЯМ КОМПАНИИ
TEXAS INSTRUMENTS ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ**

Если вы хотите предложить интересную тему для статьи в следующий номер журнала – пишите на адрес vesti@compel.ru с пометкой «Тема в номер» или в рубрику «Я – автор» раздела «Разработчикам» сайта www.compel.ru.

ОТ РЕДАКТОРА



Уважаемые читатели!

Я бы очень удивился одиннадцать лет назад, когда мы начинали издавать журнал «Новости электроники», если бы мне сказали, что когда-либо выйдет номер, целиком посвященный химическим источникам тока. То есть, говоря привычным языком, элементам питания. То есть, — еще проще, — батарейкам. Вы и сами чувствуете, наверное, как разные названия этих изделий в различных пластах языка как бы маскируют некоторую неловкость, укоренившуюся в обывательском отношении к предмету разговора. «Подумаешь, батарейки...»

Меж тем, эволюция, происходящая с элементами питания на наших глазах, удивительна. Двадцать лет назад они воспринимались, в основном, как источник энергии для портативных мультимедийных устройств, движущихся моделей и игрушек, чему немало способствовал рекламный образ батарейки в плюшевом зайце розового цвета с барбаном наперевес. Переносные лабораторные приборы, питающиеся от портативных аккумуляторов, присутствовали, скорее, на периферии сознания. Первый всплеск неподдельного интереса к материалам для изготовления элементов питания был связан с лавинообразным распространением портативных устройств связи и планшетных компьютеров. Емкость аккумулятора, способность долго держать заряд, количество возможных циклов перезаряда,

способность работать и перезаряжаться при отрицательных температурах окружающей среды неожиданно стали очень важны. Это совпало с началом активного производства ведущими мировыми компаниями литий-ионных и литий-полимерных элементов питания.

Казалось бы, сейчас бум первичного приобретения новых гаджетов схлынул, а их плановая замена не должна способствовать лавинообразному росту спроса. Но возник еще один повод для разработки более энергоемких и устойчивых к перепадам температур элементов питания. И повод этот называется «Интернетом вещей».

Идеи об обмене информацией по беспроводному каналу между датчиками и исполнительными устройствами без участия человека, что должно обеспечить их длительную автономную работу и способно во много раз повысить производительность системы, построенной на этом принципе, впервые начала воплощаться в жизнь в начале 2000-х. Сегодня «Интернет вещей» присутствует во многих сферах жизни, от «умного дома» и беспроводных сетей, объединяющих счетчики расходовемых ресурсов, — электроэнергии, воды и газа, — до объединенного в линии лабораторного и промышленного оборудования. Но, согласитесь, странно было бы подключать к датчикам и исполнительным модулям, разнесенным в пространстве, приемопередающие блоки для объединения их

в беспроводную сеть, и при этом продолжать питать их от электрической сети, постоянно контролируя и проверяя качество электропитания. Логичней использовать химические источники тока. Причем, поскольку потребление упомянутых устройств, в целом, невысоко, главные требования, предъявляемые к элементам питания для них — не столько энергоемкость, сколько стабильность и долговечность (до десятков лет) работы, постоянство зарядно-разрядных характеристик и способность работать без перебоев в жестких условиях окружающей среды. Последнее особенно важно для России с ее разнообразием климатических зон. Именно по этой причине в первом номере журнала «Новости электроники», целиком посвященном элементам питания, мы уделили особое внимание продукции, отвечающей жестким требованиям по стабильности и климатическим условиям. Это, в первую очередь, изделия компаний **SAFT**, **EEMB** и **EVE**.

Специалисты компании КОМПЭЛ готовы ответить на все ваши вопросы, связанные с приобретением и применением химических источников тока.

С уважением,
Геннадий Каневский

Вячеслав Гавриков (г. Смоленск)

ХИТ ОТ EEMB И EVE: ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ НА ЛЮБОЙ ВКУС



Последние два десятилетия прошли на фоне лавинообразного развития и распространения беспроводных технологий. Связь, автотранспорт, промышленная автоматизация — сложно найти такую область, в которой инженеры не предпринимали бы успешных попыток освободиться от надоевших кабелей и жгутов. Это стало возможным благодаря происходящей параллельно революции автономных источников питания. Яркий пример этого — **химические источники тока (ХИТ)**. Современные производители ХИТ — компании **EEMB** и **EVE** предлагают разработчикам богатейший выбор элементов питания для самых разнообразных задач.

Существует огромное количество самых разнообразных устройств и систем, использующих батарейное или аккумуляторное питание. Смартфоны и планшеты, датчики и портативные глюкометры, «умные часы» и квадрокоптеры — все это результаты развития малопотребляющей электроники, беспроводных технологий и, конечно, элементов питания.

Аккумуляторы и батарейки — это химические источники тока (ХИТ), которые преобразуют энергию химических реакций непосредственно в электрическую энергию. Именно они и обеспечили такое значительное распространение портативных приборов.

ХИТ отличаются от других источников питания (солнечных батарей, вибро-, теплогенераторов и так далее) высокой эффективностью, низкой стоимостью и малыми габаритами. При этом среди ХИТ особенно выделяются литиевые элементы, которые обладают наиболее выдающимися характеристиками.

К сожалению, не существует идеальной батарейки или аккумулятора. Это приводит к тому, что разработчику приходится искать компромисс и определять, какие качества элемента питания наиболее важны. Например, для автономных датчиков зачастую не требуется высоких значений тока, а более критичными становятся величина емкости батарейки и минимальная пассивация. Для портативных кассовых аппаратов важной будет возможность обеспечения значительных токов.

В итоге, чем шире выбор элементов питания, тем больше вероятность найти тот, который станет наиболее подходящим. Лидеры отрасли — компании

EEMB и EVE — предлагают разработчикам широкий спектр литиевых ХИТ для самых различных приложений.

Номенклатура компаний включает несколько основных групп элементов питания (рисунок 1). Во-первых, они делятся на гальванические элементы (первичные источники питания), в народе именуемые «батарейками», и аккумуляторы (вторичные источники питания).

Во-вторых, каждая из групп включает представителей с различными типами используемых химических реакций. Наиболее распространенные электрохимические системы — Li-SOCl₂, Li-MnO₂ и другие.

В-третьих, внутри каждой группы есть представители с различными типо-

размерами и базовыми электрическими характеристиками: емкостью, током и прочим.

Чтобы сделать оптимальный выбор элемента питания, необходимо ориентироваться не только на основные базовые электрические и массогабаритные параметры, но и на тип элемента, его особенности и конструкцию. Рассмотрим некоторые особенности гальванических элементов, а также проведем обзор ХИТ производства компаний EEMB и EVE.

Особенности литиевых элементов питания

Каждое приложение выдвигает свои требования к характеристикам ХИТ. Иногда недостаточно выбрать элемент питания исходя только из электрических характеристик: емкости, тока разряда, номинального напряжения. На что еще стоит обратить внимание?

Конечно же, поиск начинается с выбора типа элемента питания — гальванического элемента или аккумулятора. Гальванические элементы не допускают заряда. После того как батарейка выработала свой ресурс, ее остается только утилизировать. Этот недостаток отчасти компенсируется высокой емкостью гальванических элементов. Кроме того,



Рис. 1. Разнообразие ХИТ на примере номенклатуры компании EEMB

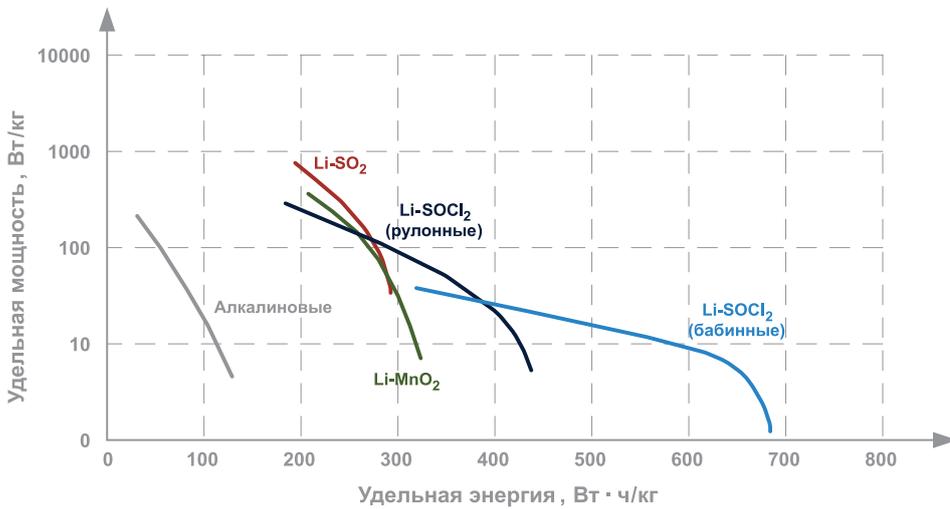


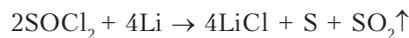
Рис. 2. Энергетические характеристики гальванических элементов

они могут быть использованы в тех приложениях, где смена элемента питания и вовсе не предусмотрена. Аккумуляторы могут быть многократно заряжены и разряжены. Однако они имеют меньшую удельную емкость и разрядный ток, по сравнению с батарейками, а также более высокую стоимость.

Если для приложения будет достаточно гальванического элемента — далее следует определиться с его химической системой. Наиболее распространенные электрохимические системы — литий-тионилхлоридные батареи (Li-SOCl₂) с напряжением 3,6 В и литий-диоксидмарганцевые батареи (Li-MnO₂) с напряжениями 3,0 В.

Неопытный разработчик может предположить, что эти группы элементов отличаются только лишь типом химической реакции и номинальным напряжением. Однако это не так, существуют и более глубокие принципиальные отличия.

Литий-тионилхлоридные батареи (Li-SOCl₂) используют тионилхлорид SOCl₂ в качестве жидкого анода, а катодом и поставщиком электронов выступает литий. Суммарная химическая реакция имеет следующий вид:



Отличительными чертами таких гальванических элементов являются высокая емкость и номинальное напряжение 3,6 В. Именно литий-тионилхлоридные батареи имеют максимальную удельную энергию (рисунок 2). По этому показателю они превосходят все остальные литиевые элементы и оставляют позади щелочные и алкалиновые батареи.

Здесь стоит обратить особое внимание на конструкцию гальванического элемента, которая бывает двух типов: бобинная и рулонная.

Бобинная конструкция предполагает однослойную систему, в которой литиевый катод расположен снаружи, а анод — внутри. При использовании такой конструкции удается минимизировать токи утечки и увеличить срок службы до нескольких лет. Платой за это становится невысокое значение максимального выходного тока.

Еще одним достоинством бобинных элементов становится меньшее влияние пассивации, о котором отдельно будет сказано ниже.

В целом такие элементы логично использовать для малопотребляющих

устройств с импульсными токами до нескольких сот миллиампер, например, для автономных датчиков, компактных измерительных приборов и тому подобных приложений.

Рулонные гальванические элементы, как следует из названия, отличаются тем, что анод и катод свернуты в рулон. Площадь их соприкосновения оказывается значительной, что обеспечивает высокие значения допустимых токов разряда.

Благодаря высокой удельной мощности рулонные компоненты представляют собой компактные и малогабаритные элементы питания. Их основной областью применения стали мощные приложения с токами до десятков ампер.

Интересной особенностью литий-тионилхлоридных батарей является их практически плоская разрядная характеристика (рисунок 3). Даже при разряде до 90% их выходное напряжение остается практически постоянным. Правда, затем наблюдается его значительное и быстрое падение. Такая характеристика потенциально больше подходит для измерительных приборов.

Как известно, любой линейный стабилизатор или источник опорного напряжения имеют зависимость выходного напряжения от входного (нестабильность по напряжению). Таким образом, падение напряжения элемента питания неизбежно окажет влияние на точность измерений. По этой причине литий-тионилхлоридные батареи — идеальный выбор для сверхточных измерительных и медицинских приборов.

К сожалению, кроме достоинств, у литий-тионилхлоридных батарей есть один недостаток, а именно — значительная склонность к пассивации.

Как известно, литий — это активный металл, который даже при отсутствии протекающего тока вступает в реакцию с окружающими веществами. При этом образуется пассивирующая пленка на границе раздела активных элементов. С одной стороны, она препятствует саморазряду гальванического элемента, а с другой — приводит к тому, что при протекании тока на этой границе появляется повышенное падение напряжения. В конечном счете, это наблюдается в виде просадки напряжения на клеммах батареи. Просадка может оказаться столь значительной, что электроника иногда попросту выключается (или не включается вовсе).

Толщина пленки зависит от того, как долго элемент питания хранился без нагрузки, и какова была температура хранения. Чем выше температура и чем дольше батарейка пылилась на полке магазина, тем толще пленка и тем существеннее просадка напряжения.

Вместо этого предполагается пропускание повышенных разрядных токов.

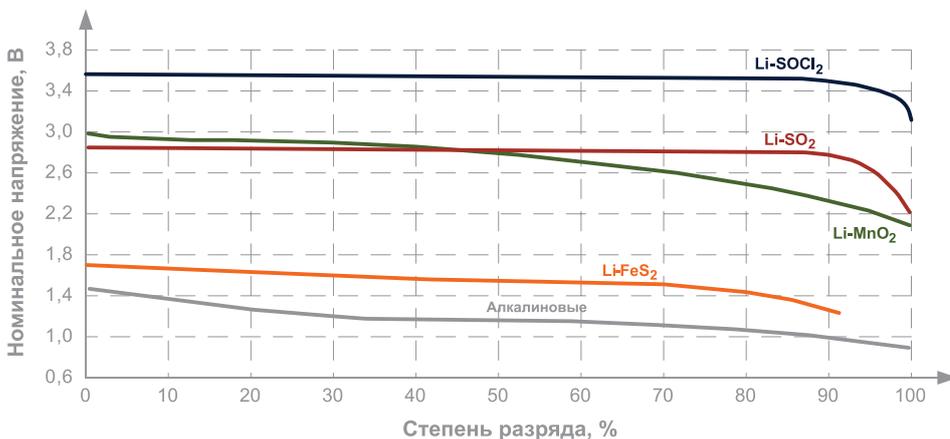


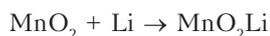
Рис. 3. Разрядные кривые различных гальванических элементов (батареек)

Величина тока активации отличается для различных моделей. За конкретными значениями следует обращаться к производителю.

Стоит заметить, что иногда бывает слишком поздно и пассивирующий слой оказывается чересчур толстым. Впрочем в случае использования продукции современных производителей, таких как EEMB и EVE, а также при разумных сроках хранения такая ситуация является скорее чисто гипотетической.

Литий-диоксидмарганцевые батареи (Li-MnO₂) отличаются номинальным напряжением 3,0 В, высокой надежностью и минимальным саморазрядом.

Этот тип ХИТ использует твердый анод, а общая химическая реакция для него имеет вид:



Литий-диоксидмарганцевые батареи, использующие рулонную конструкцию, близки по энергоемкости к литий-тионилхлоридным батареям (рисунок 2). Однако их разрядная харак-

теристика имеет наклон, то есть в процессе разряда напряжение на батарее постоянно снижается без резких обрывов (рисунок 3). С одной стороны, это не очень хорошо, а с другой – по напряжению таких батарей легко судить о степени их разряда.

Исторически эти элементы появились одними из первых и до сих пор остаются востребованными на рынке.

Литий-тионилхлоридные батареи от EEMB

Компания EEMB предлагает рулонные и бобинные литий-тионилхлоридные батареи (рисунок 4) трех основных групп: батареи повышенной емкости (*Energy Type*), с высоким выходным током (*High Power Type*), с расширенным температурным диапазоном (*High Temperature Type*).

Семейство литий-тионилхлоридных батарей повышенной емкости (Energy Type) – цилиндрические элементы питания бобинной конструкции с номинальным напряжением 3,6 В (таблица 1). Данная группа объединяет элементы вы-



Рис. 4. Литий-тионилхлоридные батареи EEMB

сокой емкости и относительно низких номинальных токов разряда (до 2 мА). Их ключевыми особенностями являются:

- широкий диапазон рабочих температур: -55...85°C;
- практически плоская разрядная характеристика;
- минимальные токи утечки: потеря заряда менее 1% в год;

Таблица 1. Литий-тионилхлоридные батареи EEMB повышенной емкости

Наименование	Типоразмер	Uном, В	Сном, мАч	Iном, мА	Iмакс, мА		Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
					Пост.	Имп.			
ER10250	–	3,6	400	0,5	5	10	10,4	25	4
ER10450	AAA	3,6	800	0,5	25	60	10,4	45	9
ER13150	–	3,6	450	0,5	10	20	13,5	15	7
ER13170	–	3,6	500	0,5	10	20	13,5	17	7
ER14250	1/2AA	3,6	1200	0,5	40	80	14,5	25,8	10
ER14335	2/3AA	3,6	1650	1,3	50	100	14,5	33,5	13
ER14505	AA	3,6	2400	2	100	150	14,5	50,5	20
ER17335	2/3A	3,6	2100	2	100	200	17	33,5	20
ER17505	A	3,6	3400	3	120	200	17	50,5	24
ER18505	–	3,6	4000	2	120	200	18,7	50,5	30
ER20505	C	3,6	4400	3	120	250	20	50,5	35
ER26500	C	3,6	9000	2	200	400	26,2	50	53
ER34615	D	3,6	19000	2	230	500	34	61,5	115
ER341245	DD	3,6	36000	2	420	500	34	124,5	200
ER9V	–	10,8	1200	0,5	40	80	17,7x26,8x49,3		40

Таблица 2. Литий-тионилхлоридные батареи EEMB с высокими разрядными токами

Наименование	Типоразмер	Uном, В	Сном, мАч	Iном, мА	Iмакс, мА		Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
					Пост.	Имп.			
ER14250M	1/2AA	3,6	750	4	120	250	14,5	25,2	11
ER14335M	2/3AA	3,6	1200	4	300	500	14,5	33,5	13
ER14505M	AA	3,6	1800	10	500	1000	14,5	50,5	22
ER17335M	2/3A	3,6	1700	10	500	1000	17	33,5	21
ER18505M	A	3,6	3200	10	1000	2000	18,8	50,5	30
ER20505M	–	3,6	3600	10	1000	2000	20,2	50,5	35
ER26500M	C	3,6	6500	10	1000	2000	26,2	50	57
ER34615M	D	3,6	14000	10	2000	3000	34,2	61,5	118

Таблица 3. Литий-тионилхлоридные батареи с расширенным температурным диапазоном

Наименование	Типоразмер	Uном, В	Сном, мАч	Iном, мА	I макс, мА		Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
					Пост.	Имп.			
ER14250S	1/2AA	3,6	600	50	50	100	14,65	25,2	10
ER14505S	AA	3,6	1800	50	100	200	14,65	50,5	20
ER17335S	2/3A	3,6	1200	—	80	—	17	35	19
ER26500S	C	3,6	5500	50	150	300	26,2	50	55
ER34615S	D	3,6	12000	100	170	350	33,2	61,5	108
ER341245S	DD	3,6	25000	200	400	800	33,2	124,5,5	220

Таблица 4. Режимы активации литий-тионилхлоридных батарей EEMB

Наименование	Параметры активации, мА/Ω	Время хранения и время активации		
		Хранение 3 месяца, мин	Хранение 6 месяцев, мин	Хранение 12 месяцев, мин
ER14250	10/330	10	20	35
ER14335	15/220	10	20	35
ER14505	20/165	10	20	35
ER17335	20/165	10	20	35
ER18505	33/100	10	20	35
ER26500	60/56	10	20	35
ER34615	60/56	10	20	35
ER341245	100/33	10	20	35
ER14250M	60/56	10	15	30
ER14335M	60/56	10	15	30
ER14505M	100/33	10	15	30
ER17335M	100/33	10	15	30
ER18505M	100/33	10	25	35
ER26500M	150/22	10	25	35
ER34615M	150/22	10	25	35

Таблица 5. Литий-тионилхлоридные батареи повышенной емкости бобинной конструкции производства компании EVE

Наименование	Типоразмер	Uном, В	Сном, мА·ч	I макс, мА		Траб, °С	Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
				Пост.	Имп.				
ER14250	1/2AA	3,6	1200	15	50	-60...85	14,5	25,4	10
ER14335	2/3AA	3,6	1650	75	150		14,5	33,5	12
ER14505	AA	3,6	2700	40	150		14,5	50,5	19
ER17505	A	3,6	3600	130	180		17,5	50,5	26
ER18505	A	3,6	4000	130	180		18,7	50,5	28
ER26500	C	3,6	8500	150	300		26,2	50	52
ER34615	D	3,6	19000	230	400		33,1	61,5	100
ER341245	DD	3,6	35000	420	500		33,1	124,5	195

Таблица 6. Литий-тионилхлоридные батареи EVE повышенной емкости рулонной конструкции

Наименование	Типоразмер	Uном, В	Сном, мА·ч	I макс, мА		Траб, °С	Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
				Пост.	Имп.				
ER14250V	1/2AA	3,6	1200	15	50	-60...85	14,5	25,4	10
ER14250E	1/2AA	3,6	1000	15	50		14,5	25,4	10
ER14505V	AA	3,6	2600	150	150		14,5	50,5	19
ER14505E	AA	3,6	2400	450	150		14,5	50,5	19

Таблица 7. Литий-тионилхлоридные батареи EVE с высоким выходным током

Наименование	Типоразмер	Uном, В	Сном, мА·ч	I макс, мА		Траб, °С	Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
				Пост.	Имп.				
ER14250M	1/2AA	3,6	750	100	250	-60...85	14,5	25,4	10
ER14335M	2/3AA	3,6	1300	200	500		14,5	33,5	15
ER14505M	AA	3,6	2000	400	1000		14,5	50,7	21
ER17505M	A	3,6	2800	1000	2000		17,5	50,5	29
ER18505M	A	3,6	3500	1000	2000		18,7	50,5	33
ER26500M	C	3,6	6000	1000	2000		26,2	50	55
ER34615M	D	3,6	13000	2000	4000		33,1	61,5	110

Таблица 8. Литий-тионилхлоридные батареи EVE с расширенным температурным диапазоном

Наименование	Типоразмер	Uном, В	Сном, мА·ч	Траб, °С	Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
ER14250S	1/2AA	3,6	800	-40...145	14,7	25,4	10
ER14505S	AA	3,6	1600		14,7	50,5	19
ER26500S	C	3,6	6000		26,9	50	52
ER34615S	D	3,6	13000		33,9	61,5	100

- срок хранения: до 15 лет.

