

# Герметичные химические источники тока для автономного питания электроаппаратуры: проблема выбора

Алевтина Таганова (Санкт-Петербург)

**В статье описываются критерии, в соответствии с которыми осуществляется выбор химических источников тока для автономного питания разнообразной электроаппаратуры. Сравняются характеристики источников тока разных электрохимических систем и описывается современное состояние их производства в России и в мире.**

Области использования герметичных химических источников тока (ХИТ) в качестве автономных источников энергии электроаппаратуры очень разнообразны. ХИТ используются и в промышленности (приборостроение, электроизмерительная аппаратура, медицина, системы связи и телекоммуникационные сети, системы сигнализации, охраны и т.п.), и для изделий специального назначения (космическая и военная техника), и для товаров широкого потребления (портативная аппаратура разного рода: компьютеры, электронные записные книжки, сотовые и беспроводные телефоны, фото- и видеотехника, электрические игрушки, инструменты и приборы бытовой техники).

Разнообразие требований к источникам питания этих устройств привело к появлению большого количества ХИТ разных электрохимических систем, которые промышленно выпускаются в широком диапазоне емкостей и разнообразном конструктивном исполнении. Но, несмотря на большое их разнообразие, среди них нельзя найти такой, который мог бы полностью соответствовать всем требованиям, предъявляемым к автономному источнику питания для аппаратуры любого назначения. При выборе ХИТ всегда приходится искать компромисс между наиболее важными требованиями, предъявляемыми к аппаратуре, для которой выбирается источник энергии, и ограничениями, определяемыми характеристиками выбранного источника тока.

В рассмотрение принимаются:

- Условия эксплуатации:
  - режим разряда (непрерывный, прерывистый, импульсный);
  - характер нагрузки (постоянный ток, постоянное сопротивление, постоянная мощность);
- Характеристики источника тока:
  - максимальная электрическая мощность;
  - напряжение источника тока (максимальное в начале разряда, рабочее напряжение, его стабильность при постоянной нагрузке, конечное разрядное напряжение, устойчивость разрядной характеристики при изменении режимов нагрузки);
  - конструктивные особенности (вес, габариты, конфигурация, тип выводов);
  - срок службы;
  - особенности хранения (условия, срок, допустимая потеря ёмкости);
  - стоимость;
  - специальные требования: надёжность, устойчивость при механических нагрузках, пожаро- и взрывобезопасность, удобство технического обслуживания (наличие встроенных устройств защиты от критических состояний, возможность замены, удобство подключения к зарядному устройству и режим заряда для перезаряжаемых источников тока);
- Условия окружающей среды:
  - диапазон рабочих температур;
  - влажность воздуха.

Понятно, что при проектировании источников энергии для аппаратуры

бытового назначения (как стационарной, так и переносной), которая используется периодически, главные критерии для выбора источника тока – это дешевизна и удобство обслуживания.

При таких критериях наиболее целесообразным является выбор первичных источников тока, которые способны обеспечить, в зависимости от их ёмкости, месяцы и годы эксплуатации. При использовании аккумуляторов устройство оказалось бы более дорогим и добавились бы проблемы, связанные с организацией их эффективного заряда.

Однако при интенсивном использовании аппаратуры с автономным питанием перезаряжаемые источники тока, естественно, целесообразнее первичных. Более пяти десятилетий в таких случаях использовались щелочные никель-кадмиевые аккумуляторы с рабочим напряжением 1,2 В, стабильным в широком диапазоне режимов эксплуатации и температур. Интенсивная работа по совершенствованию этих аккумуляторов и оборудования для их заряда способствовала сохранению их позиций до настоящего времени, хотя в течение двух последних десятилетий общую картину меняет широкое продвижение на рынок других щелочных аккумуляторов – никель-металлгидридных, с таким же рабочим напряжением, но более высокими удельными энергетическими характеристиками.

Для зарядки аккумуляторов либо используются встроенные в аппаратуру устройства, либо обеспечивается лёгкое извлечение аккумуляторов для заряда их в универсальных или специализированных зарядных устройствах.

В стационарной аппаратуре или в тех случаях, когда вес источника питания не является определяющим критерием, часто используются герметичные свинцово-кислотные батареи, срок службы которых в режиме циклирования меньше, чем у щелоч-

ных, но и цена их значительно ниже. Особенно широко они используются при эксплуатации в буферном режиме, при котором их работоспособность сохраняется до 15 лет.

