

Диагностика химических источников тока

Алевтина Таганова (Санкт-Петербург)

В статье рассматриваются методики диагностирования химических источников тока, используемые при производстве и эксплуатации батарей электропитания разнообразной портативной аппаратуры. Приводятся требования, предъявляемые к испытательной аппаратуре.

При использовании химических источников тока (ХИТ) для автономного электропитания портативной аппаратуры вопросы оценки качества и работоспособности ХИТ возникают уже при выборе конкретного типа источника среди аналогичной продукции разных компаний, а также при входном контроле. В настоящее время эта задача стоит особенно остро, так как проектировщик систем питания имеет возможность выбирать химические источники тока среди отечественной и зарубежной продукции самого разного качества, а информация о характеристиках ХИТ часто доступна в ограниченном объеме.

Призывы использовать изделия только известных компаний с гарантированным качеством традиционной серийной продукции не всегда оказываются эффективными, так как конкурентная гонка производителей ХИТ приводит к частому обновлению номенклатурных рядов и завышению параметров новой продукции в рекламных материалах. Следует обратить внимание на важную особенность зарубежной продукции: её использование предполагается обычно в странах с умеренным климатом и, как правило, документация не содержит гарантий работоспособности ХИТ при низкой температуре.

Если перед проектировщиком и изготовителем радиоэлектронной аппаратуры стоит задача выбора источника тока, наиболее пригодного для данного изделия, то пользователя аппаратуры интересует возможность оценивать в любой момент степень разряженности (остаточную ёмкость) источников тока и степень их деградации (постепенного ухудшения электрических характеристик). Эти задачи становятся особенно актуальными

при разработке систем автономного питания с большим напряжением, с длинной цепочкой последовательно (и, возможно, параллельно) соединённых химических источников тока. В ответственных приложениях ставится задача постоянного мониторинга состояния отдельных источников тока.

Решение всех этих задач возможно при наличии:

- диагностических параметров источников тока, которые позволили бы с заданной точностью обеспечить оценку их состояния;
- информации о количественной мере этих параметров у выбранного источника тока и их статистическом разбросе;
- аппаратуры для реализации процедуры диагностики без изменения состояния самого источника тока (как при хранении, так и под нагрузкой в процессе эксплуатации).

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Очевидно, что наибольшие проблемы возникают при диагностике герметичных источников тока, у которых возможно измерение только электрических характеристик. У таких источников тока, одноразовых (элементов) и перезаряжаемых (аккумуляторов), для этих целей используются одинаковые характеристики:

- напряжение при разомкнутой цепи и под нагрузкой;
- полное внутреннее сопротивление;
- реакция на специфический тестовый сигнал, позволяющая выявить составляющие внутреннего сопротивления, которые отражают особенности электрохимической природы, конструкции и технологии изготовления источников тока.

Устойчивые методы диагностики с помощью достаточно простых аппа-

ратурных средств удаётся найти не для всех химических источников тока.

Напряжение разомкнутой цепи (НРЦ) в качестве диагностического параметра пытались использовать, прежде всего, при оценке состояния элементов, – однако без особого успеха, так как его изменение при уменьшении сохраняемой ёмкости незначительно и соизмеримо с разбросом НРЦ «свежих» элементов.

Измерение НРЦ целесообразно производить лишь у свинцово-кислотных аккумуляторов, особенно при оценке состояния их разряженности, так как уменьшение НРЦ в процессе разряда значительно из-за изменения концентрации и электропроводности электролита. При температуре 25°C значение НРЦ заряженных свинцовых аккумуляторов линейно понижается примерно на 10% при исчерпании запасённой ёмкости. Измерение НРЦ может помочь в диагностике отдельных аккумуляторов и используется при мониторинге их состояния в собранной батарее. Но разброс НРЦ в партии однотипных изделий довольно значителен, что уменьшает точность диагностики при отсутствии информации о характеристике конкретного химического источника тока. На значение НРЦ сильное влияние оказывает и температура электролита, которая после цикла разряда стабилизируется с большой инерцией и не может быть оценена по температуре корпуса источника тока.

Напряжение под нагрузкой $U_{\text{раб}} = \text{НРЦ} - IR_{\text{полное}} = \text{НРЦ} - I(R_{\Omega} + R_{\text{пол}})$, где I – ток разряда; $R_{\text{полное}}$ – полное внутреннее сопротивление; R_{Ω} – омическое сопротивление, определяемое сопротивлением токоподводящих деталей электродов, их активной массы и электролита; $R_{\text{пол}}$ – поляризованное сопротивление, отражающее скорость электрохимических процессов (включает и ёмкостное сопротивление). Этот параметр даёт большие возможности для оценки состояния источника тока, но требу-

ет регламентирования величины нагрузки и её характера, так как поляризованное сопротивление зависит от величины разрядного тока. Для того чтобы можно было отчётливее проявить различие испытываемых источников тока (при диагностике их качества и/или оценке состояния разряженности и деградации), нагрузка должна быть достаточно большой и определённой продолжительности.