Очевидно, что данное семейство наиболее подходит для автономных устройств с минимальным потреблением: систем сигнализации, автономных датчиков, приборов учета и так далее.

Семейство литий-тионилхлоридных батарей с высокими разрядными токами (High Power Type) — цилиндрические гальванические элементы с рулонной структурой. Имеют те же особенности, что и предыдущая группа: широкий температурный диапазон, стабильную разрядную характеристику, срок хранения до 15 лет. Кроме того, благодаря рулонной структуре номинальный и импульсный ток этих элементов в несколько раз выше (таблица 2).

Литий-тионилхлоридные батареи подходят для устройств с низким номинальным потреблением, но с возможными периодическими импульсами токов до нескольких ампер: портативных касс, систем идентификации, логгеров данных и так далее.

Выбирая эти элементы, не стоит забывать о необходимости активации. Задачу в ряде случаев можно решить за счет использования дополнительных конденсаторов большой емкости.

Семейство литий-тионилхлоридных батарей с расширенным температурным диапазоном (High Temperature Type) — специализированные элементы питания с рабочими температурами до 150°C. Номинальные токи разряда этих батарей невелики — десятки и сотни миллиампер, при этом саморазряд не превышает 1%. Срок хранения — до 15 лет при комнатной температуре (таблица 3).

Основными приложениями данной группы элементов стали военная, авиа-

ционная, промышленная электроника и электроника для сферы нефте- и газодобычи.

Как уже говорилось выше, литий-тионилхлоридные батареи подвержены пассивации. Для нормальной работы после длительного хранения их необходимо активировать (таблица 4). Процедуры активации отличаются величиной тока и длительностью, которые определяются моделью элемента.

Литий-тионилхлоридные батареи EVE

Литий-тионилхлоридные батареи производства компании EVE включают четыре группы:

- батареи повышенной емкости бо-бинной конструкции (таблица 5);
- батареи повышенной емкости рулонной конструкции (таблица 6);
- батареи с высоким выходным током (таблица 7);

- батареи с расширенным температурным диапазоном (таблица 8).

Характеристики данных элементов питания очень близки к характеристикам продуктов производства EEMB. Главным принципиальным отличием является разница в диапазонах рабочих температур. Для продукции EVE нижняя граница несколько ниже и составляет -60°C. Однако группа элементов питания с расширенным диапазоном температур имеет меньшую верхнюю границу в 145°C.

Литий-диоксидмарганцевые гальванические элементы производства компаний EEMB и EVE

Исторически литий-диоксидмарганцевые элементы питания повелись одними из первых. Это было связано с тем, что именно они отличались наименьшей взрывоопасностью и стабильностью.



Литий-диоксидмарганцевые (Li-MnO₂) от EEMB



Литий-диоксидмарганцевые (Li-MnO₂) от компании EVE

Рис. 5. Литий-диоксидмарганцевые гальванические элементы производства компаний EEMB и EVE

Таблица 9. Семейство литий-диоксидмарганцевых батареек EEMB с повышенным током

Наименование	Типоразмер	Uном, В	Сном, мА·ч	Iном, мА	I макс, мА		Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
					Пост.	Имп.			
CR14250SL	1/2AA	3	600	1	500	1000	14,5	25	10
CR14335SL	2/3AA	3	900	1	800	1500	14,5	33,5	14
CR14505SL	AA	3	1500	1	1000	2000	14,5	50,5	21
CR2SL	—	3	800	1	800	1500	15,5	27	13
CR123ASL	—	3	1500	1	1500	3000	17	34,5	20
CR17335SL	2/3A	3	1500	1	1500	3000	17	34,5	20
CR17450SL	—	3	2200	1	1500	3000	17	45	26
CR17505SL	A	3	2500	1	1500	3000	17	50,5	30
CR18505SL	—	3	2800	1	1500	3000	18,5	50,5	35
CR26500SL	C	3	5000	10	2000	3000	26,2	50	62
CR34615SL	D	3	11000	10	2000	3000	34,2	61,5	125
2CR5SL	—	6	1500	1	1500	3000	34,0x17,0x45,0		43
CR-P2SL	—	6	1500	1	1500	3000	35,8x19,5x34,8		42
CR1/3N	1/3N	3	170	3	60	140	11,7	10,9	3
2CR1/3N	—	6	170	3	60	80	11,9	22	7

Таблица 10. Семейство литий-диоксидмарганцевых батареек EEMB увеличенной емкости

Наименование	Типоразмер	Uном, В	Сном, мА·ч	Iном, мА	I макс, мА		Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
					Пост.	Имп.			
CR10450BL	—	3	850	0,5	7	70	10	45	10
CR14250BL	1/2AA	3	900	1	7	70	14,5	25	11
CR14335BL	2/3AA	3	1100	0,5	8	80	14,5	33,5	16
CR14505BL	AA	3	1800	1	10	100	14,5	50,5	22
CR17335BL	2/3A	3	1800	1	10	100	17	34,5	22
CR17450BL	—	3	2400	1	15	150	17	45	28

Таблица 11. Семейство стандартных таблеточных литий-диоксидмарганцевых батареек производства компании EEMB

Наименование	Uном, В	Сном, мА·ч	Iном, мА	I макс, мА		Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
				Пост.	Имп.			
CR1220	3	40	0,2	1	5	12,5	2	0,8
CR1225	3	50	0,2	1	5	12,5	2,5	1
CR1616	3	50	0,1	2	10	16	1,6	1,2
CR1620	3	70	0,1	2	10	16	2	1,3
CR1632	3	120	0,1	2	10	16	3,2	1,6
CR2016	3	85	0,2	2	10	20	1,6	1,7
CR2025	3	150	0,4	3	15	20	2,5	2,4
CR2032	3	210	0,2	3	15	20	3,2	3
CR2330	3	250	0,4	3	20	23	3	4
CR2354	3	500	0,4	3	20	23	5,4	5,7
CR2430	3	270	0,4	3	20	24,5	3	4,3
CR2450	3	550	0,4	3	20	24,5	5	6,2
CR2477	3	1000	2	5	30	24,5	7,7	9,5
CR3032	3	500	0,4	5	25	30	3,2	6,8

В международной классификации в названии этих элементов присутствуют буквы CR.

Компании EEMB и EVE выпускают широкий спектр литий-диоксидмарганцевых

батареек с различными характеристиками и типоразмерами (рисунок 5).

Линейка компании EEMB включает три семейства литий-диоксидмарганцевых батареек:

- цилиндрические элементы с повышенным выходным током (*High Power Type*);
- цилиндрические элементы высокой емкости (*High Capacity Type*);

Таблица 12. Семейство таблеточных литий-диоксидмарганцевых батареек EEMB с повышенной рабочей температурой

Наименование	Uном, В	Сном, мА·ч	Iном, мА	I макс, мА		Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
				Пост.	Имп.			
CR2450S	3	550	0,2	3	20	24,5	5	6,8
CR2032S	3	210	0,2	3	15	20	3,2	3
CR1632S	3	110	0,1	2	10	16	3,2	2

Таблица 13. Семейство таблеточных литий-диоксидмарганцевых батареек EEMB для низких рабочих температур

Наименование	Uном, В	Сном, мА·ч	Iном, мА	I макс, мА		Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
				Пост.	Имп.			
CR2450L	3	580	0,4	3	20	24,5	5	6,8
CR2032L	3	210	0,2	3	15	20	3,2	3
CR1632L	3	120	0,2	2	10	16	3,2	2

Таблица 14. Семейство литий-диоксидмарганцевых батареек EEMB высокой емкости

Наименование	Uном, В	Сном, мА·ч	Iном, мА	I макс, мА		Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
				Пост.	Имп.			
CR2450H	3	600	0,4	3	20	24,5	5	6,5
CR2032H	3	230	0,2	3	15	20	3,2	3

• таблеточные элементы питания трех групп (стандарт, с повышенной рабочей температурой, с низкой рабочей температурой, высокой емкости).

Семейство литий-диоксидмарганцевых батареек с повышенным током производства компании EEMB отличается способностью обеспечивать кратковременные импульсы до нескольких ампер. Элементы способны работать в диапазоне температур -40...85°C (таблица 9).

Как говорилось выше, разрядная характеристика этих элементов достаточно пологая. Основными приложениями этой группы элементов стали автоматические камеры, радиоприемники, фонарики, электрические замки и так далее.

Семейство литий-диоксидмарганцевых батареек увеличенной емкости производства компании EEMB (таблица 10) по сравнению с предыдущей группой имеет меньшие значения номинальных и импульсных токов (до сотен миллиампер). Но зато они отличаются минимальным саморазрядом – 1% в год. Это позволяет использовать их для микропотребляющих устройств, например, счетчиков энергии, систем резервирования памяти и тому подобных.

Таблеточные литий-диоксидмарганцевых батареек EEMB предназначены для работы в портативной электронике, ноутбуках, промышленной автоматике, в сетях автономных датчиков и так далее.

Это семейство делится на следующие группы:

- стандартные элементы (таблица 11), предназначенные для работы в температурном диапазоне -20...60°C. Саморазряд составляет около 3% в год;
- элементы питания с повышенной рабочей температурой (таблица 12), для



Литий-полимерные (Li-Polymer)



Литий-ионные (Li-Ion)



Литий-железофосфатные (Li-FePO₄)



Никель-марганцевые (Ni-MH)

Рис. 6. Аккумуляторы EEMB

которых диапазон температур составляет $-40...125^{\circ}\text{C}$;

- элементы питания для низких рабочих температур (таблица 13), чей диапазон рабочих температур составляет $-40...70^{\circ}\text{C}$;

- элементы питания высокой емкости, способные функционировать в диапазоне рабочих температур $-20...60^{\circ}\text{C}$ (таблица 14).

Семейства литий-диоксидмарганцевых батареек производства компании EVE имеют схожие характеристики. Их главным принципиальным отличием стал рабочий диапазон температур. Для цилиндрических версий он составляет $-40...85^{\circ}\text{C}$, а для таблеточных $-30...125^{\circ}\text{C}$. Также доступны специализированные элементы питания с рабочим диапазоном $-40...125^{\circ}\text{C}$.

Аккумуляторы производства компаний EEMB и EVE

Стоит отметить, что компании EEMB (рисунок 6) и EVE выпускают широкую номенклатуру аккумуляторов:

- литий-полимерные Li-Pol;
- литий-ионные Li-Ion;
- литий-железофосфатные LiFePO_4 ;
- никель-металлогидридные Ni-MH.

Литий-полимерные аккумуляторы отличаются номинальным значением напряжения 3,7 В, высокой удельной емкостью, широким разнообразием факторов, высокой стабильностью.

Компания EEMB выпускает аккумуляторы трех семейств:

- Стандартные литий-полимерные аккумуляторы, которые способны работать при температурах $-20...60^{\circ}\text{C}$, с минимальным саморазрядом (около 3% в год), с числом циклов «разряд-заряд» до 800. В линейке компании есть представители с емкостью $65...8900 \text{ мА}\cdot\text{ч}$. Основными приложениями данной группы являются: потребительская электроника (аудиоплееры, беспроводные устройства, GPS-навигаторы, видеорегистраторы и так далее), электровелосипеды, медицинские приборы (портативные глюкометры, термометры и прочие), игрушки и тому подобные.

- Литий-полимерные аккумуляторы с повышенным током разряда до 20С и емкостью $160...3300 \text{ мА}\cdot\text{ч}$. Они предназначены для специфичных мощных приложений: моделей вертолетов и машин, квадрокоптеров и так далее.

- Низкотемпературные литий-полимерные аккумуляторы выпускаются со значениями номинальной емкости $720...2000 \text{ мА}\cdot\text{ч}$ и способны работать при температурах $-40...45^{\circ}\text{C}$. При повышении температуры до 60°C они сохраняют работоспособность, но теряют эффективность. Основными их приложениями являются: системы логистики, GPS-навигаторы, военные радиостанции и другие устройства для военной отрасли.

Литий-ионные — наиболее популярный тип аккумуляторов. Они имеют высокую емкость и характеризуются отсутствием эффекта памяти. Эти аккумуляторы имеют два исполнения:

- Таблеточные литий-ионные аккумуляторы с напряжением 3,6 В и емкостью $6...280 \text{ мА}\cdot\text{ч}$. Их рабочий температурный диапазон $-20...60^{\circ}\text{C}$ позволяет использовать их в большинстве коммерческих приложений: в компьютерах, датчиках, игрушках и так далее.

- Цилиндрические литий-ионные аккумуляторы с напряжением 3,7 В и емкостью $300...1300 \text{ мА}\cdot\text{ч}$. Рабочий диапазон разряда для них составляет $-20...60^{\circ}\text{C}$, а заряда $0...45^{\circ}\text{C}$. Основными областями их применения стали: измерительные приборы, видеокамеры, фотоаппараты и прочее.

Литий-железофосфатные LiFePO_4 отличаются напряжением питания 3,2 В, значительным ресурсом (до 2000 циклов перезаряда), максимальной безопасностью, высочайшим током разряда (до 10С) и широким диапазоном рабочих температур: $-10...60^{\circ}\text{C}$. Основные приложения, в которых они используются, это системы бесперебойного питания, электровелосипеды, электрокары, мощные GPS-системы.

Никель-металлогидридные аккумуляторы имеют номинальное напряжение 1,2 В и выпускаются в трех исполнениях: цилиндрическом (емкость до $14000 \text{ мА}\cdot\text{ч}$), призматическом (емкость до $250 \text{ мА}\cdot\text{ч}$) и таблеточном (емкость до $280 \text{ мА}\cdot\text{ч}$). Данный тип аккумуляторов появился раньше остальных и используется в широчайшем спектре приложений от электроинструментов до телефонов и игрушек.

Для разработчиков и рядовых потребителей компании EEMB и EVE предлагают широкий выбор элементов питания с различными напряжениями, емкостью и типоразмерами.

Заключение

Компании EVE и EEMB выпускают широкий спектр литиевых гальванических элементов и аккумуляторов. Это позволяет разработчикам находить оптимальный ХИТ для каждого конкретного приложения.

При выборе элемента питания необходимо учитывать как основные электрические характеристики (емкость, номинальное напряжение, разрядный ток), так и химическую группу элемента, конструкцию, склонность к пассивации и наклон разрядной характеристики.

Литература

1. <http://www.eemb.com>.
2. <http://www.evebattery.com>.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка –
e-mail: ac-dc-ac.vesti@compel.ru



– это литиевые ХИТы



Батарейки

Литий-тионилхлорид (Li-SOCl_2):

- высокоемкостные: до 35 А·ч (тип DD)
- высокотемпературные: $-40...150^{\circ}\text{C}$
- с большим током разряда

Литий-диоксидмарганец (Li-MnO_2)

Москва
Тел.: (495) 234-7764, доб. 2361
Миронов Сергей
E-mail: s.mironov@compel.ru



www.compel.ru

Александр Калачев, Иван Калюжный (г. Барнаул) ЛИТИЙ-ЖЕЛЕЗОФОСФАТНЫЕ АКБ ЕЕМВ: ДОСТАТОЧНО В ДВА РАЗА МЕНЬШЕЙ ЕМКОСТИ

Максимальное в отрасли количество циклов заряда-разряда, в два раза меньшая емкость для достижения тех же электрических характеристик по сравнению со свинцово-кислотными, быстрый заряд большими токами и стабильное напряжение разряда, возможность автоматического контроля параметров — вот преимущества **литий-железофосфатных аккумуляторов**. Широкая линейка этих изделий, выпускаемых компанией **ЕЕМВ**, применяется в **системах электропитания базовых станций сотовой связи и автоматических метеостанций, солнечных энергосистемах, системах аварийного энергоснабжения, питания промышленных электроприводов и электротранспорта**.



Данный материал заинтересовал исследователя тем, что в сравнении с традиционным LiCoO_2 он обладает значительно меньшей стоимостью, является менее токсичным и более термостойчивым. Но недостаток его — меньшая емкость. И только в 2003 году компания **A123 System** под руководством профессора Цзян Йе-Мина занялась исследованием литий-железофосфатных аккумуляторов (LiFePO_4).

В последние годы вопрос по усовершенствованию мобильных источников энергии как никогда актуален. Еще 10-15 лет назад он не стоял столь остро. Но лучшее — враг хорошего, и с повышением мобильности городского жителя, т.е. с переходом от стационарного компьютера к ноутбуку, от простого мобильного телефона к смартфону, запросы к мобильным источникам энергии резко возросли.

С миниатюризацией бытовой электроники ее разработчики должны выдерживать общее направление, уменьшая размеры источников питания и при этом увеличивая их емкость. Однако возникает вопрос об изменении не только емкости батарей, но и скорости их перезарядки и долговечности. Ведь если батарея будет восстанавливать заряд почти мгновенно, то уже не так критически важно, сколько часов без подзарядки может работать устройство.

Емкость аккумулятора, а также его способность к многократной перезарядке также важна для:

- автономных устройств, ориентированных на длительную работу без обслуживания — метеостанций, гидропостов, почвенных станций;
- систем альтернативной энергетики — солнечных и ветрогенераторов;
- электротранспорта — гибридных автомобилей, погрузчиков, электрокаров.

Практически во всех перечисленных случаях аккумуляторы эксплуатируются в условиях, далеких от идеальных: при низких температурах, неоптимальных или неполных циклах

заряда, высокой вероятности глубокого разряда.

Среди современных аккумуляторов особое место занимают литиевые. Литий обладает огромным ресурсом хранения энергии, поэтому использование литий-ионных аккумуляторов в роли накопителей энергии для солнечных электростанций и других источниках ВИЭ является наиболее выгодным, по сравнению с кислотно-свинцовыми аккумуляторами или другими типами АКБ. Особое место среди аккумуляторов на основе ионов лития занимают литий-железофосфатные аккумуляторы (LiFePO_4).

Впервые LiFePO_4 в качестве катода для литий-ионного аккумулятора был применен в 1996 году профессором Джоном Гуденафом из Техасского Универ-

Основные свойства литий-железофосфатных аккумуляторов

Литий-железофосфатные аккумуляторы (LiFePO_4) являются подвидом литий-ионных батарей, в котором в качестве катода используется фосфат железа. Их без преувеличения можно назвать вершиной технологии силовых аккумуляторов. Данный тип аккумуляторов по некоторым параметрам, в частности, по количеству циклов зарядки-разрядки, превосходит все прочие.