При выборе источников тока для аппаратуры промышленного и специального назначения главное внимание обращается не на их цену, а на надёжность в эксплуатации, работоспособность в жёстких условиях. И если массогабаритные характеристики источников тока являются существенными, выбор чаще всего остаётся за литиевыми ХИТ, одноразовыми или перезаряжаемыми, обладающими повышенными удельными весовыми и объёмными энергетическими характеристиками.

Рисунок 1, на котором показаны некоторые типы герметичных ХИТ разных электрохимических систем ёмкостью до 20 Ач, позволяет видеть всё многообразие продукции разного конструктивного исполнения. Показаны элементы и аккумуляторы (дисковые, цилиндрические и призматические), а также свинцово-кислотная батарея, так как при небольшой ёмкости такие источники тока на 6 или 12 В выпускаются обычно в едином корпусе.

Дать однозначный алгоритм выбора конкретного источника тока для любого проекта не представляется возможным. Но при чётком представлении о приоритете требований сравнение основных характеристик источников тока разных электрохимических систем даёт возможность выбрать их класс (первичные или вторичные), а окончательное решение о типе ХИТ принимается при рассмотрении типоразмерных рядов источников тока выбранной электрохимической системы, выпускаемых различными производителями.

Представленная в таблице информация о характеристиках и особенностях химических источников тока разных электрохимических систем позволяет сравнить их возможности только в первом приближении. Более детальное представление можно получить при рассмотрении всего разнообразия серий однотипных источников тока, которое обеспечивается при разных вариантах технологии их изготовления. Некоторые комментарии по этому поводу позволят читателю лучше ориентироваться в мире современных ХИТ.

Детальную информацию о продукции разных компаний и номенклатуре выпускаемых изделий можно найти в их каталогах, а также в литературе [1 – 4].

### Первичные химические источники тока

В первой колонке таблицы показаны характеристики наиболее широко используемых марганцево-цинковых (МЦ) элементов, которые выпускаются с соевым и щелочным электролитом. Их ёмкость сильно зависит от величины и характера нагрузки, а рабочее напряжение падает по мере разряда. Щелочные МЦ-элементы стоят в 3...5 раз дороже солевых, но при тех же габаритах обеспечивают ёмкость в несколько раз большую, обладают меньшим саморазрядом и лучше работают при низкой температуре. В России МЦ-элементы обеих модификаций наиболее массово выпускает ОАО «Энергия» (г. Елец), во всём мире – более 100 компаний, среди которых ведущими являются Duracell, Energizer, Panasonic, Philips, Samsung. В настоящее время мировое производство щелочных МЦ-элементов почти в 3 раза больше, чем солевых, и доля их в общем производстве ежегодно увеличивается.



Рис. 1. Герметичные химические источники тока разных систем ёмкостью от 0,3 до 16 Ач

Расширилось также мировое производство дешёвых воздушно-цинковых элементов с рабочим напряжением 1,1...1,3 В (в зависимости от нагрузки), которое остаётся стабильным практически до полного исчерпания ёмкости. Они работоспособны в диапазоне температур –10...40°С при невысокой влажности воздуха. До вскрытия заклеенного отверстия для обеспечения доступа в систему воздуха элементы могут храниться 1...2 года. Раньше металл-воздушные малогабаритные дисковые элементы выпускались лишь для использования в качестве источников тока слуховых аппаратов. В настоящее время выпускаются дисковые элементы, имеющие ёмкость до нескольких ампер-часов (например, элементы компании Duracell), а также элементы призматической конструкции, которые используются для систем специальной связи и в той аппаратуре, где должна быть обеспечена периодическая работа в импульсном режиме или постоянная при небольшой нагрузке.

Слаботочные малогабаритные элементы других электрохимических систем с цинковым электродом (серебряно-цинковые, ртутно-цинковые), которые использовались ранее в часах и в качестве источников стандартного (опорного) напряжения в контрольно-измерительной аппаратуре, в