Для источников тока разных электрохимических систем ГОСТ РФ регламентирует различные параметры тестового сигнала, которые позволяют оценивать внутреннее сопротивление источника тока, полное или обе составляющие (в зависимости от того, как организована регистрация отклика: при наложении разрядного импульса постоянного тока на R_{Ω} происходит мгновенное уменьшение напряжения, а $R_{пол}$ обеспечивает постепенное его изменение до нового стационарного состояния).

Международным и российским стандартом установлены две методики измерения внутреннего сопротивления: на постоянном токе и на переменном токе частотой 1000 Гц.

Методика измерения внутреннего сопротивления ХИТ на постоянном токе обеспечивает измерение отклика после сигнала, стандартизованного по току и его продолжительности. Результаты измерений $R_{полное} = (U_1 - U_2)/(I_2 - I_1)$ отражают полное сопротивление источника тока. Аппаратурная реализация таких измерений достаточно проста, но для получения информации о R_{Ω} необходимо обеспечить высокую скорость считывания напряжения, чтобы иметь возможность разделения отклика по двум составляющим.

Сопротивление ХИТ зарубежного производства обычно характеризует-

ся в каталогах значением, измеренным по второй методике, т.е. на переменном токе частотой 1000 Гц: $Imp = U-/I-$. Эта методика основана на предварительной информации о том, что импеданс ХИТ при частоте разрядного тока 1000 Гц приблизительно равен сопротивлению R_{Ω} для многих типов источников тока (элементов, щелочных и литий-ионных аккумуляторов широкого номенклатурного ряда). Для свинцово-кислотных аккумуляторов это условие не выполняется.

В настоящей статье рассматриваются возможности оценки качества и состояния цилиндрических герметичных щелочных аккумуляторов, наиболее часто используемых для питания портативной аппаратуры. Более детальную информацию об этих изделиях, а также информацию об особенностях диагностики ХИТ других электрохимических систем можно найти в книге [1].

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И РАБОТОСПОСОБНОСТИ «СВЕЖИХ» ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Работоспособность химического источника тока определяется двумя основными характеристиками: ёмкостью и рабочим напряжением при соответствующем уровне нагрузки. Номинальная ёмкость и стандартное рабочее напряжение ХИТ обеспечиваются при стандартном разрядном токе малой плотности. Но проектировщика системы автономного электропитания, как правило, интересует поведение ХИТ при значительно большей нагрузке, когда разрядная ёмкость уменьшается, а рабочее напряжение снижается на всех стадиях разряда.

Современные методы выходного контроля, используемые при произ-

водстве ХИТ, определяют только нижнюю допустимую границу величины номинальной ёмкости. Информация о реальном разбросе ёмкости может помочь проектировщику при выборе производителя ХИТ, а также позволяет определить уровень требований к сортировке аккумуляторов при комплектации батарей.

Обычно для обеспечения однородности аккумуляторов в батарее их сортировка производится величине реальной ёмкости в номинальном режиме цикла заряд-разряд. Но для источников питания с большим ресурсом и работоспособностью в широком диапазоне изменения режимов и температурных условий необходимо учитывать и внутреннее сопротивление, которое определяет уровень рабочего напряжения ХИТ и степень уменьшения отдаваемой энергии. Изменение этих параметров в наибольшей степени определяется омическим сопротивлением $R_{\Omega} \approx Imp_{1000 \text{ Гц}}$. Разброс R_{Ω} отражает уровень стабильности технологического процесса сборки аккумулятора и дозировки электролита. Снижение разрядного напряжения при низкой температуре значительно больше у аккумуляторов с большим R_{Ω} .

В таблице в качестве примера представлена информация о реальном разбросе характеристик герметичных щелочных аккумуляторов наиболее часто используемого типоразмера AA, производимых различными компаниями.

Увеличение ресурса батарей, собранных из аккумуляторов с водным электролитом, может быть достигнуто дополнительной сортировкой аккумуляторов по зарядной характеристике, которая обычно не измеряется при входных испытаниях изделий. Нестандартное протека-

Характеристики герметичных цилиндрических щелочных аккумуляторов типоразмера AA

Тип аккумулятора	Ёмкость разрядная средняя, мАч, при разных токах и предельных напряжениях разряда			Разброс по ёмкости, %, при токе		R_{Ω} средняя, мОм	Разброс по сопротивлению, %
	0,2С (1 В)	3С (1 В)	3С (0,8 В)	0,2С	3С		
Никель-кадмиевые							
VSE AA 940 SAFT	970	770	800	6	17	18	11
P-100AA Panasonic	1025	770	800	4	20	17,5	15
KR-110AAU Sanyo	1120	1000	1040	4	6	12	17
GP-100AAS GP	1175	715	745	5	8	20	25
Никель-металлгидридные							
VH AA 1700 SAFT	1730	1050	1500	2	6	27	20
HR-AAUL Sanyo	1490	1245	1440	4	4	25	28
GP-160AAS GP	1560	1290	1400	26	25	18	22
HR 15/51-1,5 АК «Ригель»	1535	1165	745	4	6	18	22

ние побочных процессов кислородного цикла отражается в более раннем увеличении зарядного напряжения, которое, однако, находится в пределах нормы и, как правило, не регистрируется. Включение такого аккумулятора в состав батареи приводит к уменьшению срока её эксплуатации.