В отличие от других литий-ионных, аккумуляторы LiFePO_4 , как и никеле-

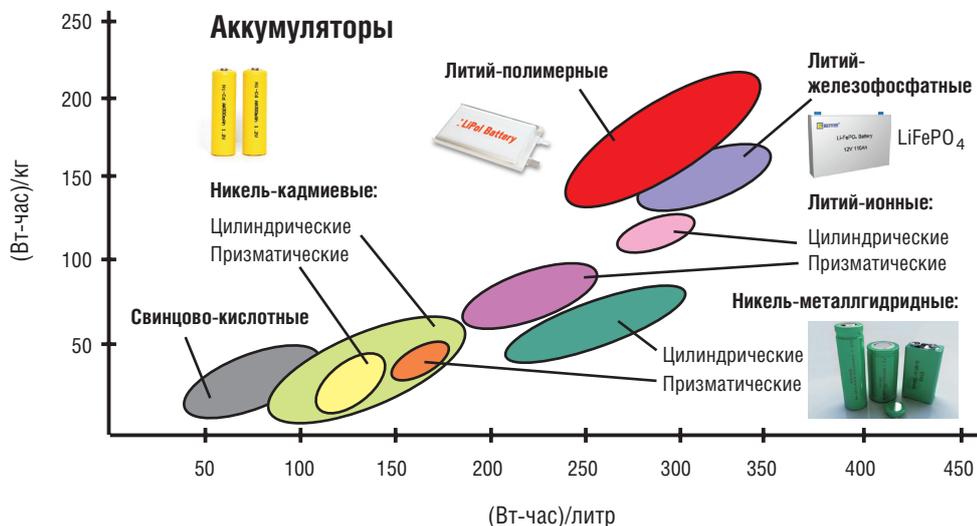


Рис. 1. Удельная энергоемкость аккумуляторов различных типов



Рис. 2. Внешний вид различных типов Li-FePO₄-аккумуляторов производства компании EEMB

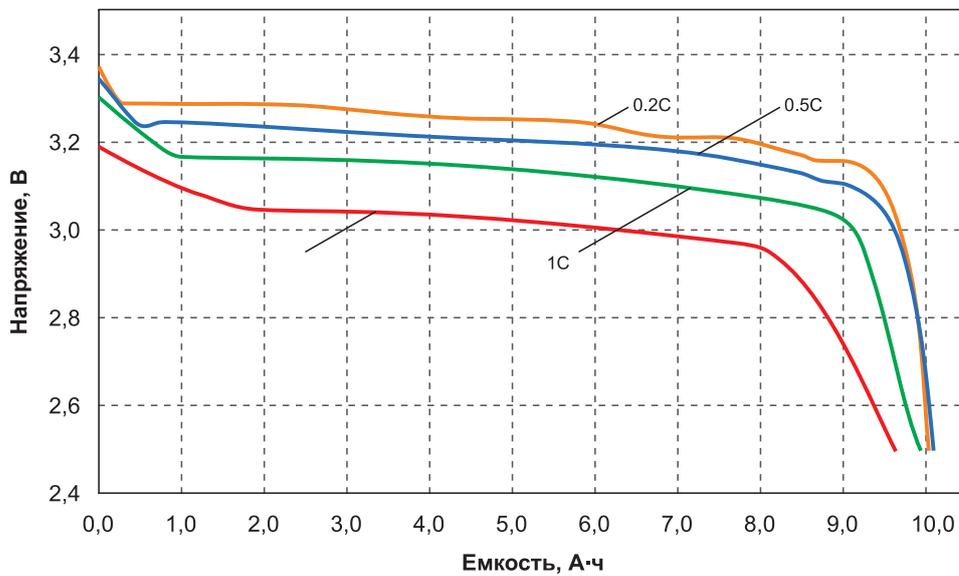


Рис. 3. Разрядные кривые Li-FePO₄-аккумулятора LP8867220F

вые, имеют очень стабильное напряжение разряда. Напряжение на выходе во время разряда остается близко к 3,2 В, пока заряд аккумулятора не будет исчерпан полностью. Это может значительно упростить или даже устранить необходимость регулирования напряжения в цепях.

В связи с постоянным напряжением 3,2 В на выходе четыре аккумулятора могут быть соединены последовательно для получения номинального напряжения на выходе 12,8 В, что приближается к номинальному напряжению свинцово-кислотных аккумуляторов с шестью ячейками. Это, наряду с хорошими характеристиками безопасности литий-железофосфатных аккумуляторов, делает их хорошей потенциальной заменой для свинцово-кислотных аккумуляторных батарей в таких отраслях как автомобилестроение и солнечная энергетика.

При повторных циклах заряда/разряда полностью отсутствует эффект памяти.

Литий-железофосфатные аккумуляторы имеют длительный срок службы

(свыше 4600 циклов при глубине разряда 80%).

Они обладают высокой удельной энергоемкостью: плотность энергии достигает 110 Вт·ч/кг).

Им свойственен широкий температурный диапазон эксплуатации (-20...60°C).

Эти аккумуляторы не требуют обслуживания.

Имеется возможность быстрого заряда аккумуляторов: за 15 минут — до 50%.

Надежность и безопасность литий-железофосфатных аккумуляторных батарей подтверждены международными сертификатами.

Они обладают высокой эффективностью: 93% при запуске 30...90%.

Допускается высокая скорость разряда током до 10С (десятикратный номинальный ток).

Эти аккумуляторы экологичны и не представляют опасности для человека и окружающей среды при утилизации.

В отличие от свинцовых аккумуляторов, литий-железофосфатные в два раза легче при той же емкости.

Недостатки по сравнению со свинцово-кислотными батареями:

- более высокая стоимость;
- необходимость специальной схемы контроля заряда-разряда.

Литий-железофосфатные аккумуляторы (LiFePO₄) немного проигрывают литий-полимерным по энергоемкости (рисунок 1). Но одной из сильных сторон является стабильность материала, что позволяет создавать аккумуляторные батареи, выдерживающие гораздо больше циклов разряда/заряда (более 2000), и быстрая зарядка. Благодаря этим особенностям данные аккумуляторы оптимально использовать в электрическом транспорте.

На российском рынке особое место среди поставщиков аккумуляторов на основе ионов лития занимает компания EEMB [1]. Она выпускает несколько групп литий-железофосфатных аккумуляторов (рисунок 2), различающихся между собой по электрическим и конструктивным параметрам [2]:

- модульные системы аккумуляторов;
- аккумуляторы для телекоммуникационных устройств;
- источники энергии для «умного дома»;
- тяговые аккумуляторы для электротранспорта.

Литий-железофосфатные аккумуляторы при разряде имеют очень стабильное выходное напряжение до тех пор, пока элемент не разрядится полностью. Затем напряжение резко уменьшается.

На рисунке 3 приведены разрядные кривые аккумулятора LP8867220F, снятые на различных токах разряда (0,2...2С) при нормальных температурных условиях. Как видно из графика, особенностью литий-железофосфатного аккумулятора является слабая зависимость емкости от величины тока разряда. При разряде малым током (0,2С) и при разряде повышенным током (2С) емкость аккумулятора практически не меняется и остается равной 10 А·ч (но-

минальная емкость указанного аккумулятора).

Очень важно не допускать разряда ячейки до уровня менее 2,0 В, иначе произойдут необратимые процессы, которые приведут к резкой потере номинальной емкости. Для этого служит контроллер разряда. Компания EEMB производит аккумуляторы как с наличием, так и с отсутствием защитной схемы. Наличие схемы защиты от разряда и превышения напряжения заряда кодируется в наименовании аббревиатурой РСМ в конце, например, **LP385590F-PCM**.

Рассмотрим зависимости количества циклов «заряд-разряд» от величины разрядного тока и глубины разряда. На рисунке 4 приведены экспериментальные данные. Из них видно, что при полном разряде потеря емкости аккумулятора на 20% происходит при количестве циклов не менее 2000 (ток разряда 1С). Если глубину разряда ограничить уровнем 80% в каждом цикле, то при проведении примерно 1500 подобных циклов снижения емкости аккумулятора от первоначальной величины практически не наблюдалось (ток разряда 0,5С).

Последнее поколение литий-железофосфатных АКБ производства компании EEMB в отличие от существующих свинцово-кислотных аккумуляторов не требует частой замены и обслуживания. Как правило, литий-железофосфатный АКБ – современный аккумулятор, выдерживающий более 2000 циклов заряда-разряда, абсолютно нечувствительный к режимам хронического недозаряда. В большинстве случаев он имеет встроенную плату управления аккумуляторной батареей (Battery Management System). Заряд осуществ-

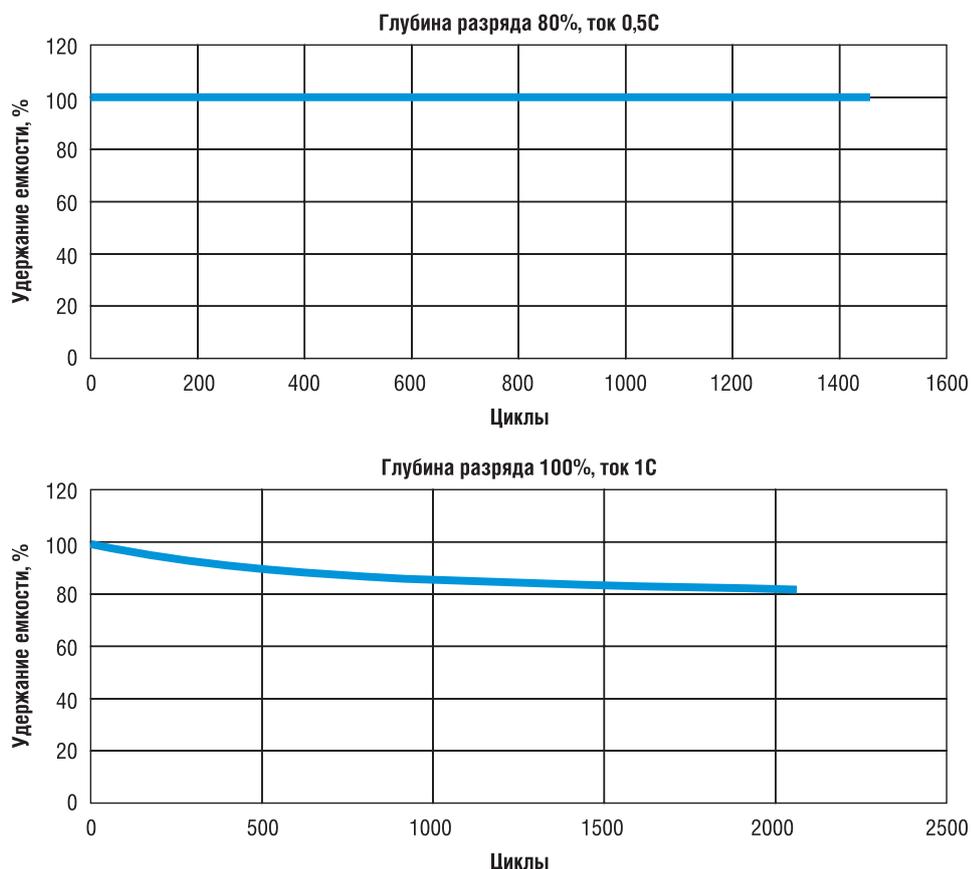


Рис. 4. Количество циклов «заряд-разряд» Li-FePO₄-аккумуляторов

ляется постоянным напряжением и постоянным током без стадий.

В таблице 1 показаны основные параметры одноэлементных литий-железофосфатных аккумуляторов компании EEMB. Номинальная емкость этого типа аккумуляторов находится в пределах 600...36000 мА·ч (вес – 15...900 грамм соответственно). Одноэлементные Li-FePO₄-аккумуляторы

чаще всего применяются в приборах с автономным питанием. Эти аккумуляторы допускают разряд высоким током до 10С. После 2000 циклов заряда-разряда током 1С остаточная емкость составляет около 80%.

Используя модульные системы с отдельными ячейками, обладающими повышенной емкостью, параметры которых приведены в таблице 2, можно

Таблица 1. Одноэлементные LiFePO₄-аккумуляторы EEMB

Наименование	Напряжение, В	Емкость, мА·ч	Вес, г
LP603449F	3,2	600	15
LP385590F		1250	31,25
LP4558110F		2000	50
LP7851119F		3500	87,5
LP8553140F		5000	125
LP55103122F		5000	125
LP75103122F		7000	175
LP8867220F		9000	225
LP60255205F		22000	500
LP90255205F		36000	900

Таблица 2. Основные параметры модульных систем Li-FePO₄

Тип модуля	Номинальное напряжение, В	Емкость, А·ч	Размеры, мм			Вес, кг
			Толщина	Ширина	Высота	
3,2 В, 100 А·ч	3,2	100	60	165	280	3,75
3,2 В, 40 А·ч	3,2	40	60	95	280	2

Таблица 3. Аккумуляторы для телекоммуникационных систем питания

Наименование	Напряжение, В	Емкость, А·ч	Вес, кг
LP8867220F-4S5P	12	50	6
LP8867220F-4S10P	12	100	22
LP8867220F-16S10P	48	100	40
LP8867220F-16S20P	48	200	78

Таблица 4. Аккумуляторы для ИБП «умного дома»

Наименование	Напряжение, В	Емкость, А·ч	Вес, кг
LP8867220F-4S	12	10	1,3
LP8867220F-4S2P	12	20	2,5
LP8867220F-4S3P	12	30	3,5
LP8867220F-8S2P	24	20	4,5
SLF5H12-L	14,4	4,5	0,7
SLF7H12-L	14,4	7	0,9
U1	48	10	4

Таблица 5. Параметры аккумуляторных батарей серии GOLF CART

Наименование	Напряжение, В	Емкость, А·ч	Вес, кг
LP8867220F-2S	6,4	10	0,5
LP8867220F-2P3S	9,6	20	1,5
LP8867220F-3P4S	12,8	30	3
LP8867220F-4P4S	12,8	40	4
LP8867220F-8S	25,6	10	2
LP8867220F-6P8S	25,6	60	12

Таблица 6. Параметры аккумуляторных батарей серии E-bike

Наименование	Напряжение, В	Емкость, А·ч	Вес, кг
LP8867220F-8S	24	10	2,5
LP8867220F-2P8S	24	20	4,5
LP8867220F-4P8S	24	40	9
LP8867220F-12S	36	10	3,5
LP8867220F-2P12S	36	20	6,5
LP8867220F-3P12S	36	30	10
LP8867220F-2P16S	48	20	9

собрать аккумуляторный блок необходимой емкости и выходного напряжения.

Также модульные системы оснащены системой управления питанием (BMS), которая допускает разряд высокой мощности и обладает множеством контрольных и защитных функций. Модули с интегрированной системой мониторинга обеспечивают высокий уровень безопасности всей системы и окружающей среды. Рекомендованные области применения:

- системы аварийного и бесперебойного питания;
- базовые станции.

Телекоммуникационные системы питания требуют от аккумуляторов небольших размеров, малого веса, большого количества циклов перезарядки, высокой удельной емкости, широкого диапазона рабочих температур и простоты в обслуживании. Литий-железофосфатные аккумуляторы вполне соответствуют этим требованиям. В таблице 3 приведе-

ны основные параметры аккумуляторов EEMB для телекоммуникационных систем.

Пример номенклатурной записи: 4P5S — четыре параллельно включенных сборки (каждая сборка состоит из пяти последовательно включенных аккумуляторов), P — Parallel, параллельное включение, S — Serial, последовательное включение.

В основном аккумуляторы данных серий применяются в:

- системах питания постоянного тока;
- устройствах обеспечения бесперебойного питания (UPS);
- высоковольтных системах питания постоянного тока (240/336 В).

Характеристики аккумуляторных батарей для источников и систем бесперебойного питания для «умного дома» (UPS/ИБП) приведены в таблице 4, а внешний вид изображен на рисунке 3в.

Литий-железофосфатные аккумуляторы EEMB Super Energy серии SLM полностью заменяют обычные свинцово-кислотные и гелиевые аккумуляторы. Они не требуют обслуживания, на 80% легче и в пять раз долговечнее свинцово-кислотных аккумуляторов и их аналогов.

Тяговые аккумуляторы для электромобилей — это перезаряжаемая батарея для установки в автомобилях на электрической тяге. Ключевыми особенностями аккумуляторов для электромобилей являются малый вес, компактный размер и большая энергоемкость, что позволяет уменьшить вес самого электромобиля и дает возможность быстрой зарядки.

Компания EEMB предлагает ассортимент аккумуляторов для электротранспорта различных категорий (таблицы 5, 6).

Основные параметры литий-железофосфатных аккумуляторов, при-

Таблица 7. Параметры аккумуляторных батарей серии E-scooter

Наименование	Напряжение, В	Емкость, А·ч	Вес, г
LIP18650-3S	9,6	1,4	150
LIP18650-5S	16	1,4	250
LIP18650-5P6S	19,2	7	1500
LIP18650-6P7S	22,4	8,4	2100

Таблица 8. Параметры аккумуляторных батарей серии E-motorcycle

Наименование	Напряжение, В	Емкость, А·ч	Вес, кг
LP7567220F-16S	48	9	4
LP7567220F-4P16S	48	36	16
LP7567220F-6P16S	48	54	24
LP7567220F-10P16S	48	90	40

Таблица 9. Сравнение литий-железофосфатных и свинцово-кислотных аккумуляторов

Параметр	Литий-железофосфатная система электроснабжения	Обычная система со свинцовыми АКБ глубокого разряда	Преимущества LiFePO ₄
Рабочее количество эффективных циклов	> 6000 при разряде 80%	~500	Количество циклов значительно выше
Система балансировки ячеек	Присутствует при заряде и разряде	Отсутствует	Автоматический контроль за состоянием каждой ячейки
Защита от перезаряда/глубокого разряда на уровне ячеек	100% многоуровневый контроль		
Защита АКБ при сбоях в системе	100% (отключение тока заряда и разряда)		
Точный расчет запаса энергии в АКБ на основании данных от датчиков напряжения, тока, температуры и сопротивления ячеек	Постоянный расчет в реальном времени		
Возможность быстрой зарядки	Да (около 15 минут)	Нет	
Необходимость поддержания АКБ в заряженном состоянии	Нет	Да, иначе - сульфатация пластин	Нет необходимости поддерживать заряд, экономия на обслуживании
Расчетный срок службы при ежедневном полном цикловании 70% для LiFePO ₄ и 50% для свинцовых АКБ (при идеальных условиях), лет	15	~4	Минимум в 4 раза выше
Диапазон рабочих температур, °С	-20...60	Рекомендуемая температура: 20°С	Возможна установка системы питания в неотапливаемых помещениях
Влияние повышенной температуры (30°С и выше)	Допустима работа вплоть до верхнего предела рабочего диапазона температур	Быстрая деградация	Аккумуляторные ячейки выдерживают значительно более высокие температуры
Календарный срок службы (буферный режим или режим хранения)	Не ограничен	Ограничен, так как пластины деградируют в любом случае	Значительный выигрыш
Возможность добавлять емкость в существующий блок аккумуляции	Да	Не рекомендуется, так как приведет к разбалансировке	Возможность постепенной модернизации и масштабирования без лишних затрат
Возможность замены одной/нескольких испорченных ячеек в аккумуляторной сборке	Да, поскольку есть система балансировки		

меняемых в автомобилях для гольфа, и аналогичных аккумуляторов серии GOLF CART приведены в таблице 5. Эти аккумуляторы допускают параллельное и последовательное соединение ячеек, благодаря чему можно легко изменять номинальную емкость и напряжение аккумулятора.

Параметры аккумуляторов Li-FePO₄ для электровелосипедов (серия E-bike) приведены в таблице 6.

По требованиям клиента под заказ могут быть изготовлены и другие

варианты. Данные серии аккумуляторов также выпускаются в сборках, где одиночные элементы соединены последовательно или параллельно. Габаритные размеры одного элемента сборки этой серии составляют 9,1x67,5x222 мм.

В таблице 7 приведены параметры литий-железофосфатных аккумуляторов для электрических скутеров и электроинструментов. Аккумуляторы серии E-scooter обладают небольшими размерами, имеют высокий допустимый ток

разряда, большой срок службы, высокую плотность энергии, отсутствие эффекта памяти, что обеспечивает популярность этих аккумуляторов в подходящих по мощности приборах, где необходимо автономно питать электродвигатели.

В таблице 8 приведены параметры литий-железофосфатных аккумуляторов для электромотороллеров серии E-motorcycle. Номинальное напряжение всех аккумуляторов этой серии составляет 48 В. Минималь-

ное значение номинальной емкости — 9 А·ч при весе 4 кг. Максимальное значение емкости — 90 А·ч при весе 40 кг. Размеры одного элемента — 7,5х67х220 мм.

Сравнительные характеристики LiFePO₄-аккумуляторов

На объектах малой энергетики в режимах постоянного циклирования литий-железофосфатные аккумуляторы за счет возможности глубокого разряда и большого количества циклов заряда-разряда дают ощутимые преимущества в обслуживании объекта.