#### Особенности герметичных ХИТ разных электрохимических систем

Характеристики	Первичные источники тока (элементы)		Вторичные источники тока (перезаряжаемые, аккумуляторы)			
	марганцево-цинковые	литиевые	никель-кадмиевые	никель-металл-гидридные	свинцово-кислотные	литий-ионные
Рабочее напряжение, В	1,2...1,35	1,5...3,6	1,2	1,2	2,0	3,6
Типичная ёмкость, Ач	0,06...20,0	0,02...11,0	0,03...20,0	0,03...15,0	0,7...20,0	0,4...6,0
Диапазон рабочих температур*, °С	–20...60	–20 (60)...55 (70)	–20 (40)...50 (60)	–10...40	–15...50	–20 (40)...60
Удельная энергия: весовая, Втч/кг (объёмная, Втч/дм³)	До 90 (100...200)	230...600 (400...1100)	30...60 (100...170)	40...80 (130...240)	25...50 (55...100)	100...180 (250...400)
Кэффициент отдачи по ёмкости, %	–	–	60...90	60...90	80...85	90...100
Работоспособность: срок хранения, лет срок работы, лет количество циклов	2...8	5...10	5 До 10 500...1000	1 – 500	1 До 12 200	1 До 2 500...1000

\* Температуры, указанные в скобках, достигнуты только для продукции некоторых зарубежных компаний.

настоящее время во многих случаях заменяются литиевыми элементами.

Литиевые элементы с органическим и твёрдым электролитом имеют более высокое (чаще всего порядка 3 В) и стабильное рабочее напряжение в широком диапазоне нагрузок. Они обеспечивают более высокие удельные характеристики, работоспособны в расширенном диапазоне температур и дольше не теряют свойств. Элементы с литиевым анодом и разными катодами обеспечивают работоспособность в разных температурных диапазонах. Выпускаются элементы дисковой и цилиндрической форм в габаритах традиционных систем с цинковым электродом и водным электролитом.

В России литиевые элементы различных электрохимических систем выпускает ОАО «Энергия», ОАО «Литий-элемент» (Саратов), ООО «Элиак» (Новочеркасск). На российском рынке присутствует также продукция нескольких ведущих компаний мира (Panasonic, Sanyo, Duracell, Saft, Sonnenschein Lithium). И если 40 – 50 лет тому назад выпускались лишь слаботочные литиевые элементы (даже при значительной ёмкости), то в настоящее время производятся и мощные, способные обеспечить ток до нескольких ампер (например, до 3...4 А у наиболее мощных элементов ООО «Элиак» и французской компании Saft).

Первоначальная более высокая пожароопасность этих элементов с электролитом значительно более агрессивным, чем у щелочных элементов, к настоящему времени преодолена за счёт совершенствования технологии изготовления и использования систем защиты от перегрузок и разогревания.

## ВТОРИЧНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Из перезаряжаемых химических источников тока первыми более 50 лет тому назад начали использоваться никель-кадмиевые аккумуляторы. Первоначально малоёмкие аккумуляторы выпускались в дисковой конструкции, с большей ёмкостью – в призматической. В настоящее время наиболее широко производятся аккумуляторы цилиндрической конструкции, в которых пакет из двух электродов, разделённых сепаратором, свёрнут в виде рулона. Типоразмерный ряд выпускаемой продукции включает и такие аккумуляторы, которые имеют габариты наиболее распространённых первич-

ных источников тока. Использование в цилиндрических рулонных аккумуляторах тонких электродов позволило увеличить скорость заряда и разрядный ток до 10...13С.

В России достаточно давно производятся дисковые Ni–Cd-аккумуляторы ёмкостью от 20 до 750 мАч (АК «Ригель» (Санкт-Петербург), ОАО «Кузбассэлемент»). Производство цилиндрических аккумуляторов налажено в ОАО «НИАИ Источник» (Санкт-Петербург) и ФГУП «Верхнеуфалейский завод «Уралэлемент»». Никель-кадмиевые аккумуляторы призматической конструкции выпускаются уже несколько десятилетий, среди них и ёмкостью от 4 до 15 Ач.

Отличие продукции ведущих мировых компаний (например, французской компании Saft, японских Sanyo и Panasonic, GP Batteries International Limited и др.), представленной на российском рынке, от отечественной состоит прежде всего в большей однородности продукции, обеспечиваемой высокой степенью автоматизации производства. Другое существенное отличие состоит в том, что аккумуляторы в широком номенклатурном ряду (ёмкостью от десятых ампер-часа до 20 Ач) выпускаются в нескольких сериях, в каждой из которых некоторое изменение рецептур используемых материалов и технологии изготовления позволяет обеспечить разнообразные возможности. Выпускаются аккумуляторы:

- стандартные для широкого использования;
- способные обеспечить мощный разряд;
- допускающие ускоренный режим заряда;
- для работы в режиме длительного подзаряда при повышенной температуре.