Аккумуляторные модули имеют встроенную защиту от перенапряжений, низкого заряда, повышенных токов. Они совместимы со всеми приборами, в том числе — инверторами и зарядными устройствами, работающими со свинцово-кислотными аккумуляторами. Изначально цена на литий-железофосфатные АКБ кажется достаточно высокой. Однако при расчете емкости АКБ для работы в режиме циклирования выясняется, что в случае применения LiFePO₄-аккумуляторов достаточно АКБ примерно в 2...2,5 раза меньшей емкости, чем для свинцово-кислотных аккумуляторов (включая свинцово-гелиевые). Это возможно за счет того, что литий-железофосфатные аккумуляторы допускают зарядку более высокими токами, чем свинцово-кислотные (1С против типовых для свинцово-кислотных 0,1...0,2С). Вследствие этого массив солнечных панелей, например, при том же выходном токе массива и требуемом времени заряда, можно нагружать на менее емкий, чем свинцово-кислотный, литий-железофосфатный аккумулятор. Меньшая емкость на разряд будет компенсироваться более быстрыми циклами заряда, тем более что ресурс по циклам «заряд-разряд» в среднем на порядок больше. Сюда же добавляется намного более медленное падение емкости при циклах перезарядки.

Рассмотрим пример. Если мы ранее использовали свинцово-кислотный АКБ AGM/GEL 150 А·ч в режиме циклирования, то для его замены без потери эксплуатационных характеристик будет достаточно АКБ типа LiFePO₄ емкостью 60 А·ч. При верном расчете 1 к 2,5 стоимость АКБ LiFePO₄ всего на 25...35% больше, чем свинцово-кислотных АКБ. При этом литий-железофосфатные АКБ в среднем будут иметь лучшие эксплуатационные характеристики в сравнении со свинцово-кислотными.

В режиме накопления и последующего разряда при одинаковых разрядных токах литий-железофосфатные аккумуляторы могут дать преимущество в емкости в 2,5 раза, что легко показать на примере.

Как правило, емкость аккумулятора выбирается исходя из возможного времени отсутствия основной энергии и потребляемой мощности нагрузки.

Например, если нам нужно запитать нагрузку 2 кВт в течение 1 часа, то, соответственно, нужен запас энергии, как минимум, в 2 кВт·ч. Необходимо, чтобы эта система могла нормально функционировать более 6 месяцев в циклическом режиме (днем — заряд, вечером — разряд). Для аккумулятора или набора аккумуляторов с выходным напряжением 48 В требуемая расчетная емкость составит примерно 42 А·ч. Ток при разряде будет примерно равен 1С (42 А). Однако следует учесть, что в нашем примере следует считать разряд не постоянным током, а постоянной мощностью, при этом при разряде АКБ ток разряда будет увеличиваться. В режиме разряда постоянной мощностью (2 кВт) свинцово-кислотный АКБ (48 В/40 А·ч) способен проработать не более 30 минут (при глубоком разряде — до 40,8 В).

Чтобы нагрузка уверенно отработала один час на свинцовом аккумуляторе, потребуется его емкость примерно в два раза больше изначально рассчитанной — порядка 85 А·ч. С другой стороны, разряд железо-фосфатного аккумулятора током 1С или выше не приводит к существенному снижению его емкости — она остается на уровне номинальной (рисунок 3). Из этого видно, что может быть достигнуто различие в емкости двух типов АКБ в два раза. Также необходимо принять во внимание, что при работе свинцово-кислотного АКБ в режиме циклирования его емкость снизится на 20% уже при 150...200 циклах заряда-разряда, поэтому, чтобы это скомпенсировать, следует изначально выбрать аккумулятор с емкостью на 20% выше. Получается, что условия ранее поставленной задачи будут выполнены в течение первых 6 месяцев при емкости свинцово-кислотного АКБ в 102 А·ч. С другой стороны, слабая зависимость емкости железофосфатного АКБ позволит обойтись практически расчетной емкостью 42 А·ч. Как видим, разница в требуемой емкости между двумя типами АКБ составляет около 2,5 раз.

Литий-железофосфатные аккумуляторы легко принимают мощный зарядный ток. Поэтому, нагрузив на них втрое более мощный (относительно свинцово-кислотных АКБ) массив солнечных батарей, можно зарядить их за короткое время, равное 2...4 часам. А принимая во внимание нечувствительность к глубокому разряду и хроническому недозаряду, эти батареи незаменимы в зимний период, особенно с учетом того факта, что литий-железофосфатные АКБ имеют более высокое КПД 95% (в отличие

от 80% у свинцово-кислотных АКБ), а значит, в пасмурную и дождливую погоду эти АКБ заряжаются быстрее (таблица 9).

Закключение

В режимах циклирования использование литий-железофосфатных аккумуляторов более выгодно, так как для достижения энергетических и эксплуатационных параметров достаточно примерно в два раза меньшей емкости, чем у свинцово-кислотных. Не меньшую ценность представляют нечувствительность к недозаряду, повышенный КПД и ускоренный заряд большими токами.

Литий-железофосфатные аккумуляторы рекомендуется использовать в солнечных энергосистемах, работающих в условиях короткого светового дня, что особенно актуально для средней полосы России, северных регионов, а также горных районов. Длительный срок службы (большое количество циклов «заряд-разряд») литий-железофосфатных аккумуляторов позволяет существенно сократить расходы на их обслуживание и замену, что актуально, например, для автоматических станций наблюдения за погодными условиями и систем аварийного питания базовых станций сотовой связи. Увеличение периода времени между плановой сменой аккумуляторов приводит к экономии на оплате труда бригады обслуживания, а также на дорожных расходах (особенно в том случае, если оборудование установлено в труднодоступных местах). Снижение накладных расходов на обслуживание будет с лихвой компенсировать относительно высокую стоимость литий-железофосфатного аккумулятора.

Аккумуляторы данного типа также могут быть успешно применены в телекоммуникационной технике (базовое телекоммуникационное оборудование и мобильные устройства), источниках бесперебойного питания, системах аварийного энергоснабжения, системах питания электроприводов и электротранспорта.

Изготовитель аккумуляторов — компания ЕЕВМ — осуществляет тщательный контроль качества продукции и имеет возможность выполнения аккумуляторных сборок на заказ по требованиям клиента.

Литература

1. <http://www.eemb.com>.
2. http://www.eemb.com/products/rechargeable_battery/lifepo4_battery/lifepo4_battery.html.⁵

Получение технической информации,
заказ образцов, поставка —
e-mail: ac-dc-ac.vesti@compel.ru

Александр Донцов (г. Барнаул)

ПИТАНИЕ ДЛЯ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА: МОРОЗОСТОЙКИЕ ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНЫЕ АКБ ОТ ЕЕМВ



Литий-полимерные аккумуляторные батареи производства компании ЕЕМВ с индексом LC в конце наименования имеют возможность разряда при отрицательных температурах до -40°C. При этом значение емкости остается на уровне 70% от номинальной.



Сегодня химические источники тока, — литиевые аккумуляторные батареи (АКБ) и гальванические элементы, — используются как в портативной электронике - в ноутбуках, сотовых телефонах, карманных ПК, mp3-плеерах и так далее, — так и в электротранспорте, накопителях энергии, энергосистемах. При этом производители всеми силами стараются повысить плотность хранения энергии, увеличив тем самым время автономной работы устройств. По своим характеристикам литиевые аккумуляторы превосходят разработки, произведенные по другим химическим технологиям (Ni-Cd — никель-кадмиевые аккумуляторы, Ni-MH — никель-металлгидридные аккумуляторы). Можно выделить следующие преимущества литиевых аккумуляторов:

- отсутствие «эффекта памяти», что дает возможность заряжать и подзаряжать аккумулятор по мере необходимости;
- высокая удельная емкость;
- небольшая масса;
- низкий уровень саморазряда — не более 3...5% в месяц.

Конечно, как и в любой технологии, у литиевых аккумуляторов есть и недостатки, например:

- необходимость схемы защиты (встроенной или внешней), которая ограничивает максимальное напряже-

ние на каждом элементе аккумулятора во время заряда и предохраняет напряжение элемента от слишком низкого понижения при разряде. Кроме того, она ограничивает максимальные токи заряда-разряда и контролирует температуру элемента;

- более высокая стоимость по сравнению с Ni-Cd-аккумуляторами.

Типовые характеристики литиевых АКБ зависят от химического состава их компонентов, наличия или отсутствия в них примесей и варьируются в следующих пределах:

- напряжение единичного элемента (ячейки):
 - номинальное: 3,6...3,7 В;
 - максимальное: 4,2 В;
 - минимальное: 2,5...3,0 В;
- удельная энергоемкость: 110...243 Вт·ч/кг;
- число циклов «заряд/разряд» до достижения 80 % емкости: 600;
- саморазряд при комнатной температуре: 3...5% в месяц;
- ток нагрузки относительно емкости C, представленной в А·ч:
 - постоянный: до 3...5C (тип.);
 - оптимальный: до 1C;
- диапазон рабочих температур: -20...60°C (оптимальная: 20°C).

Технологии изготовления литиевых аккумуляторов постоянно улучшаются. Способы решения проблем с обеспечением безопасности эксплуатации и вы-

сокой стоимости привели к появлению литий-полимерных (Li-polymer или Li-pol) аккумуляторов.

Основное их отличие от Li-ion отражено в названии и заключается в типе используемого электролита. Изначально, в 70-х годах, применялся сухой твердый полимерный электролит, похожий на пластиковую пленку и не проводящий электрический ток, но допускающий обмен ионами (электрически заряженными атомами или группами атомов). Полимерный электролит фактически заменяет традиционный пористый сепаратор, пропитанный электролитом.

Такая конструкция упрощает процесс производства, характеризуется большей безопасностью и позволяет выпускать

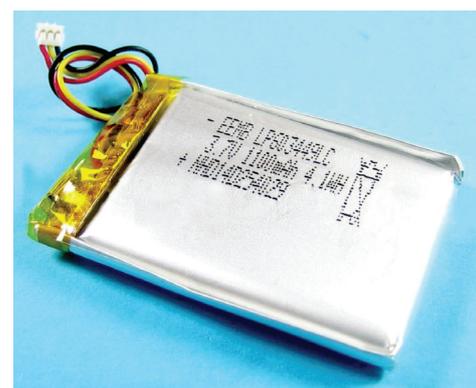


Рис. 1. Низкотемпературный аккумулятор LP603449LC

Таблица 1. Морозостойкие аккумуляторы ЕЕМВ

Наименование	Номинальное напряжение, В	Емкость, мАч		Размеры, мм			Вес, г
		Стандартная	Минимальная	Толщина	Ширина	Высота	
LP383454LC	3,7	720	670	3,8	34	54	14,4
LP603048LC	3,7	900	850	6	30	48	18
LP963450LC	3,7	1800	1700	9,6	34	50	36
LP103450LC	3,7	1850	1800	10	34	50	37
LP505597LC	3,7	3100	2900	5	55	97	62

Таблица 2. Емкость Li-Pol и стандартных аккумуляторов в зависимости от температуры

Версия батареи/ температура	Энергоемкость батареи при разных рабочих температурах, %			
	60°C	25°C	-20°C	-40°C
Стандартная батарея	98	98	83	—
Низкотемпературная (LC)	98	98	98	98

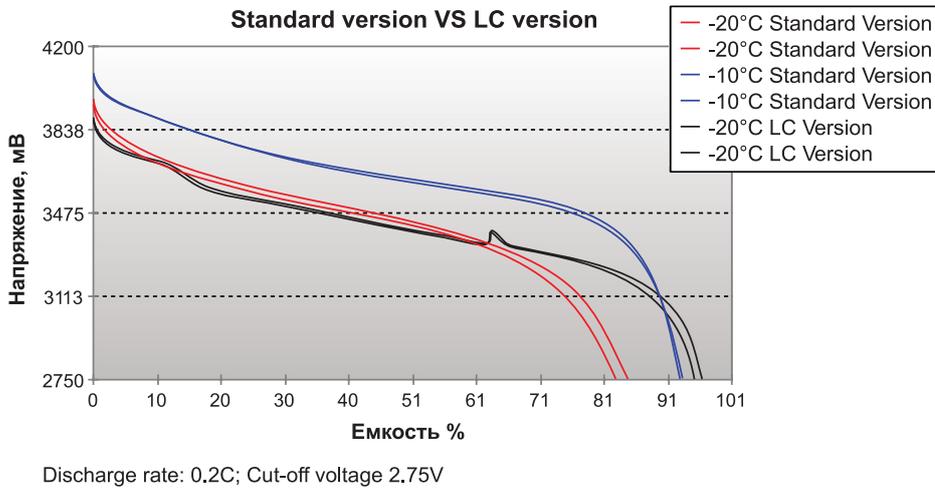


Рис. 2. Разряд стандартных и LC-АКБ в зависимости от температуры

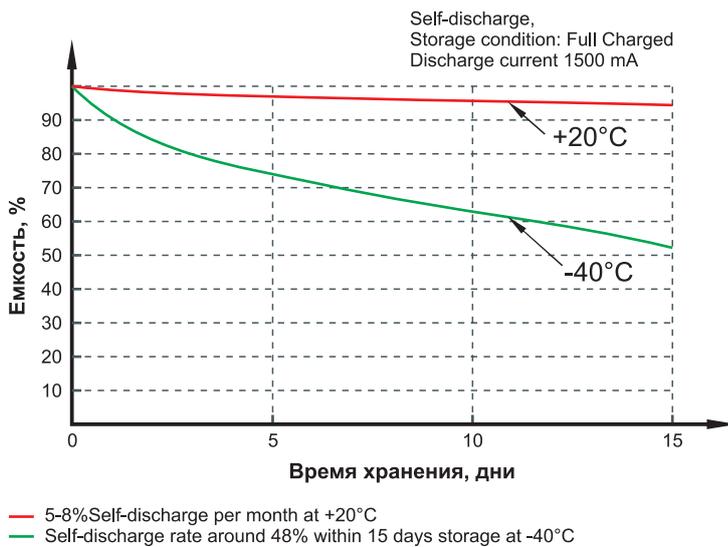


Рис. 3. График зависимости емкости аккумулятора от температуры хранения при 20°C и -40°C

тонкие аккумуляторы произвольной формы. К тому же отсутствие жидкого электролита исключает возможность воспламенения. Толщина элемента составляет около одного миллиметра, поэтому разработчики оборудования свободны в выборе формы, очертаний и размеров, вплоть до внедрения его во фрагменты одежды.

Основные преимущества литий-полимерных аккумуляторов:

- малый саморазряд;
- толщина элементов: от 1 мм;
- свобода в выборе формы АКБ;
- незначительный спад напряжения по мере разряда;
- улучшенная безопасность.

По сравнению с жидкими электролитами в литий-ионных аккумулято-

рах, полимерные электролиты имеют меньшую ионную проводимость, которая, к тому же, снижается при температуре ниже нуля. Поэтому проблема разработок Li-pol-аккумуляторов состояла не только в поиске наиболее подходящего электролита с достаточно высокой проводимостью, совместимого с электродными материалами, но и в расширении диапазона рабочих температур.

Аккумуляторы с полимерным электролитом выпускают многие мировые производители. Электродные материалы, рецептуры электролита и технологии изготовления Li-pol-аккумуляторов разных компаний значительно отличаются. Соответственно, отличаются и их характеристики. На качество Li-

pol-аккумуляторов и стабильность их работы сильно воздействует однородность полимера, на которую оказывают влияние как соотношение компонентов электролита, так и температура полимеризации.

Среди компаний, выпускающих литий-полимерные АКБ, выделяется компания **ЕЕМВ** — известный и хорошо зарекомендовавший себя производитель литиевых аккумуляторов, предлагающий широкий спектр химических источников тока [1]. Продуктовая линейка включает в себя первичные (неперезаряжаемые) и вторичные (перезаряжаемые) литиевые батареи. Со времени основания в 1995 году компания стала широко известна во многих ключевых сегментах рынка химических источников тока. ЕЕМВ производит высокотехнологичные литиевые батареи для промышленности и специальных применений.

Основным минусом литиевых аккумуляторов является существенное уменьшение емкости и быстрый разряд при низких температурах. Как правило, предельной температурой у аккумуляторов такого типа является -20°C.

В настоящий момент компания ЕЕМВ разработала и серийно производит литий-полимерные АКБ с возможностью разряда при температуре от -40°C (таблица 1). При этой температуре значение емкости остается на уровне 70% от номинальной при токе разряда 0,2С и напряжении отсечки 2,75 В, что намного больше военного стандарта емкости 40%. В дополнение к этому компания ЕЕМВ имеет ряд патентов на свое изобретение.

Низкотемпературные литий-полимерные батареи найдут широкое применение в устройствах, предназначенных для холодного климата.

Отличить морозостойкую серию аккумуляторов можно по наличию символов **LC** в конце наименования, например **LP103454LC** (рисунок 1), где:

- LP — тип аккумулятора (Li-Pol);
- 10 — толщина аккумулятора (1,0 мм);
- 34 — ширина аккумулятора (34 мм);
- 54 — длина аккумулятора (54 мм);
- LC — низкотемпературная версия.

Данные АКБ открывают новые возможности применения литиевых аккумуляторов, и это — существенная веха в аккумуляторном производстве.

На рисунке 2 изображены графики зависимости емкости и напряжения при температуре -10°C и -20°C для стандартной версии аккумулятора (синий и красный цвет), а также для низкотемпературной LC-версии аккумулятора (черный цвет). Изображенные зависимости снимались при разрядном токе $0,2\text{ C}$ (C – емкость аккумулятора) до напряжения отсечки $2,75\text{ В}$. В таблице 2 приведены абсолютные значения емкости при тех же условиях разряда.

Из графиков, изображенных на рисунке 2, и данных таблицы 2 видно, что стандартная версия допускает возможность разряда только до -20°C , и при этом потеря емкости составляет $15\text{--}17\%$. Потеря емкости незначительна, но и предельная температура (-20°C) невелика для северного климата.

У новой LC-серии аккумуляторов также снижается емкость при отрицательной температуре, и снижение составляет $25\text{--}28\%$, но уже при температуре -40°C , что является весьма неплохим показателем. Принимая во внимание, что стоимость Ватт*часа новой серии АКБ выше стандартной версии примерно на $18\text{--}25\%$, можно утверждать, что ЕЕМВ имеет линейку очень перспективных аккумуляторов для применения в суровом российском климате.

Новые аккумуляторы допускают не только разряд при отрицательной температуре, но и возможность заряда. АКБ можно заряжать при температуре до -10°C током $0,2\text{C}$. Однако зарядить в таких условиях его можно только до 70% от номинальной емкости (в технических данных эта информация отсутствует).

Немаловажным параметром низкотемпературных аккумуляторов является изменение их свойств при низкой температуре хранения. На рисунке 3 изображена зависимость емкости от температуры хранения при 20°C (красная линия) и -40°C (зеленая линия). Время хранения аккумуляторов составляло 15 суток, за эти дни емкость при 20°C уменьшилась на $5\text{--}6\%$, при -40°C – на 48% . Затем аккумулятор был заряжен при температуре 0°C , и вновь была проверена его емкость (рисунок 4). Значение емкости оказалось на уровне 99% от первоначального значения.

Нужно отметить, что получены весьма неплохие результаты, так как -40°C для аккумулятора – это очень суровые условия, и то, что он за пятнадцать дней сохранил половину своей емкости, а при последующем заряде его емкость практически полностью восстановилась, говорит о высоком качестве продукции ЕЕМВ.

Заключение

Существует ряд приложений, для которых весьма актуальна воз-

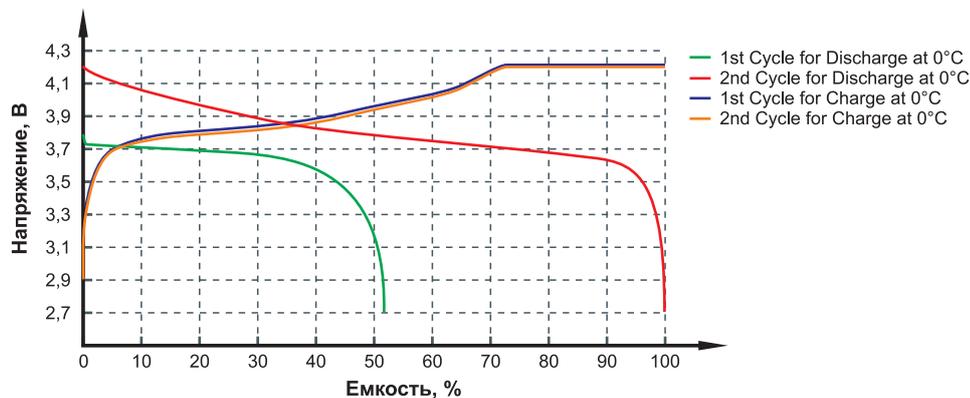


Рис. 4. График зависимости емкости аккумулятора от температуры после хранения при -40°C

можность работы при отрицательной температуре, например, для портативной аппаратуры, средств радиосвязи, контрольно-диагностической аппаратуры, устройств индивидуальной сигнализации (электронный маяк спасателя) и тому подобного. Для таких приложений, из соображений оптимального сочетания цены/качества, наилучшим образом подойдет продукция компании ЕЕМВ.

Производителей литиевых АКБ в мире достаточно много, их технологии изготовления и сама продукция могут существенно различаться. Однако не все они имеют в своей линейке продукции морозостойкие АКБ, актуальность которых для целого ряда областей применения очевидна. Наличие подобных АКБ в номенклатуре компании ЕЕМВ еще раз подтверждает ее статус производителя высококачественной продукции.

Современные литий-полимерные аккумуляторы обеспечивают удельные характеристики, сравнимые с характеристиками литий-ионных аккумуляторов, а благодаря отсутствию жидкого электролита они более безопасны.

При всех стандартных проверках на безопасность использования (перезаряд, форсированный разряд, короткое замыкание, вибрация, раздавливание и

протыкание) Li-pol-аккумуляторы имеют существенно более высокие показатели по сравнению с литий-ионными аккумуляторами с жидким электролитом. Перспективы серьезного расширения производства Li-pol-аккумуляторов и использования их в самых разнообразных областях техники не вызывают сомнений.

С появлением элементов литий-полимерных аккумуляторных батарей толщиной всего в 1 мм перед конструкторами электронных устройств открылись новые возможности в отношении конечной формы и размеров новой аппаратуры. Были убраны многие ограничения касательно микроминиатюризации радиоэлектронных устройств.

Литература

- [1. http://www.eemb.com/.](http://www.eemb.com/)
- [2. http://eemb.com/products/rechargeable_battery/li-polymer_battery/li-polymer_battery.html.](http://eemb.com/products/rechargeable_battery/li-polymer_battery/li-polymer_battery.html)
- [3. http://www.compel.ru/2015/05/20/morozoustoychivylitij-polimernye-akkumulyatoryi-ot-eemb.](http://www.compel.ru/2015/05/20/morozoustoychivylitij-polimernye-akkumulyatoryi-ot-eemb)

Получение технической информации,
заказ образцов, поставка –
e-mail: ac-dc-ac.vesti@compel.ru



Литий-полимерные батареи серии LC



- Рабочий диапазон температур: $-40\text{--}60^{\circ}\text{C}$
- Увеличенный жизненный цикл
- Улучшенные характеристики при низких температурах
- Возможность изготовления в разных форм-факторах



www.compel.ru

Вячеслав Гавриков (г. Смоленск)

ЗАРЯД ОТ -30°C , РАБОТА ОТ -60°C – ЭТО АККУМУЛЯТОРЫ SAFT



Литиевые источники питания широко применяются в самых разнообразных приложениях, от сотовых телефонов до источников бесперебойного питания. При этом существуют области, где их использование ограничено: оборудование для нефтегазовой отрасли, военная техника, морская и корабельная электроника. Именно в этих и им подобных областях предъявляются сверхжесткие требования к рабочему диапазону температур. Однако это не помеха для аккумуляторов от французской компании **Saft**, которые могут работать при температурах до -60°C !

Любой житель средней и северной полосы России знает, что на морозе срок службы аккумуляторов и батареек уменьшается. Казалось бы, только что заряженный аккумулятор может разрядиться за считанные часы. Поэтому житейская мудрость приучила держать сотовые телефоны, фотоаппараты и прочие гаджеты «ближе к телу», и доставать их только во время использования.

Не все в курсе, что кроме нижнего температурного порога использования литиевых элементов питания, существует также и нижняя температурная граница для их заряда. При этом допустимая температура заряда оказывается выше, чем допустимая температура разряда. Для большинства приложений вроде сотовых телефонов этот факт оказывается не критичным. Как правило, портативные приборы заряжаются дома в «тепличных» условиях. Однако существуют и такие приложения, которые требуют не только разрядки при низких температурах, но и зарядки.

Для военной, космической, нефтегазовой, автомобильной отраслей порог отрицательных рабочих температур используемого оборудования достигает -40°C и ниже. Это же относится и к источникам тока. Является ли это критическим ограничением для литиевых батареек и аккумуляторов? Совсем недавно на этот вопрос можно было ответить утвердительно, но сейчас существуют продукты, которые могут функционировать даже в таких тяжелых условиях. К этой группе можно отнести и химические источники тока (ХИТ) производства компании Saft. Для их работы сверхнизкие температуры – не помеха (рисунок 1).

Saft – именитый французский производитель элементов питания. Номен-

клатура компании достаточно разнообразна:

- литиевые батареи серий **LS** и **LSH** на основе системы литий-тионилхлорид (Li-SOCl_2) с напряжением 3,6 В и диапазоном рабочих температур $-60...85^{\circ}\text{C}$ ($-40...150^{\circ}\text{C}$);
- литиевые батареи серий **LO/G** на основе системы литий-диоксид серы (Li-

SO_2) с напряжением 2,8 В и диапазоном рабочих температур $-60...70^{\circ}\text{C}$;

- литиевые батареи серий **LM** и **M** на основе системы литий-диоксид марганца (Li-MnO_2) с напряжением 3,0 В и диапазоном рабочих температур $-40...70^{\circ}\text{C}$;
- литий-ионные аккумуляторы общего назначения серий **VL**, **MP144350**, **MP174565 Integration** и **MP176065 Integration** с диапазоном температур разряда $-50...60^{\circ}\text{C}$ и заряда $-20...60^{\circ}\text{C}$;



Рис. 1. Аккумуляторы Saft со сверхшироким диапазоном рабочих температур

Таблица 1. Области применения литиевых элементов питания Saft

Сфера применения	Литиевые элементы первичного питания			Литиевые перезаряжаемые аккумуляторы	
	LS/LSH	LO/G	LM/M	MP	Small VL
Военное оборудование	+	+	+	+	+
Счетчики энергии и приборы учета	+	—	+	+	+
Нефтегазовая отрасль	+	—	+	+	+
Системы безопасности и сигнализации	+	—	+	+	—
Медицинское оборудование	—	+	+	+	—
Профессиональная электроника	+	—	+	+	+
Системы навигации и маршрутизации транспортных средств	+	+	+	+	—
Корабельное и морское оборудование	+	+	+	+	+
Системы автоматического управления	+	—	+	+	—

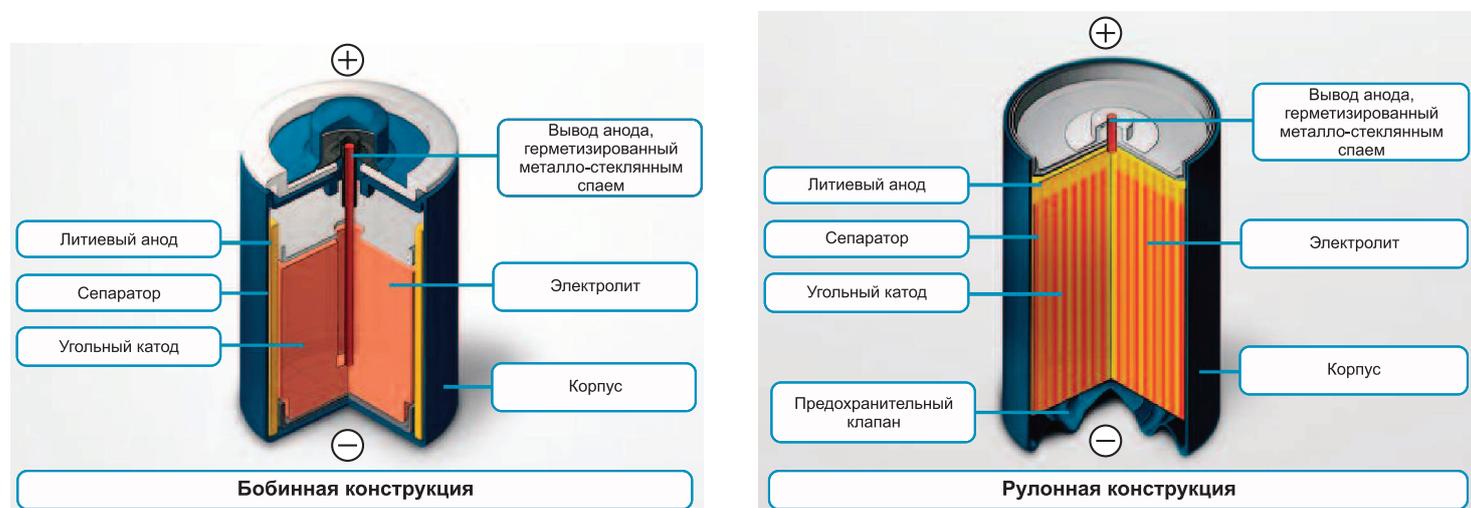


Рис. 2. Конструкция литиевых батареек



Рис. 3. Конструкция литиевого аккумулятора

- литий-ионные аккумуляторы серий **MP174565 Integration xtd** и **MP176065 Integration xtd** с увеличенным сроком службы, диапазоном температур разряда $-40...85^{\circ}\text{C}$ и расширенным диапазоном заряда $-30...85^{\circ}\text{C}$;

- литий-ионные аккумуляторы серии **MP176065 Integration xc** для экстремально низких температур с рабочим диапазоном разряда $-50...60^{\circ}\text{C}$ и диапазоном заряда $-30...60^{\circ}\text{C}$.

Несложно заметить, что одной из особенностей каждой из перечисленных серий является широкий рабочий диапазон температур. При этом есть элементы питания как со сверхвысокой рабочей границей до 150°C , так и со сверхнизкой — до -60°C . Этот факт позволяет выбрать из номенклатуры Saft элемент питания практически для любого приложения (таблица 1).

Устройство и принцип действия литиевых батареек

На сегодняшний день существует несколько основных типов литиевых галь-

Таблица 2. Области применения литий-кобальтовых аккумуляторов Saft

Параметр	Наименование			
	VL 34570	MP 144350	MP 174565 Integration™	MP 176065 Integration™
Форма	Цилиндр	Призма		
Типоразмер	D	—	—	—
Номинальное напряжение, В	3,7	3,75		
Номинальная емкость, А·ч	5,4	2,6	4,8	6,8
Максимальный постоянный ток разряда, А	11	5	10	14
Максимальный импульсный ток разряда, А	21	10	20	30
Максимальный ток заряда, А	5,4	2,6	5	7
Срок службы при глубине разрядки 100% и температуре 20°C, циклов	500		600	
Внешний диаметр, мм	34,2	—	—	—
Толщина, мм	—	14,6	18,1	18,6
Ширина, мм	—	43,9	45,5	60,5
Высота, мм	59,43	54,5	68,7	68,7
Стандартный вес, г	125	68	103	143
Температурный диапазон разряда, °C	-50...60			
Температурный диапазон заряда, °C	-20...60°C			

Таблица 3. Литиевые аккумуляторы с расширенным диапазоном рабочих температур

Параметр	Экстремальный холод	Увеличенный диапазон температур и срок службы		Высокая температура	
	MP 176065 Integration™ xc	MP 174565 Integration™ xtd	MP 176065 Integration™ xtd	VL 25500-12	VL 32600-125
Форма	Призма			Цилиндр	
Типоразмер	—	—	—	C	D
Номинальное напряжение, В	3,65		3,6		
Номинальная емкость, А·ч	6,4	4	5,6	2	4,5
Максимальный постоянный ток разряда, А	13	8	11,2	1	2,3
Максимальный импульсный ток разряда, А	26	16	22,4	1,5	3,4
Максимальный ток заряда, А	6,5	4	5,6	0,5	0,9
Срок службы при глубине разрядки 100% и температуре 20°C, циклов	450	1000		30	
Внешний диаметр, мм	—	—	—	24,34	32,05
Толщина, мм	18,6	18,1	18,6	—	—
Ширина, мм	60,5	45,5	60,5	—	—
Высота, мм	68,7	68,7	68,7	49,2	61,85
Стандартный вес, г	134	97	136	59	139
Температурный диапазон разряда, °C	-50...60	-40...85		0...125	
Температурный диапазон заряда, °C	-30...60	-30...85		0...125	

Таблица 4. Стандартные литий-тионилхлоридных батареи серии LS

Параметр	Наименование						
	LS 14250	LS 14500	LS 17330	LS 17330	LS 17500	LS 26500	LS 33600
Типоразмер	1/2 AA	AA	2/3 A	2/3 A	A	C	D
Конструкция	Бобинная						
Номинальное напряжение, В	3,6						
Номинальная емкость, А·ч	1,2	2,6	2,1	2,1	3,6	7,7	17
Максимальный постоянный ток, mA	35	50	25	25	100	150	250
Максимальный разрядный импульсный ток, А	0,1	0,25	0,12	0,12	0,25	0,3	0,4
Максимальный внешний диаметр, мм	14,55	14,55	16,5	16,5	17,13	26	33,4
Максимальная высота, мм	25,15	50,3	33,4	33,4	50,9	50,4	61,6
Вес, г	8,9	16,7	14,4	14,4	21,9	48	90
Температурный диапазон, °C	-60...85						



Рис. 4. Внешний вид литиевых аккумуляторов общего назначения



Рис. 5. Внешний вид аккумуляторов, предназначенных для работы при низких температурах

ванических элементов на основе следующих систем: литий-тионилхлорид (Li-SOCl₂), литий-диоксид серы (Li-SO₂), литий-диоксид марганца (Li-MnO₂).

Существует два основных конструктивных исполнения литиевых гальванических элементов: бобинное и рулонное (рисунок 2). В случае бобинной конструкции в центре помещен угольный катод, а литиевый анод запрессован на периферии. В рулонной конструкции используется «свертка» анода и катода. Обычно бобинную конструкцию применяют для создания гальванических элементов с большим сроком службы (от 5 и более лет), малыми постоянными

токами разряда и периодическими импульсами до нескольких сотен миллиампер. Рулонные элементы отличаются более высокими токами разряда вплоть до нескольких десятков ампер и несколько меньшей емкостью.

При протекании бурных химических реакций с участием лития может возникать значительный перегрев, что приводит к росту давления, а иногда — к воспламенению и взрыву. Для обеспечения безопасности в конструкции литиевых элементов предусмотрен защитный клапан.

К сожалению, потенциальная взрывоопасность — не единственный недостаток литиевых батареек. Существует

и такое явление как пассивация. Физически она заключается в образовании соляной пленки на поверхности активного вещества, что приводит к изоляции электродов, падению напряжения. Литий — сверхактивный металл, тионилхлорид — сильный окислитель. Реакция между ними будет протекать, даже если батарейка не используется или используется с малой токовой нагрузкой. В результате образуется пленка хлорида лития (LiCl). Анод оказывается изолирован от катода. Эту пленку можно разрушить с помощью кратковременного пропускания повышенного тока. Однако есть тонкий момент. Большинство малопотребляющих устройств в принципе работает с малыми токами. Таким образом, выбор элемента питания с большим выходным током для маломощного портативного устройства — не совсем верный путь. Необходимо выбирать батарейку с номинальным током, близким к току потребления устройства. Кроме того, лучше использовать гальванические элементы тех производителей, которые смогли добиться уменьшения пассивации конструктивным путем. Например, у элементов питания Saft она практически отсутствует.

Говоря об элементах производства компании Saft, стоит отметить и их стабильность при работе с токами и температурами, близкими к максимальным значениям, заявленным в документации. Это гарантирует, что ваше устройство не отключится от внезапной просадки напряжения, как это может происходить при использовании элементов питания менее ответственных производителей.

Устройство и принцип действия литиевых аккумуляторов

Конструкция литиевого аккумулятора во многом сходна с конструкцией литиевых гальванических элементов (рисунок 3). В герметичном корпусе размещены электроды, разделенные пористым сепаратором. Электроды подклю-

Таблица 5. Литий-тионилхлоридные батареи для мощных нагрузок и широких диапазонов рабочих температур

Параметр	Максимальный ток				Высокая температура
	LSH 14 Light	LSH 14	LSH 20	LSH 20-HTS	LSH 20-150
Типоразмер	C	C	D	D	D
Конструкция	Рулонная				
Номинальное напряжение, В	3,6				
Номинальная емкость, А*ч	3,6	5,8	13	11	14
Максимальный постоянный ток, А	1,3	1,3	1,8	1	0,3
Максимальный разрядный импульсный ток, А	2	2	4	3	0,5
Максимальный внешний диаметр, мм	26	26	33,4	33,4	32,05
Максимальная высота, мм	50,4	50,4	61,6	61,6	61,7
Вес, г	51	51	100	100	104,5
Температурный диапазон, °C	-60...85		-60...85		-40...150

Таблица 6. Литий-диоксидмарганцевые батареи серии M

Параметр	Наименование					
	M51	M52	M 56	M 19	M 20	M 62
Типоразмер	2/3 C	C	5/4 C	Short D	D	DD
Конструкция	Рулонная					
Номинальное напряжение, В	3					
Номинальная емкость, А·ч	3,2	5,6	6,7	10,3	12,6	33
Максимальный постоянный ток, А	1	2	2,5	3	3,5	6
Максимальный разрядный импульсный ток, А	2,5	4	6	7,5	8	12
Максимальный внешний диаметр, мм	26,2	26,2	26,2	33,5	34,2	42,5
Максимальная высота, мм	35,3	51,5	61,5	58,5	61,5	133
Вес, г	38	58	70	105	117	355
Температурный диапазон, °С	-40...70					

чен к внешним выводам. Для защиты от перегрузки по току часто применяют встроенные предохранители, а для защиты от взрывов при аварийных ситуациях или нарушениях условий эксплуатации используется предохранительный клапан.

Сейчас в качестве активного вещества в литиевых аккумуляторах выступают различные материалы (графит, соли и окислы металлов). Для получения литиевых аккумуляторов с низкими рабочими температурами применяют кобальт лития.

Основными параметрами аккумуляторов являются:

- форма (как правило, цилиндрическая или призматическая);
- типоразмер (если соответствует стандарту);
- номинальное напряжение;
- номинальная емкость;
- максимальный постоянный ток разряда;
- максимальный импульсный ток разряда;
- максимальный ток заряда;

- срок службы или количество циклов «заряд-разряд»;

- температурный диапазон разряда;
- температурный диапазон заряда.

Диапазоны температур заряда и разряда могут существенно отличаться. Температура заряда, как правило, выше. Это чрезвычайно важно в целом ряде случаев. Если коммерческую портативную электронику можно заряжать дома в тепле, а пользоваться на улице, то военное, космическое и промышленное оборудование не всегда имеет такую возможность. Тем не менее, развитие технологий позволяет создавать литиевые аккумуляторы с очень широкими диапазонами рабочих температур и температур заряда. Ярким примером этого является продукция компании Saft.

Литиевые аккумуляторы общего назначения

Компания Saft выпускает четыре типа аккумуляторов общего назначения: **VL34570**, **MP144350**, **MP174565 Integration™** и **MP176065 Integration™**



Рис. 6. Внешний вид литий-тиониохлоридных батарей Saft

(рисунок 4, таблица 2). Это литий-кобальтовые аккумуляторы. Их общими отличительными чертами являются: широкий диапазон температур разряда и заряда, высокая энергоемкость (до 178 Вт·ч/кг), длительный срок службы, малый вес. Все представленные элементы имеют встроенную защиту от таких негативных явлений как взрыв при

Таблица 7. Литий-диоксидмарганцевые батареи Saft серий M HR и M EX

Параметр	Повышенный выходной ток				ATEX (взрывоопасная среда)	
	M 52 HR	M 19 HR	M 20 HR	M 24 HR	M 52 Ex	M 20 Ex
Типоразмер	C	Short D	D	Big DD	C	D
Конструкция	Рулонная					
Номинальное напряжение, В	3					
Номинальная емкость, А·ч	4,8	10,3	11,5	20	5,6	12,4
Максимальный постоянный ток, А	2	4	4	6	2	3,5
Максимальный разрядный импульсный ток, А	5	10	10	12	4	8
Максимальный внешний диаметр, мм	26,2	33,5	34,2	33,5	26,2	34,2
Максимальная высота, мм	51,5	58,5	61,5	110,5	51,5	61,5
Вес, г	59	107	117	201	58	115
Температурный диапазон, °С	-40...70					

Таблица 8. Литий-диоксидмарганцевые батареи Saft серии LM

Параметр	Наименование			
	LM 17130	LM 17500	LM 26500	LM 33600
Типоразмер	1/3 A	A	C	D
Конструкция	Рулонная			
Номинальное напряжение, В	3			
Номинальная емкость, А·ч	0,5	3	7	13
Максимальный постоянный ток, А	0,3	1,5	2	4
Максимальный разрядный импульсный ток, А	0,4	2	4	8
Максимальный внешний диаметр, мм	16,7	17,5	26,2	34,2
Максимальная высота, мм	16,33	51,5	51,5	61,5
Вес, г	8	28	60	114
Температурный диапазон, °С	-40...70			



Рис. 7. Литий-диоксидмарганцевые батареи Saft серии M

перегреве, короткое замыкание, перезаряд, глубокий разряд.