В последние десятилетия никель-кадмиевые аккумуляторы были сильно потеснены никель-металлгидридными, в которых при том же положительном электроде замена отрицательного позволила значительно увеличить ёмкость изделий в прежних габаритах. Кроме того, удалось в значительной мере снизить «эффект памяти» при неглубоком циклировании. Удельные характеристики Ni–MH-аккумуляторов увеличились по сравнению с никель-кадмиевыми в 1,5...2 раза. Выпускаются они теми же компаниями, что и Ni–Cd-аккумуляторы.

Однако следует обратить внимание на некоторые особенности никель-металлгидридных аккумуляторов: они эффективно работают в более узком температурном диапазоне и сильнее разогреваются при заряде, чем никель-кадмиевые, а при разряде ниже 1 В часть ёмкости теряется безвозвратно. Кроме того, и саморазряд Ni–MH-аккумуляторов больше, чем у Ni–Cd.

В ближайшие годы специалисты прогнозируют улучшение характеристик Ni–MH-аккумуляторов (ёмкость широко распространённого типоразмера AA превысила 2 Ач, а максимально допустимые токи аккумуляторов в габаритах Cs достигли нескольких десятков ампер).

Поскольку для малогабаритной аппаратуры промышленного и специального назначения удельный вес и объём источников автономного питания должен быть минимальным, понятен интерес и к разработкам перезаряжаемых литиевых источников тока с высоким рабочим напряжением.

Около 10 лет тому назад на мировом рынке появились литий-ионные аккумуляторы, которые разрабатывались, прежде всего, для использования в устройствах мобильной связи. Быстро расширяющийся рынок этих устройств обеспечил не только широкомасштабные исследования новых источников тока, но и стремительное увеличение числа участников разработок и производства. Первыми начали производство малогабаритных литий-ионных батарей японские компании Sony и Sanyo. В настоящее время серьёзную конкуренцию им составляют южно-корейские и несколько мощных китайских фирм, выпускающих лицензионную продукцию и реализующих собственные разработки.

Сегодня на российском рынке представлены слаботочные литий-ионные аккумуляторы ёмкостью от 0,4 до 2,4 Ач, срок службы которых достигает 500, а иногда – 1000 циклов. Они используются как в мобильной связи, так и для различных электронных устройств, в т.ч. ноутбуков, электронной оргтехники, видео- и цифровой техники. К 2010 г. прогнозируется увеличение доли литий-ионных источников тока до 70% от всех малогабаритных ХИТ.

В последние годы расширился спектр и более мощных литий-ионных ХИТ, которые могут быть использованы в промышленных и специальных устройствах. Лидером производ-

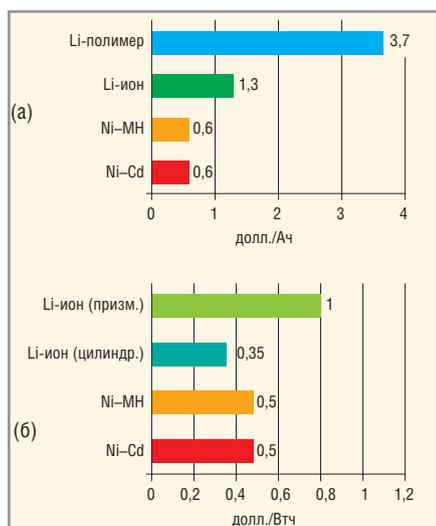


Рис. 2. Соотношение стоимости аккумуляторов разных электрохимических систем: а) на 1 Ач; б) на 1 Втч

ства таких источников является компания Saft, уже второе десятилетие разрабатывающая их для космических объектов и электромобилей. В настоящее время компания предлагает к широкой продаже призматические аккумуляторы серии MP ёмкостью 2,3; 4,6 и 6 Ач, а также цилиндрические серии VL ёмкостью 3,6; 4,6 Ач, работоспособные в диапазоне температур от  $-40$  до  $60^{\circ}\text{C}$ . Мощные цилиндрические аккумуляторы компании типов VL8P и VL16P (ёмкостью 8 и 16 Ач) в диапазоне температур от  $-30$  до  $60^{\circ}\text{C}$  способны обеспечить очень большие импульсные токи нагрузки (до 16С в течение 18 с). Срок их службы превышает 10 лет.