Данная группа элементов питания используется, в основном, в коммерческом и специальном оборудовании с повышенными требованиями к надежности: в системах навигации, маломощных системах резервного питания, портативных радио-передатчиках, портативных газоанализаторах и даже электровелосипедах.

Если же диапазон рабочих температур представленных элементов недостаточен, то стоит обратиться к уникальным предложениям от компании Saft: сериям XС, XTD, VL 25500-12 и VL 32600-125.

Литиевые аккумуляторы с расширенным диапазоном рабочих температур

Литиевые аккумуляторы серий MP 176065 Integration™ хс, MP 174565 Integration™ xtd, MP 176065 Integration™ xtd, VL 25500-12 и VL 32600-125 — уникальные продукты Saft (рисунок 5, таблица 3). Они позволяют

разработчикам применять аккумуляторное питание в самых широких температурных диапазонах и даже при экстремально низких температурах.

У серий MP 174565 Integration™ xtd и MP 176065 Integration™ xtd есть три ключевых особенности:

- диапазон температур заряда достигает -30...85°С. При этом рабочий диапазон температур разряда (-40...85°С) несколько меньше, чем у рассмотренных выше стандартных МР-аккумуляторов (-50...60°С);
- максимальный срок службы среди всех аккумуляторов Saft — до 1000 циклов заряда-разряда;
- соответствие требованиям МЭК 60079-11 для взрывоопасных сред.

Основными областями применения данных элементов питания стали системы резервного питания для промышленных приложений, медицинская техника, системы навигации, нефтегазовое оборудование, «Интернет вещей» (IoT), автомобильные приложения.

MP 176065 Integration™ хс используются в различных областях, таких как военные и корабельные системы, нефтегазовое оборудование, профессиональная электроника.

VL 25500-12 и VL 32600-125 — литиевые цилиндрические аккумуляторы, ориентированные на работу в условиях повышенных температур. Главной областью применения этих аккумуляторов стала нефтегазовая сфера и различные системы термической стерилизации.

Стоит отметить, что широким рабочим диапазоном отличаются не только аккумуляторы Saft. В линейке компании присутствует широкий выбор гальванических элементов (батарей), позволяющих работать с еще более широким диапазоном температур до -60 и до 150°С!

Литий-тионилхлоридные батареи Saft

Компания Saft предлагает три серии литий-тионилхлоридных батарей: базовая серия LS, серия LSH с повышенным током разряда и серия LSH20-150 для повышенных температур (рисунок 6, таблицы 4 и 5).

Батареи серии LS имеют бобинную структуру и предназначены для длительных сроков службы при небольших разрядных токах от десятков до нескольких сотен микроампер. Их следует выбирать для маломощных потребителей, чтобы обезопасить себя от негативного эффекта пассивации.

Существует широкий выбор типоразмеров от 1/2 AA с емкостью 1,2 А·ч (LS14250), до D с емкостью 17 А·ч (LS33600)

Батареи LSH отличаются рулонной конструкцией и повышенным максимальным разрядным током. Например, для LSH-20 постоянный ток достигает 1,8 А, а кратковременный — 4,0 А.

Батареи **LSH 20-150** предназначены для работы в расширенном диапазоне температур $-40...150^{\circ}\text{C}$ в составе малопотребляющих устройств (постоянный ток разряда — до 300 мА).

Важным достоинством литий-тионилхлоридных батарей производства компании Saft является минимальный саморазряд, незначительная пассивация и высокий уровень безопасности.

Литий-диоксидмарганцевые батареи Saft

Компания Saft выпускает литий-диоксидмарганцевые батареи, которые можно разделить на четыре группы: базовая группа батарей серии **M**, батареи с повышенным током **M HR**, батареи для взрывоопасных сред **M EX**, мощные батареи серии **LM** (рисунок 7, таблицы 6, 7, 8). Для них характерны следующие особенности:

- рулонная конструкция;
- номинальное напряжение: 3 В;
- различные типоразмеры от 1/3 А с емкостью 0,5 А·ч (**LM 17130**) до типоразмера DD с емкостью 33 А·ч (**M 62**);
- пиковый ток: до 8 А (**LM 33600**);
- диапазон рабочих температур: $-40...70^{\circ}\text{C}$;
- минимальные саморазряд и потеря емкости в течении срока службы;

• доступность моделей, соответствующих требованиям по взрывобезопасности МЭК 60079-11 (**M 52 Ex**, **M 20 Ex**);

• минимальный уровень пассивации.

Основными областями применения батарей этого сегмента стали радиопередатчики, счетчики потребления, системы безопасности, системы навигации и маршрутизации, GSM/GPRS-приемопередатчики. Батареи M HR используются в тех же областях, но для более мощных приложений.

Батареи серии M EX применяют в сверхответственных приложениях: в промышленных счетчиках энергии, в нефтегазовой отрасли, в тех приложениях, которые требуют высокого уровня безопасности.

Заключение

Компания Saft выпускает широкий спектр литий-тионилхлоридных, литий-диоксид-марганцевых и литий-ионных аккумуляторов.

Элементы питания Saft характеризуются высокой удельной емкостью и значительными разрядными токами. Кроме того, их отличительными чертами являются широкий диапазон рабочих темпе-

ратур, минимальная пассивация батарей, высочайшая стабильность даже при работе с токами и температурами, близкими к максимальным значениям.

Отдельно стоит отметить серии уникальных аккумуляторов **MP174565 Integration xtd** и **MP176065 Integration xtd** с допустимым температурным диапазоном заряда $-30...85^{\circ}\text{C}$. А так же серию **MP176065 Integration xc**, предназначенную для экстремально низких температур и способную работать в диапазоне $-50...60^{\circ}\text{C}$ и заряжаться в диапазоне $-30...60^{\circ}\text{C}$.

Это позволяет разработчикам использовать аккумуляторное и батарейное питание даже в тех сферах, где ранее применение ХИТ было ограничено: в военной технике, нефтегазовом оборудовании, энергетике, корабельном и морском оборудовании и других.

Литература

1. <http://www.saftbatteries.com/>

Получение технической информации,
заказ образцов, поставка –
e-mail: ac-dc-ac.vesti@compel.ru



Литиевые аккумуляторы для жестких условий

- Разряд и заряд при отрицательной температуре
- Увеличенный срок службы при экстремальных температурах
- Усиленная конструкция для промышленного применения



Наименование	MP 174565 int	MP 176065 int	MP 174565 int xtd	MP 176065 int xtd	MP 176065 int xc
Емкость, А·ч	4,8	6,8	4	5,6	6,4
Количество циклов заряда-разряда (100%)	>600	>600	1000	1000	450
Температура разряда, °C	-50...60	-50...60	-40...85	-40...85	-50...60
Температура заряда, °C	-20...60	-20...60	-30...85	-30...85	-30...60

Москва
Тел.: (495) 995-0901, доб. 2361
Миронов Сергей
E-mail: s.mironov@compel.ru

Компэл
www.compel.ru

Сергей Миронов (КОМПЭЛ)

ЛИТИЕВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА: НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ



Возможно ли рассчитать остаточный заряд химического источника тока (ХИТ)? Для каких применений предпочтительнее литий-тионилхлоридные батареи, а для каких – литий-диоксидмарганцевые? Что такое пассивация, из-за чего она происходит и как с ней бороться? Обо всем этом на примере литиевых химических источников тока крупнейших мировых производителей EEMB и SAFT расскажет данная статья.

Одновременно с бурным развитием беспроводных технологий резко увеличилось и количество промышленных устройств, имеющих в своем составе гальванические элементы на основе лития (приборы учета энергоресурсов и датчики контроля с дистанционным сбором информации, GPS-трекеры/навигаторы, автоохраняемые системы, охранно-пожарные датчики и другие). Это объясняется тем, что по энергетическим параметрам указанные элементы питания значительно превосходят изделия других существующих типов, таких как щелочные, серебряные, хлоридцинковые. Промышленные устройства, как правило, рассчитаны на длительный период службы, эксплуатируются в широком температурном диапазоне, и по этой причине перечисленные источники тока во многих случаях уже не являются оптимальным выбором. У них невысокая плотность энергии, высокий саморазряд, короткий срок хранения/службы, они плохо переносят отрицательные температуры (ниже $-20...-30^{\circ}\text{C}$), а их напряжение имеет заметную зависимость от величины остаточной емкости. Поэтому, в промышленных устройствах наиболее востребованными оказались литиевые химические источники тока (ЛХИТ), которые не имеют подобных недостатков, или они слабо выражены.

Литиевые химические источники тока обладают максимальным значением плотности энергии и характеризуются повышенным номинальным напряжением по сравнению с другими типами элементов питания. Напряжение литиевого гальванического элемента, если рассматривать наиболее распространенные, имеет значение $2,9...3,6\text{ В}$ против $1,2...1,5\text{ В}$ у других типов, при этом

напряжение имеет слабо выраженную зависимость от степени разряда (рисунок 1). Поэтому во многих устройствах можно обойтись всего лишь одним элементом. Дополнительным фактором, способствующим более широкому применению ЛХИТ, является и тенденция снижения стоимости как результат развития технологий производства.

Литиевые гальванические элементы питания в различных форм-факторах (цилиндрические, «таблетка», призма) выпускаются в промышленных масштабах уже около 25-30 лет. На рынке можно встретить источники тока многих электрохимических систем, в частности, среди первичных источников тока (гальванические элементы; батарейки) это будет литий-тионилхлорид (Li-SOCl_2), литий-диоксид серы (Li-SO_2), литий-хромат серебра ($\text{Li-Ag}_2\text{CrO}_4$), литий-сульфид меди (Li-CuS), литий-диоксид марганца (Li-MnO_2), литий-монофторид углерода (Li-CFx) и другие. Некоторые из указанных систем известны только в узких специализированных сегментах, например, в медицине для использования в кардиостимуляторах или в специальных изделиях военного назначения.

На массовом рынке среди первичных источников тока наиболее извест-

ны литий-тионилхлоридные и литий-диоксидмарганцевые. Если учитывать в совокупности технические, экономические и эксплуатационные особенности, то абсолютно идеального химического источника тока для любого применения пока еще не существует. Можно говорить лишь об оптимальности параметров в каждом конкретном применении.

Несмотря на то, что ЛХИТ выпускаются длительное время и достаточно известны, тем не менее, есть некоторые особенности их применения, на которые необходимо обращать серьезное внимание. Пренебрежение этими особенностями или их игнорирование зачастую приводит к тому, что выбранный ЛХИТ не обрабатывает ресурс, на который был рассчитан, не может обеспечить требуемый импульсный ток, не держит напряжение; устройство отказывается работать при установке в него нового элемента или после длительного периода ожидания оно вдруг не срабатывает, хотя элемент питания еще не успел разрядиться.

Все эти особенности можно условно разделить на особенности общего характера, которые не зависят от электрохимической системы, а связаны с правильностью предварительных расчетов и умением разработчика читать спецификацию, и на особенности, которые непосредственно связаны с электрохимической системой элемента питания.

В таблице 1 указаны некоторые типовые значения основных параметров наиболее распространенных первичных ЛХИТ производства компаний EEMB и SAFT. Такие параметры как стоимость

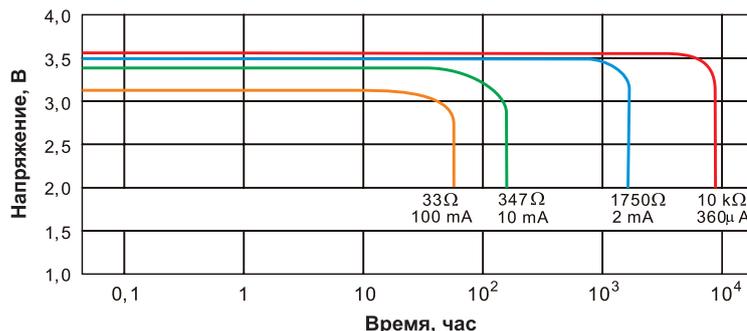


Рис. 1. Разрядные кривые литий-тионилхлоридного гальванического элемента питания ER18505

Таблица 1. Типовые значения параметров ЛХИТ производства EEMB и SAFT

Технология	Литий-тионилхлорид (Li-SOCl ₂)		Литий-диоксидмарганца (Li-MnO ₂)		
	EEMB	SAFT	EEMB	SAFT	EEMB
Производитель	EEMB	SAFT	EEMB	SAFT	EEMB
Форм-фактор	цилиндрический		цилиндрический		«таблетка»
Напряжение, В	3,6		3		
Температурный диапазон, °С	-55...150	-60...150	-40...85	-40...70	-20...125
Саморазряд, % в год	1		1		1...3
Срок хранения (нормальные условия), лет	до 15...20		до 10...15		до 7
Сравнительная энергоёмкость	***		**		
Сравнительная стоимость	**	****	***	*****	*
Пассивация	есть	слабо выраженная	нет		

и энергоёмкость показаны условно (звездочками) исключительно для сравнительных целей.

Как видно из таблицы, лучшими техническими и экономическими параметрами среди цилиндрических элементов обладает литий-тионилхлоридный. Данный тип электрохимической системы имеет максимальное напряжение, лучшую энергоёмкость, самый низкий саморазряд и минимальную стоимость (сравнение между изделиями одного производителя, но не между производителями). На основе этой системы можно найти батарею практически для любого температурного диапазона с перекрытием от -60 до 150°С и с максимальным током разряда от нескольких десятков миллиампер до нескольких ампер (в зависимости от конструкции элемента, — «бобинной» (высокоёмкой) или «спиральной» (высокомощной), — и его габаритов). Казалось бы, вот идеальная батарейка, но не все так однозначно. Если мы имеем исключительные харак-

теристики, то непременно найдется что-то не очень приятное.

В данном случае неприятность связана с эффектом пассивации. Принципиально эффект пассивации есть у всех литий-тионилхлоридных элементов всех производителей, но у кого-то он выражен сильнее, а у кого-то слабее. Например, в продукции французского производителя SAFT этот эффект выражен значительно слабее по сравнению с производителем EEMB или другими. С другой стороны, продукция SAFT имеет существенно более высокую стоимость. Разница в стоимости может достигать 2,5...3 раза.

Поскольку подавляющее количество претензий к тионил-хлоридным элементам связано с пассивацией, рассмотрим подробнее этот эффект. Сразу заметим, что этот процесс обратимый, и пассивированный элемент не является бракованным, но перед использованием его следует депассивировать (активировать). Как это сделать, рассказано ниже.

Эффект пассивации заключается в образовании изолирующей пленки (хлорида лития) на поверхности литиевого анода в процессе производства элемента. Пленка образуется из-за химической реакции, возникающей еще во время сборки элемента. Образовавшаяся пленка прекращает химическую реакцию и резко уменьшает ток саморазряда, в результате чего мы имеем элемент с длительным сроком хранения (до 15-20 лет при нормальных условиях) практически без ухудшения параметров. Но есть и отрицательная сторона этого процесса. Если к элементу подключить нагрузку, потребляющую достаточно большой ток, то на нагрузке в начальный момент времени окажется пониженное напряжение около 2,3...2,7 В (и даже меньше), хотя на холостом ходу напряжение будет нормальным 3,3...3,6 В. Это происходит из-за того, что образовавшаяся пленка имеет низкую проводимость и не может разрушиться мгновенно, препятствуя протеканию тока.

Степень пассивации элемента (толщина пленки) зависит от времени и условий его хранения, а также от режима эксплуатации. Чем больше период хранения и выше температура, тем толще пленка. Значительные негативные проявления эффекта пассивации начинаются после 5-6 месяцев хранения в нормальных условиях либо как результат длительного использования элемента в микротоковом режиме (единицы микроампер).

В реальной жизни часто встречаются устройства, работающие большую часть времени в ждущем (микротоковом) режиме (например, датчики). Приборы длительное время потребляют ток несколько микроампер или десятков микроампер, а по свершению некоторого события должны включиться в режим среднего или большого энергопотребления. В этом случае, если в прибор установлена батарея после длительного хранения или режим микропотребления длился очень долго, переход в режим повышенного энергопотребления может

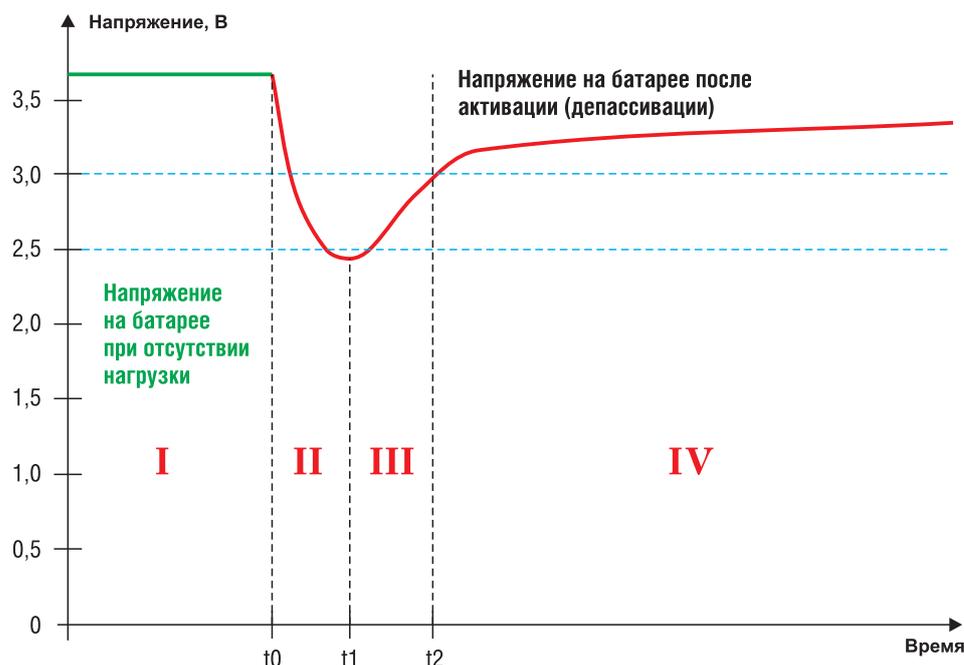


Рис. 2. Напряжение на элементе в процессе депассивации

и не произойти. Элемент выдаст пониженное напряжение, и устройство не включится.

Пониженное напряжение в меньшей степени влияет на устройства с малым потреблением тока. В момент подключения такой нагрузки напряжение на элементе снизится незначительно, и устройство будет работать, однако, если ток очень мал (несколько микроампер), то процесс пассивации может продолжиться, и в какой-то момент времени работа устройства станет нестабильной.

При подключении нагрузки, потребляющей несколько миллиампер (средняя нагрузка), произойдет понижение напряжения, и затем через некоторое время оно восстановится до нормального значения. Это объясняется тем, что при потреблении указанного тока имеющаяся пленка с течением времени разрушится, а постоянно протекающий или протекающий с достаточно короткими промежутками времени ток будет препятствовать ее образованию, и устройство будет работать стабильно.

Пониженное напряжение на элементе в момент подключения нагрузки, потребляющей большой ток (десятки миллиампер), может нарушить ее работу, или же она просто не включится. Замена элемента на новый (только что купленный и не бывший в эксплуатации) ситуацию не исправит, а проверка нагрузки покажет, что с ее схемой все в порядке.

Подобный случай встречался в практике автора статьи. Во время работы на одном из предприятий пришлось подготавливать изделие к серийному выпуску. Изделие состояло из нескольких отдельных устройств, одно из которых имело особенность — его рабочий режим был импульсным с достаточно большим током потребления (пульт дистанционного управления). Источником питания в изделии являлись литиевые элементы. В то время (начало 90-х) подобные элементы были не особенно распространены, и отдел закупок приобрел партию похожих по напряжению изделий. Эти элементы были установлены в устройства, и оказалось, что у всех устройств, уже проверенных и настроенных, резко сократилась дальность связи. Посчитали, что элементы долго хранились и потеряли часть емкости (они и на самом деле хранились достаточно долго). Была закуплена еще одна партия элементов (более «свежих») — ситуация кардинально не улучшилась. Когда стали разбираться, выяснилось, что данные элементы являются тионил-хлоридными и обладают эффектом пассивации. Проблему смогли решить некоторой доработкой схемы. Внутри устройства подключили несколько дополнительных электролитических конденсаторов параллельно разъему питания. Первые

включения устройства стали происходить за счет части энергии, накопленной в конденсаторах, и, одновременно с этим, импульсы тока депассивировали элемент.

Литий-тионилхлоридные элементы, которые перед использованием хранились полгода и более, необходимо депассивировать, т. е. разрушить изолирующую пленку хлорида лития импульсом тока. На рисунке 2 представлен график, поясняющий депассивацию литий-тионилхлоридных первичных источников тока. На графике имеются четыре области.

I: показывает напряжение на элементе в отсутствии нагрузки (холостой ход; 3,6 В);

II: при подключении нагрузки в момент времени t_0 возникает импульс тока, который приводит к резкому уменьшению напряжения на элементе до уровня 2,4 В.

III: происходит разрушение основной части площади изолирующей пленки и напряжение на элементе возрастает до 3 В. При достижении напряжения 3,0 В с подключенной нагрузкой считается, что депассивация выполнена.

IV: происходит дальнейшее разрушение оставшейся части площади пленки и напряжение постепенно повышается до номинального значения.

Для активации ни в коем случае нельзя делать короткое замыкание выводов элемента питания. Подобный метод приведет к выходу элемента из строя. Существуют рекомендованные производителем допустимые режимы (ток и время) депассивации. В таблице 2 указаны режимы депассивации для некоторых элементов компании ЕЕМВ.

Поскольку прохождение тока приводит к разрушению диэлектрической пленки, то во избежание пассивации элемента в устройстве, длительное время работающем в режиме ожидания или в режиме микротоков, необходимо предусмотреть алгоритм периодического включения этого устройства или периодическое подключение дополнительной нагрузки к элементу питания. Если в устройстве есть микроконтроллер, то организовать это несложно и можно выполнить на программном уровне. Если по каким-то причинам это невозможно, то следует реализовать непрерывный разряд элемента небольшим током. Например, для предварительно депассивированного элемента **ER14505** (тип AA) производитель ЕЕМВ рекомендует постоянный ток разряда на уровне 7...10 мкА. В любом случае, для устройства, работающего в режиме микротоков или в импульсном режиме с длительными периодами ожидания, сле-

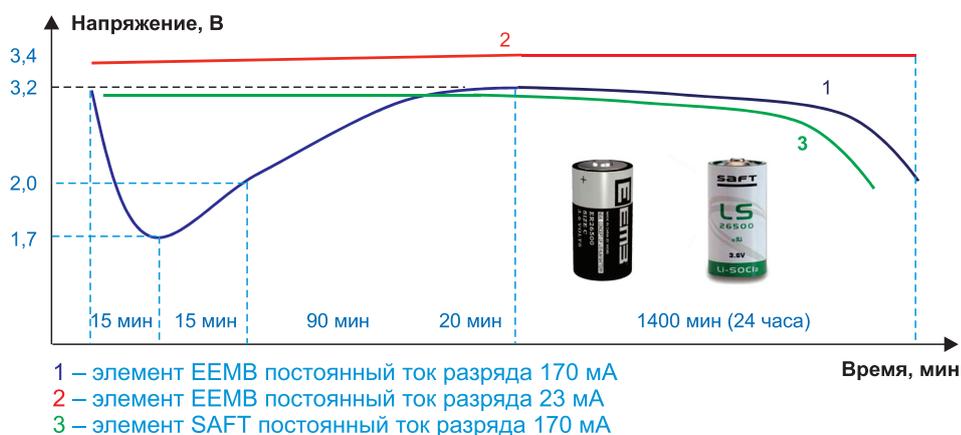


Рис. 3. Разряд постоянным током

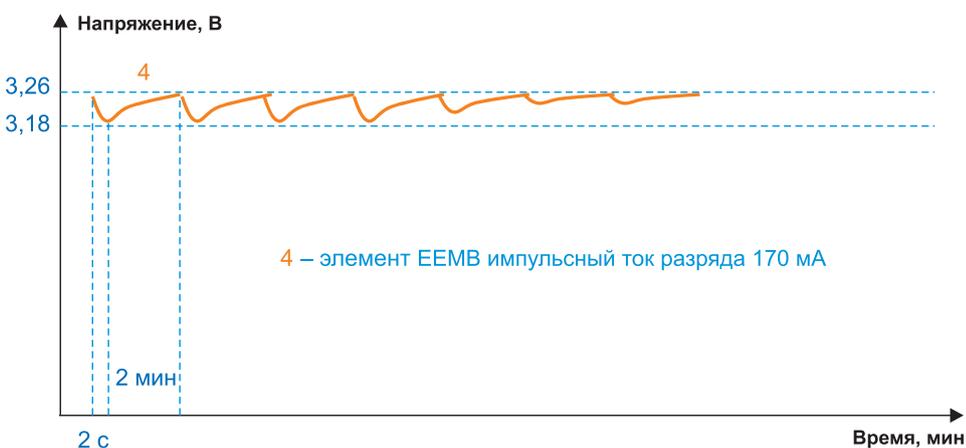


Рис. 4. Разряд импульсным током

Таблица 2. Режимы депассивации для ЛХИТ производства ЕЕМВ

Наименование	Ток активации/ нагрузочное сопротивление	Время хранения/время активации			Критерий проверки (активации)*		
		3 месяца	6 месяцев	12 месяцев и более	Напряжение холодного хода, В	Нагрузка, Ом	Напряжение на нагрузке, В
ER14250	10 мА/330 Ом	10 мин.	20 мин.	35 мин.	≥3,6	330	≥3,2
ER14335	15 мА/220 Ом	10 мин.	20 мин.	35 мин.	≥3,6	220	≥3,2
ER14505	20 мА/165 Ом	10 мин.	20 мин.	35 мин.	≥3,6	165	≥3,2
ER17335	20 мА/165 Ом	10 мин.	20 мин.	35 мин.	≥3,6	165	≥3,2
ER18505	33 мА/100 Ом	10 мин.	20 мин.	35 мин.	≥3,6	100	≥3,2
ER26500	60 мА/56 Ом	10 мин.	20 мин.	35 мин.	≥3,6	56	≥3,2
ER34615	60 мА/56 Ом	10 мин.	20 мин.	35 мин.	≥3,6	56	≥3,2
ER341245	100 мА/33 Ом	10 мин.	20 мин.	35 мин.	≥3,6	33	≥3,2
ER14250M	60 мА/56 Ом	10 мин.	15 мин.	30 мин.	≥3,6	56	≥3,2
ER14335M	60 мА/56 Ом	10 мин.	15 мин.	30 мин.	≥3,6	56	≥3,2
ER14505M	100 мА/33 Ом	10 мин.	15 мин.	30 мин.	≥3,6	33	≥3,2
ER17335M	100 мА/33 Ом	10 мин.	15 мин.	30 мин.	≥3,6	33	≥3,2
ER18505M	100 мА/33 Ом	10 мин.	25 мин.	35 мин.	≥3,6	33	≥3,2
ER26500M	150 мА/22 Ом	10 мин.	25 мин.	35 мин.	≥3,6	22	≥3,2
ER34615M	150 мА/22 Ом	10 мин.	25 мин.	35 мин.	≥3,6	22	≥3,2

* – Проверку по критерию активации проводить через 1 час после депассивации.

дует вначале проконсультироваться с производителем или его представителем по профилю разряда на предмет пассивации и получить рекомендации, как ее избежать, если по выбранному профилю она может возникнуть.

Особенность поведения элемента после депассивации

С пассивацией/депассивацией связан еще один нюанс. Бывает, что депассивированный элемент пытаются проверить, подключая к нему нагрузку, близкую к максимальной. Например, если в спецификации указан максимальный постоянный ток 200 мА, то подключают соответствующую нагрузку и, наблюдая за показаниями прибора в режиме измерения напряжения, видят в течение какого-то времени постепенное понижение напряжения на несколько десятых долей вольта. На основании этого делается вывод о том, что элемент разряжен и у него недостаточная емкость. Однако последующие проверки показали, что это не всегда так.

При подключении нагрузки на более длительный период времени (15...20 минут) после спада напряжения можно увидеть его последующий рост до 3,2 В и даже выше. Если же нагрузку коммутировать в импульсном режиме с максимальным током для выбранного элемента, то в момент подключения наблюдается незначительное снижение напряжения с последующим восстановле-

нием в момент отключения нагрузки, а уже через некоторое количество таких коммутаций напряжение имеет значение 3,2...3,3 В и практически не меняется. Проверка на токе, в несколько раз превышающем номинальный, показала стабильное напряжение 3,4 В с небольшим ростом до 3,5 В.

Было проведено несколько подобных экспериментов с различными тионил-хлоридными элементами. Один из результатов эксперимента показан на рисунках 3 и 4. Во всех проведенных экспериментах батарейки отдали емкость, близкую к той, которая должна быть при выбранном токе разряда конкретного элемента. По информации от производителя, при разряде постоянным током, имеющим значение, сравнимое с максимальным, емкость элемента может снизиться до 40...50% по отношению к указанной в спецификации (рисунок 5). Для элементов, участвующих в эксперименте (три элемента **ER26500** (ЕЕМВ) и один элемент **LS26500** (SAFT)) номинальный ток разряда, указанный в спецификации, составляет 2 мА (ЕЕМВ) и 4 мА (SAFT), а максимальный ток разряда – 200 мА и 150 мА соответственно. Емкость элементов ЕЕМВ 9,0 А·ч (при токе 2 мА), SAFT 7,7 А·ч (при токе 4 мА). Причем, элемент SAFT был практически новым и не подвергался предварительной депассивации, а элементы ЕЕМВ были со сроком хра-

нения около одного года и предварительно были депассивированы в соответствии с данными в таблице 2.

Конечно, снижение напряжения на элементе 1 до 1,7 В при максимальном постоянном токе – это существенно ниже, чем напряжение отсечки многих устройств, и при таком напряжении устройства просто не работают. Однако следует учесть важный момент. На выбранном значении тока элемент/устройство отработает всего лишь сутки, что очень мало. Это показывает, что разряд или продолжительная проверка элемента на максимальном токе в большинстве случаев лишена смысла, поскольку на практике такой режим не используется (в устройстве пришлось бы менять батарейку каждые сутки).

На практике чаще используется импульсный режим или режим разряда небольшим током. А именно при таких режимах депассивированные элементы, которые можно было бы вначале забраковать, повели себя приемлемо.

Результаты данного эксперимента можно объяснить тем, что при проведении первой депассивации элемент мог быть не полностью восстановлен (изначально была глубокая пассивация). А последующий разряд его просто полностью восстановил. Только при разряде повышенным током элемент как бы еще раз прошел процесс активации, и мы это увидели, а при разряде импульсным током или относительно неболь-

шим током (кривая 2) этот процесс прошел незаметно для нас.

Результаты проведенных экспериментов не говорят, что всегда будет именно такая картина. Много может зависеть от конкретной партии элементов и условий ее хранения. Тем не менее, результат показателен тем, что все батарейки, которые по предварительным данным можно было считать свежими, оказались заряженными. Поэтому если на практике депассивированный или новый элемент при подключении нагрузки с током, близким к максимальному значению, покажет вначале снижение напряжения, то не следует его сразу браковать, а нужно попробовать разрядить его, наблюдая за поведением напряжения, и уже на основании этого сделать окончательный вывод с учетом предполагаемого алгоритма работы устройства.

Емкость гальванического элемента

На практике у разработчиков и пользователей всегда имеется вопрос по реальной емкости гальванического элемента питания. Емкость батарейки наряду с ее напряжением являются самыми важными параметрами. Зная реальную емкость и точный алгоритм работы устройства, всегда можно было бы точно предсказать срок службы устройства или момент, когда нужно заменить батарейку. Это крайне важно при использовании ЛХИТ. Как видно из рисунка 1, по контролю напряжения предсказать время разряда элемента очень сложно, поскольку кривая разряда — пологая. И только непосредственно перед самым разрядом напряжение элемента быстро понижается, и можно просто не успеть заменить вовремя батарейку.

Можно ли точно или с достаточной степенью точности узнать остаточную (имеющуюся в каждый момент времени) реальную емкость батарейки? К сожалению, нельзя! Узнать точную емкость элемента питания можно, только разрядив его полностью, но эта информация уже будет не актуальна, поскольку элемент нельзя использовать повторно. Даже если исходить из того факта, что производитель не лукавит и честно указывает в спецификации емкость элемента питания, а в устройстве реализован подсчет расходуемой энергии, то и в этом случае нельзя точно предсказать остаточную емкость. Почему? — Это можно понять, если рассмотреть график зависимости емкости элемента от тока разряда при различных температурах (рисунок 5).

Из графика следует, что при различном токе потребления при постоянной нормальной температуре емкость элемента меняется от 7,7 А·ч до 3,9 А·ч. Причем следует помнить, что подобные графики снимаются при постоян-

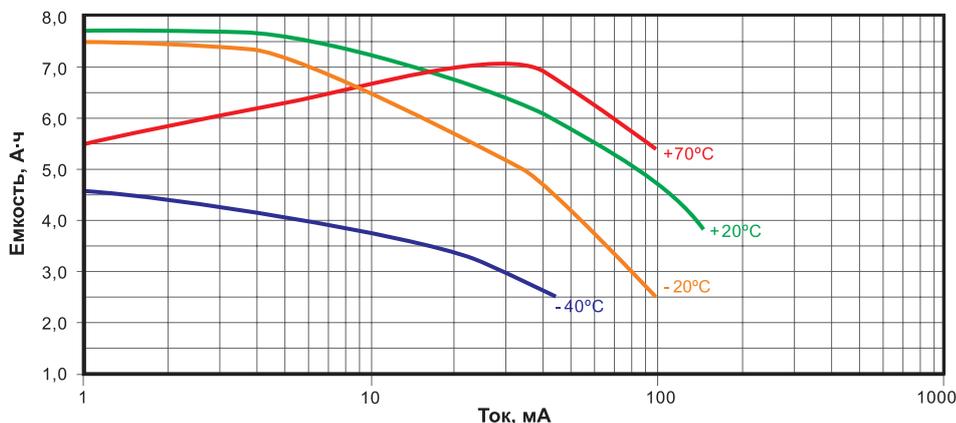


Рис. 5. Зависимость емкости от тока разряда для LS26500 (SAFT)

ном непрерывном токе разряда. В работающем устройстве подобный режим практически невозможен. Как правило, в устройстве потребление тока носит переменный характер. Какую-то часть времени устройство работает на малом токе, даже меньше чем 1 мА (ограничение на приведенном графике), а какую-то часть времени — на другом значении тока, вплоть до максимального. Кроме того, устройство работает в широком температурном диапазоне, и от этого тоже зависит емкость элемента. Причем при каком-то значении температуры емкость увеличивается с ростом тока (70°C на графике), а при каком-то — уменьшается. Например, если устройство постоянно потребляет ток 20 мА, то в диапазоне температур -40...70°C емкость его будет меняться от 3,4 А·ч до 7 А·ч — и уменьшаться, и увеличиваться. И кстати, непонятно, при какой температуре емкость начинает расти совместно с увеличением тока. На приведенном графике эта температура 70°C, а возможно, такой же характер будет и при 60°C? Чтобы это знать, требуется снять семейство кривых с очень малым

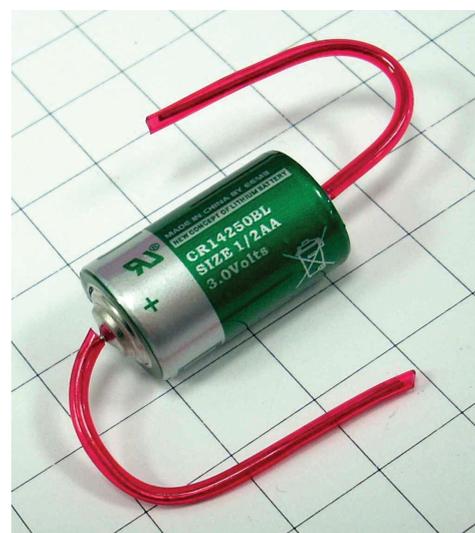
шагом, и все равно практической пользы от этого не будет.

Кроме зависимости от тока и температуры, есть и дополнительные факторы, например, после импульса тока, когда устройство переходит в режим микропотребления, часть активного вещества батарейки расходуется на пассивацию (новое образование пленки), и чем больше импульсов, тем больше тратится этого вещества, а следовательно — и энергии. Даже если в устройстве наряду с подсчетом энергии имеется и контроль температуры, чтобы вводить поправочные коэффициенты, все равно нельзя точно определить остаточную емкость батарейки. Поэтому существует такое понятие, как эффективность (коэффициент) использования батареи.

Коэффициент использования батарейки показывает, какая часть энергии будет использована, а какая просто уйдет в потери, связанные с зависимостью от тока потребления, температуры, саморазряда, с токами утечки на печатной плате, с пассивацией/депассивацией, влажностью среды (как это



а)



б)

Рис. 6. ЛХИТ производства EEMB: а) ER14505; б) CR14250

ни странно) и другими факторами. Коэффициент использования батареи всегда меньше 100%.

Производители химических источников тока рекомендуют использовать примерно такие значения коэффициента:

- для сильноточных устройств (средний ток несколько десятков мА) — ресурс 3-6 месяцев, от батареи можно взять до 95%.

- для устройств со средним потреблением (единицы мА) — ресурс 2-3 года, от батареи можно взять до 85-90%

- для устройств с малым потреблением (менее 1 мА) — ресурс 3-5 лет, от батареи можно взять до 60-70%

- для устройств с микропотреблением (единицы и десятки мкА) — ресурс 5-10 лет, от батареи можно взять не более 50-60%.

Выбирая гальванический элемент, следует ориентироваться на значение тока, при котором указана его емкость, и выбрать тот элемент, в котором это значение будет ближе к предполагаемому режиму работы устройства с учетом других параметров.

Пример выбора типа химии гальванического элемента

Из таблицы 1 видно, что наиболее выгодным в экономическом и техническом плане является тионил-хлоридный

элемент. Интересно посмотреть, для любых ли применений это так? Рассмотрим на простом примере. Пусть нам требуется гальванический элемент для питания CMOS-памяти в устройстве. Ток потребления 5 мкА, напряжение питания 1,8...5,5 В, срок службы 10 лет (90 тыс. часов). Примем ток утечки на плате равным 0,2 мкА.

Выберем вначале тионил-хлоридный элемент. Чтобы элемент не запассивировался в устройстве, его необходимо постоянно нагрузить так, чтобы общий ток был более 10 мкА. Примем с небольшим запасом ток равным 12 мкА. Тогда за требуемый срок службы элемент должен отдать емкость $90000 \text{ ч} \times 12 \text{ мкА} = 1,08 \text{ А}\cdot\text{ч}$. Принимая во внимание ток утечки (0,2 мкА) и саморазряд (1% в год), получим, что требуемая емкость составит 1,21 А·ч. Учитывая коэффициент использования батареи (60%), нам следует выбрать элемент с емкостью не менее 2,01 А·ч. Такую емкость имеет элемент **ER14505** (2,4 А·ч) стоимостью примерно 1,77\$ (при определенном объеме закупки).

Проведя аналогичный расчет для литий-диоксидмарганцевого элемента, получим, что нужно выбрать элемент с емкостью не менее 0,88 А·ч. Здесь мы уже не учитываем дополнительный депассивирующий ток. Принимая тот же самый коэффициент использования ба-

тареи, имеем, что можно выбрать элемент **CR14250BL** (0,9 А·ч) стоимостью примерно 1,61\$ (при определенном объеме закупки). Причем, элемент CR14250BL в два раза меньше по габаритам по сравнению с ER14505 (рисунок 6).

Приведенный пример показывает, что в данном случае выгоднее использовать элемент на основе литий-диоксидмарганцевой электрохимической системы, хотя по предварительным данным (таблица 1) он был менее выгодным. Это получилось потому, что при использовании литий-тионилхлоридного элемента мы были вынуждены заложить дополнительные потери на то, чтобы не допустить пассивации элемента. Эти потери (ток 7 мкА) по сути даже больше, чем ток питания памяти (5 мкА). Отсюда можно сделать вывод, что тионил-хлоридные элементы выгоднее применять тогда, когда полезная потребляемая энергия больше, чем дополнительные потери на недопущение пассивации.