Следует сразу отметить, что стоимость литий-ионных аккумуляторов в несколько раз больше, чем традиционных щелочных. Не в последнюю очередь это связано с тем, что эксплуатация батарей из них организуется при индивидуальном контроле каждого аккумулятора и доля стоимости электронных схем защиты в настоящее время составляет до 30% общей стоимости батареи. Однако внедрение новых материалов для производства таких источников тока даёт надежды на упрощение систем защиты и снижение их стоимости. К тому же быстрое и существенное расширение круга производителей литий-ионных ХИТ и постоянное увеличение годовых объёмов производства уже привело к значительному снижению цены этих источников тока. На рисунке 2 показано соотношение стоимости аккумуляторов разных электрохимических систем [4]. Видно, что литий-ионный аккумулятор становится соизмерим по стоимо-

сти 1 Втч энергии со щелочными аккумуляторами. А в перспективе ставится задача снижения стоимости 1 Втч до 0,1 долл.

Несколько слов следует сказать и о свинцово-кислотных ХИТ, используемых в различной аппаратуре. Особенность этих источников тока заключается, прежде всего, в том, что они герметизированные, но не герметичные, и периодически могут выбрасывать водород, выделяющийся в системе при заряде. Количество полных циклов, которое обеспечивают эти ХИТ, заметно меньше, чем у источников тока других систем, но с уменьшением глубины циклирования оно увеличивается (до 1200 циклов при 30%-ой глубине). Используют их чаще всего в стационарных устройствах, охранных, аварийного освещения и подобных, где в буферном режиме они эффективно работают в течение 10 – 15 лет.

В заключение хочется отметить, что, откликаясь на требования общего технического прогресса, мировая наука и технология в области ХИТ в настоящее время обеспечивает такие темпы освоения новой продукции, которые 10 – 15 лет тому назад казались невыполнимыми. Ситуация меняется ежегодно как в смысле научных и производственных достижений, так и по количеству предприятий, выпускающих конкурентную продукцию. Россия также налаживает собственное производство литий-ионных ХИТ, но масштаб и скорость работ по внедрению новых изделий и технологий пока оставляет желать лучшего. В настоящее время идёт освоение иностранного лицензионного оборудования и поиск отечественных эквивалентных материалов для широкомасштабного производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Химические источники тока. Справочник. Под ред. Н.В. Коровина, А.М. Скундина. М.: изд. МЭИ, 2003.
2. Таганова А.А., Пак И.А. Герметичные химические источники тока для портативной аппаратуры. Санкт-Петербург: Химиздат, 2003.
3. Нижниковский Е.А. Химические источники тока автономного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. М.: Изд. МЭИ, 2004.
4. Таганова А.А., Бубнов Ю.И., Орлов С.Б. Герметичные химические источники тока. Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации. Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. ©

## Новости мира

### Малолушящие ВЧ-транзисторы на базе кремния-германия-углерода

На базе своей SiGeC-технологии компания Infineon разработала новое поколение гетероструктурных биполярных транзисторов (HBT). По данным предприятия, они обладают самыми малыми в мире значениями шумов среди дискретных транзисторов на базе кремния. Элементы семейства HBT под названием BFP740 имеют значение шумов 0,75 дБ и усиление до 19 дБ на частоте 6 ГГц. Транзисторы имеют транзитную частоту 42 ГГц и металлизированы золотом, благодаря чему являются исключительно надёжными.



Серия HBT BFP740 производится крупными партиями и предлагается в следующих вариантах корпусов: Standard-SOT343 (BFP740), Flatlead-TSFP-4 (BFP740F) и в миниатюрном безвыводном корпусе TSLP-3 (BFR740L3), размеры которого составляют  $1 \times 0,6 \times 0,4$  мм.

[www.infineon.com/bfp740](http://www.infineon.com/bfp740)

### Схема управления светодиодами $4 \times 400$ мА

Компания Austriamicrosystems представила ИС AS3691 для управления четырьмя светодиодами с потреблением 400 мА каждый. Рабочий ток в каждом канале может устанавливаться внешним резистором, а яркость светодиодов может регулироваться четырьмя отдельными входами с ШИМ. Микросхема может управлять как четырьмя независимыми светодиодами, так и одним мощным светодиодом с током до 1,6 А. Выходы рассчитаны на напряжение до 15 В. Для оптимизации потребления тока каждый канал содержит выход обратной связи, через который могут регулироваться одно или несколько внешних напряжений питания. AS3691 предлагается в корпусе QFN4x4 или как бескорпусный кристалл.

[www.austriamicrosystems.com/](http://www.austriamicrosystems.com/)