Заключение

На рынке ЛХИТ имеется большой спектр производителей, широко известных и не очень. Как правило, параметры, указанные в спецификациях этих производителей, очень похожи друг на друга, если рассматриваются элементы одного и того же форм-фактора и типа. Однако стоимость элементов различных производителей может отличаться в несколько раз. По опыту применения этих элементов можно сказать, что если они большую часть времени эксплуатируются в нормальных условиях в режиме, не сильно отличающемся от номинального, то и поведение их будет схожим. В этом случае можно выбрать менее дорогой элемент, например, производства компании ЕЕМВ. Эта компания присутствует на рынке ЛХИТ более 20 лет, из них 15 лет — на российском рынке, причем — с положительными отзывами. Однако если устройство должно работать в режимах, близких к граничным по электрическим параметрам и по условиям эксплуатации, если предполагается работа устройства в течение длительного времени (более 10-12 лет), есть повышенные требования к надежности и безопасности устройства, то следует выбирать продукцию таких компаний, как SAFT. Эта компания работает в области ЛХИТ уже более 50 лет и является общепризнанным мировым эталоном.



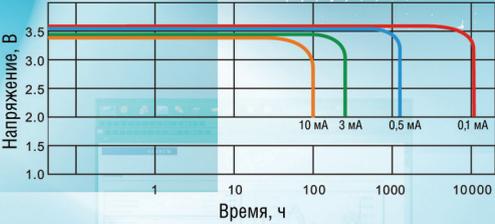
Литий-тионилхлоридные батареи




ПРИМЕНЕНИЕ

- Системы безопасности
- Счетчики газа
- Счетчики воды
- Счетчики электричества
- Медицинское оборудование

Время работы батареи



Москва
Тел.: (495) 234-7764, доб. 2361
Миронов Сергей
E-mail: s.mironov@compel.ru



www.compel.ru

Получение технической информации,
заказ образцов, поставка —
e-mail: ac-dc-ac.vest@compel.ru

Евгения Савоськина (г. Брянск), Сергей Холуев (КОМПЭЛ)

КОНСОЛИДИРОВАННАЯ ЭНЕРГИЯ: СБОРКИ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Батарея питания — это сборка двух или нескольких электрических ячеек. Но соединение ячеек в батарею имеет немало нюансов, а применение современных батарей питания невозможно без средств контроля заряда-разряда, объединенных в **систему контроля и управления батареями (СКУ)**.

Мир полон портативных устройств, без которых уже невозможно представить современную жизнь. Они обеспечивают человечество постоянной связью, возможностью управления стационарными устройствами на расстоянии, помогают скоротать время в общественном транспорте. А ведь все мобильные средства связи, развлечения, диагностики и управления нуждаются в электрической энергии, которую они получают от химических источников тока (ХИТ).

ХИТ — это устройство, которое преобразует химическую энергию окислительно-восстановительной реакции между катодом и анодом в электрическую. Конструктивно он представляет собой разделенные электролитом электроды, обладающие электронной проводимостью. В качестве разделительной среды может быть использовано твердое или жидкое вещество с ионной проводимостью. Единичный источник энергии принято называть «гальваническим элементом», «электрической ячейкой» или «батарежкой». Каждый из них обладает определенными электрическими характеристиками: величиной напряжения на разомкнутых клеммах, удельной емкостью, удельной мощностью, значением токов саморазряда. Приведенные величины часто бывают недостаточными для продолжительной эксплуатации сложного устройства. Например, одна ячейка литий-полимерного элемента имеет напряжение 3,7 В, литий-железоселенатного — 3,2 В, тионилхлоридная батарейка — 3,6 В. Но зачастую устройства требуют более высокого напряжения питания. Поэтому ячейки объединяют в сборки — батареи.

Электрические ячейки разделяют на первичные и вторичные химические

источники тока. В первых окислительный процесс протекает необратимо, то есть химическая реакция конечна и не может быть возобновлена. Такие источники не перезаряжают и обычно называют батарейками. Во вторичных химических источниках тока окислительно-восстановительная реакция обратима. Такие источники электрической энергии принято называть аккумуляторами.

Батарея — это сборка из двух и более электрических ячеек, обеспечивающая необходимую электрическую энергию. Сборки химических источников тока обеспечивают требуемые величины для питания потребителей во всех сферах человеческой жизни. Ноутбуки, планшеты, мобильные телефоны, точные измерительные приборы, лабораторные стенды, пульта управления — все эти приборы в своей конструкции имеют батарею как источник питания.

Современные устройства преимущественно используют аккумуляторные батареи, которые имеют возможность перезаряжаться. Но и сборки на основе батареек тоже актуальны.

Каковы бы ни были цели, преследуемые при использовании сборок из батареек или аккумуляторов, соединение

в них может быть либо последовательным, либо параллельным (рисунок 1). В каждом отдельном случае необходимо, чтобы было выше напряжение или больше емкость, которая позволит дать потребителю больший ток.

При последовательном соединении положительный полюс первого элемента соединяется с отрицательным полюсом последующего. В этом случае напряжение батареи складывается из величин каждой ячейки, а величина емкости равна значению на одном элементе. Но при таком варианте сборки важно учитывать, что каждый элемент будет заряжаться с разной скоростью, поэтому в ряде случаев необходимо выполнять балансировку.

В параллельном соединении одноименные полюсы соединены друг с другом. В таком случае напряжение батареи остается равным напряжению одного элемента, а величина емкости складывается из значений каждого элемента.

Если кто-то считает, что для получения сборки достаточно просто соединить элементы между собой, то это глубокое заблуждение. При дилетантском отношении к сборке в лучшем случае можно получить слабоэффективную батарею. В худшем — возможны более серьезные последствия, даже взрыв. Разберем, почему это может произойти.

Если соединять параллельно два элемента с разным напряжением, то возникает разность потенциалов, и один элемент, напряжение которого выше, будет пытаться зарядить другой, при этом

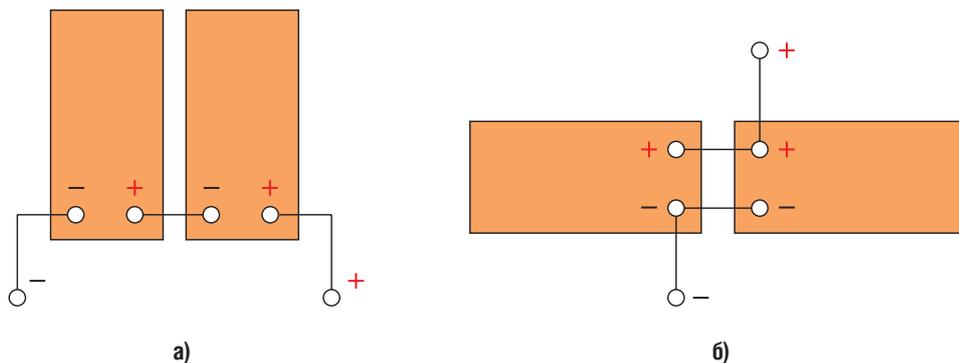


Рис. 1. Соединение батарей: а) последовательное; б) параллельное

разряжаясь сам. Эффективность всей сборки будет далека от 100%. А если учитывать, что первичные элементы (батарейки) вовсе заряжать нельзя, то такой вид соединения может быть попросту опасен.

Однако даже если взять ячейки одинакового напряжения и емкости производства одной компании — тут тоже не все так просто. Все элементы, выпускаемые под одним и тем же наименованием, на практике все-таки имеют разные характеристики. Разными могут быть емкость, внутреннее сопротивление и, как следствие, напряжение на выводах. В таком случае мы опять получаем сложность при соединении.

Чтобы избежать данной опасности, в сборку добавляют дополнительные элементы — диоды (рисунок 2).

В этом случае один элемент не сможет заряжать другой. Однако в таком решении есть и недостаток — на диодах теряется напряжение.

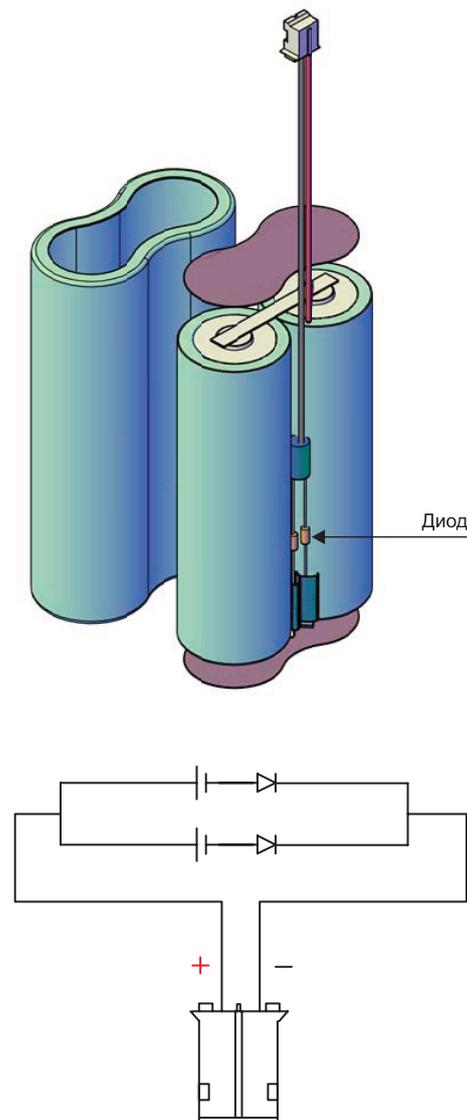


Рис. 2. Параллельное соединение элементов питания с использованием диодов

Чтобы минимизировать эти проблемы, производители сортируют все элементы, закладываемые в батарею. Они подбирают «пары» — наиболее близкие по параметрам ячейки, которые гарантированно не дадут дисбаланса внутри общей сборки.

При последовательном соединении элементов с разными характеристиками все проще. Тут разница напряжений не играет заметной роли (общее напряжение сборки будет являться суммой напряжений ячеек). Однако необходимо иметь в виду, что емкость необходимо подбирать одинаковую. В основном это связано с тем, что для ячеек с разной емкостью максимальный ток заряда и разряда должен быть разным. А ячейка с емкостью гораздо меньшей, чем остальные, может уходить в глубокий разряд, в то время как прочие еще способны работать. Это может привести к печальным последствиям вначале для самой ячейки, а затем и для батареи в целом. Еще один нюанс при зарядке сборки из последовательно соединенных ячеек: желательнее контролировать напряжение каждой ячейки. Это связано с тем, что напряжение на отдельных ячейках может быть различным, и при общем заряде одни ячейки могут перезарядиться, другие — недозарядиться.

Вообще параллельного соединения лучше избегать и выбирать элемент с большей емкостью. Например, самый емкий элемент производства компании **ЕЕМВ** — это батарейка типоразмера **DD — ER341245** емкостью 35 А·ч. Но что делать, если необходима еще большая емкость? Тут уже не обойтись без сборки.

Встречаются соединения миниатюрных элементов, когда размеры устройства не позволяют использовать более емкий элемент (он попросту выходит за габариты по длине), но два элемента меньших размеров разместить можно. В этом случае также без сборки не обойтись, хотя гораздо надежнее использовать один единый элемент большей емкости. При этом стоимость такого решения заметно ниже. Поэтому таких случаев лучше избегать на стадии проектирования устройства.

При сборке батарей важно учитывать химическую основу составляющих ее элементов. Именно это в первую очередь будет определять технологию производства конечного продукта. Элементы разного химического состава имеют разное напряжение, а использование элементов с разным напряжением недопустимо. Также имеются и другие причины: скорость заряда, величина максимальных токов и так далее.

Так при выпуске никель-кадмиевых (Ni-Cd) и никель-металлогидридных (Ni-MH) аккумуляторных батарей соединение элементов следует производить

перемычками с использованием точечной сварки при помощи стальной ленты и специализированных сварочных аппаратов с расщепленным электродом. Применение пайки недопустимо, так как это может привести к перегреву ячеек, что, в свою очередь, вызовет выход из строя предохранительного клапана и снижение емкости вследствие необратимых химических процессов. Сборки могут быть выполнены в пластмассовом корпусе. В них обязательно наличие термозащиты. Выводы или представляют собой пластины определенного размера и конфигурации, или изготавливаются из проволоки соответствующего сечения.

Для закрепления элементов применяют термоусадочные поливинилхлоридные трубки соответствующего диаметра. Также в конструкции должны быть предусмотрены элементы защиты, позволяющие обеспечить выход газа при достижении критического значения давления. Для этих целей в конструкцию батареи обязательно включают воздушные клапаны.

Несмотря на ряд эксплуатационных преимуществ литиевых элементов питания, основной проблемой при выпуске аккумуляторных батарей выступает необходимость применения специальных схем защиты. Встроенные в корпус батареи схемы защиты ограничивают пиковое напряжение, возможное на каждом элементе сборки при заряде, и предотвращают падение напряжения ниже допустимого уровня при разряде. Более того, платы контроля регулируют зарядный и разрядный токи и анализируют температуру батареи, предотвращая возможный перегрев.

Существует большое количество нюансов, которые необходимо иметь в виду при изготовлении батареи. Поэтому этот процесс лучше доверить надежному производителю, так как для производства сборок литиевых аккумуляторов такой производитель использует специальные платы контроля заряда/разряда.

Одним из современных производителей литий-полимерных аккумуляторов является компания **ЕЕМВ**. Корпуса батарей, выпускаемых компанией, сформированы из запаянной алюминиевой полиэтиленовой пленки. Согласно данным производителя, одним из преимуществ литий-полимерных батарей выступает высокая энергетическая плотность при незначительных размерах. Большое разнообразие в размерах и формах ячеек, более высокая степень защиты и высокий уровень устойчивости к перезарядке и критическим температурам позволяют литий-полимерным батареям занимать большой сегмент рынка.

Аккумуляторы компании **ЕЕМВ** в ряде случаев имеют встроенную плату защиты от перезаряда, недопустимого

разряда и короткого замыкания литий-полимерных батарей. А при выборе самих ячеек происходит жесткий подбор «пар», чтобы характеристики были как можно ближе друг к другу

Компания может изготовить практически любую сборку из имеющихся ячеек, согласно техническому заданию заказчика.

Развитие технологий производства источников питания из первичных и вторичных элементов позволило не только уменьшить их габаритные размеры и увеличить энергоемкость, но и обеспечить максимальную безопасность при эксплуатации. Благодаря современным средствам защиты можно контролировать характеристики батарей с целью предотвращения их перегрева, перегрузки по току и избыточного давления внутри конструкции. Также необходимо обеспечить защиту от перезаряда, переразряда и короткого замыкания. Обычно для этих целей применяют внутренние платы контроля заряда/разряда.

В случае с литиевыми батареями важно обеспечить оптимальные значения заряда и не допустить их перезаряда или величины разряда, превышающей допустимую.

Одним из примеров защиты батарей служит применение восстанавливаемого терморезистора с положительным температурным коэффициентом: с увеличением температуры пропорционально возрастает сопротивление резистора. В этом случае можно избежать повышения температуры в результате ограничения протекающих токов.

Во избежание негативных последствий при коротком замыкании устанавливают предохранители, которые также могут предотвратить перегрузку батареи при заряде. Но в связи с тем, что в современных батареях значения токов могут быть довольно низкими, применение предохранителей иногда нецелесообразно. Поэтому наиболее надежными являются средства электронной защиты.

Защита от перегрузки батареи обычно обеспечивается датчиками. Они сигнализируют о достижении предельного значения по току управляющей схеме, которая открывает ключ, размыкающий сеть питания.

Все элементы защиты, о которых шла речь, обычно образуют систему контроля и управления батареей, или SKU (Battery Management Systems, BMS). Ее основные функции:

- следить за величиной значения задаваемых параметров — температуры, тока, напряжения;
- обеспечивать алгоритм работы батареи, позволяющий осуществлять ее

безопасную эксплуатацию: отключать батарею от цепей питания или потребления при недопустимых токах с последующим автоматическим включением;

- осуществлять взаимодействие пользователя и батареи при эксплуатации.

Для выполнения необходимых функций SKU должна включать ряд таких элементов как датчики температуры, устройства измерения токов и напряжения, АЦП, устройство расчета емкости батареи и обработки данных, поступающих с датчиков, а также средства индикации текущего заряда батареи, интерфейс для связи с внешними устройствами.

В ряде случаев состав SKU может быть значительно упрощен. Так в портативных медицинских устройствах обычно применяют сложную многофункциональную SKU, позволяющую получать информацию о параметрах аккумулятора через SMBus-интерфейс. В более простых применениях, например, в домашних радиотелефонах, достаточно, чтобы осуществлялся контроль базовых характеристик аккумулятора.

Таким образом, в качестве встроенных систем контроля и управления батареями могут быть использованы плавкие предохранители или предохранители на основе полимерного проводника. При их установке необходимо обеспечить доступность для замены или достаточное пространство для расширения. Также в качестве встроенных систем устанавливают электронные модули, осуществляющие контроль заданных параметров. Бывают ситуации, когда целесообразно некоторые функции SKU передать внешним устройствам оборудования. Например, емкость батареи сотового телефона определяется его процессором по данным системы контроля, а встроенный электронный модуль предотвращает перезаряд, переразряд и короткое замыкание батареи.

Иногда для особо ответственных применений в SKU батарее необходимо вводить дополнительные функции:

- контроль разгерметизации сборки;
- контроль напряжения на различных участках цепи при параллельном соединении значительного числа аккумуляторов для прогнозирования большого падения напряжения на токоведущих шинах.

Пример контроля величины емкости батареи сотового телефона показывает, что порой целесообразно SKU разделить на модули контроля и управления или некоторые элементы расположить вне корпуса аккумулятора. Это позво-

лит снизить стоимость источника питания и уменьшить пространство под его установку.

Также примером внешних микросхем контроля могут служить устройства, предназначенные для балансировки заряда ячеек батареи. Они могут входить в состав зарядных устройств или представлять собой отдельный блок. Вынос части элементов во внешние устройства обеспечивает меньшие габариты батареи, но приводит к необходимости введения дополнительных проводов, что увеличит падение напряжения. Поэтому применение внешних микросхем оправдано лишь при очень строгих требованиях к габаритным размерам батареи.

Для источников питания, которые состоят из большого количества последовательно соединенных ячеек, с целью упрощения структурной схемы целесообразно применять типовые подмодули, выполняющие определенные функции под управлением основного модуля. В качестве основного модуля обычно применяется внешняя схема контроля заряда.

На современном рынке микросхем контроля заряда/разряда аккумуляторных батарей представлены разработки компаний **Linear Technology**, **STMicroelectronics** и **Texas Instruments**.

Компании-производители микросхем предлагают решения по контролю заряда батарей различной химической основы. Разнообразие источников питания порождает широкую номенклатуру контролируемых устройств с различным набором функций.

Заключение

Мир современной техники не стоит на месте. С каждым этапом развития появляются новые требования ко всем сопутствующим устройствам, среди которых, конечно же, и химические источники тока. Они должны обеспечивать потребителя все большей энергией, обладать меньшими габаритными размерами и большими характеристиками безопасности. Разумеется, требования к источникам питания порождают дополнение функциональных возможностей устройств их контроля или усовершенствование существующих микросхем заряда. 

Получение технической информации,
заказ образцов, поставка –
e-mail: ac-dc-ac.vesti@compel.ru



БАТАРЕИ И АККУМУЛЯТОРЫ ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Французская компания SAFT – ведущий мировой разработчик и производитель батарей и аккумуляторов на основе лития, подходящих для многих сфер применения. Продукция компании отвечает самым жестким требованиям по надежности, безопасности и экологичности. Компания производит уникальные аккумуляторы, работающие в экстремальных условиях и способные к полноценной зарядке даже при температуре -30°C . Основная линейка продукции изготавливается на основе электрохимических систем Li-SOCl_2 , Li-MnO_2 , Li-SO_2 . Компания предлагает готовые и максимально адаптированные решения под любые задачи.

Особенность продукции – повышенная надежность и безопасность

Батареи серии LS

- Диапазон рабочих температур: $-60 \dots 85/150^{\circ}\text{C}$
- Невоспламеняющийся электролит
- Сертификация для использования во взрывоопасной среде: IEC 60079-11
- Устойчивость к коррозии
- Стандартный тип корпуса: 1/2 AA, 2/3 AA, AA, A, C, D



Аккумуляторы серий MPxc, MPxtd и VL

- Температурный диапазон заряда:
 - $-30 \dots 60^{\circ}\text{C}$ (MPxc)
 - $-30 \dots 85^{\circ}\text{C}$ (MPxtd)
 - $0 \dots 125^{\circ}\text{C}$ (VL)
- Температурный диапазон разряда:
 - $-50 \dots 60^{\circ}\text{C}$ (MPxc)
 - $-40 \dots 85^{\circ}\text{C}$ (MPxtd)