Если заряженный источник питания долго хранится перед использованием, следует организовать сортировку аккумуляторов и по скорости саморазряда. В документации производителя эта характеристика отражена значением максимальной потери ёмкости через 28 суток хранения, но реальный разброс может быть очень большим (особенно при меньших продолжительностях хранения), что приводит к разбросу аккумуляторов по ёмкости при хранении батареи. Ввиду продолжительности испытательного этого параметра проверяется изготовителем батарей очень редко. Следует помнить, что зависимость потери ёмкости от времени является нелинейной из-за специфики протекающих процессов, и корреляция потери ёмкости при 1–2 и 28 сутках хранения очень низкая. Поэтому разброс параметра саморазряда целесообразно оценивать при длительности хранения не менее 5–7 суток.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РАЗРЯЖЕННОСТИ И ДЕГРАДАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Возможности диагностирования состояния разряженности источников тока обусловлены, главным образом, изменением параметра внутреннего сопротивления, – обычно, его омической составляющей. Так, значения R_{Ω} вышеописанных никель-кадмиевых аккумуляторов сохраняются неизменными вплоть до 80-% разряда, но затем возрастают на 20...30%. Увеличение R_{Ω} при разряде тем больше, чем меньше номинальная ёмкость источников тока. Напротив, сопротивление никель-металлгидридных аккумуляторов в первой трети цикла разряда уменьшается, а затем стабилизируется.

Омическое сопротивление герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторов изменяется в процессе разряда также нелинейно: существенный рост происходит во второй половине разряда. У литий-ионных аккумуляторов в наибольшей степени меняется поляризационное сопротивление.

При циклировании ХИТ в процессе эксплуатации увеличение сопротивления, фиксируемое при одинаковой степени разряженности, определяется как изменениями в активных массах электродов, так и уменьшением количества электролита и его перераспределением в элементах конструкции. Увеличение сопротивления может достигать десятков процентов. Этот эффект наблюдается как в аккумуляторах с водным электролитом, так и в литий-ионных аккумуляторах.

Длительное хранение аккумуляторов также приводит к заметному увеличению омического сопротивления, что определяет высокое зарядное напряжение и нестандартную зарядную характеристику на первом после паузы цикле заряда. Но этот эффект обычно полностью исчезает после 2–3 циклов заряда-разряда.

В процессе хранения литий-ионных аккумуляторов высокая реактивная способность лития приводит к сильной пассивации поверхности электрода. Это отражается на поляризационном сопротивлении аккумулятора и приводит к увеличению провала напряжения при подключении нагрузки.

АППАРАТУРНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ХИТ

Измерение напряжения источников тока с необходимой точностью может быть обеспечено соответствующей аппаратурой. Обычно измерения напряжения производятся с погрешностью не более $\pm(0,001...0,005)\%$. Измерения внутреннего сопротивления источников тока могут производиться как при их отключении от нагрузки, так и в процессе разряда.

Измерения по методике постоянного тока непосредственно в процессе разряда производятся наложением импульса тока требуемой длительности. Однако следует помнить, что значения токов могут отличаться от регламентируемых, и в этом случае результаты измерений могут быть использованы только для оценки относительных изменений полного сопротивления $R_{\text{полное}}$ за интересующий период. Следует также отметить, что точность измерения сопротивления разряженных источников тока значительно уменьшается, так как они могут не достичь стационарного состояния после наложения большого импульса тока. Для выделения из отклика источ-

ника тока составляющей, соответствующей величине омического сопротивления R_{Ω} , необходимо обеспечить измерение отклика со скоростью со скоростью 1 раз в 10 мс.

Более точные измерения сопротивления, как в отключенном состоянии, так и под нагрузкой, обеспечиваются при использовании методики переменного тока. Испытательный сигнал переменного тока частотой 1000 Гц должен быть низкого уровня (ток порядка $0,005...0,01C_H$), чтобы не изменять состояние ХИТ. В этом случае результаты измерений могут быть усреднены по десятку периодов переменного тока. Значения $\text{Impr}_{1000 \text{ Гц}} = R_{\Omega}$, измеренные при этой методике, могут значительно отличаться от результатов измерений на постоянном токе.

Следует отметить, что в общем случае эквивалентная схема источника тока кроме омического сопротивления обязательно содержит и ёмкостное, а у аккумуляторов большой ёмкости имеет место и индуктивное сопротивление. Регистрация отклика на испытательный сигнал переменного тока в широком диапазоне частот позволяет обеспечить более точное представление о состоянии ХИТ. Такое тестирование требует, конечно же, более сложного оборудования, соблюдения специфических методик диагностики и значительного времени. В настоящее время такие работы проводятся на дорогом лабораторном оборудовании при исследовании отдельных электродов и источников тока.

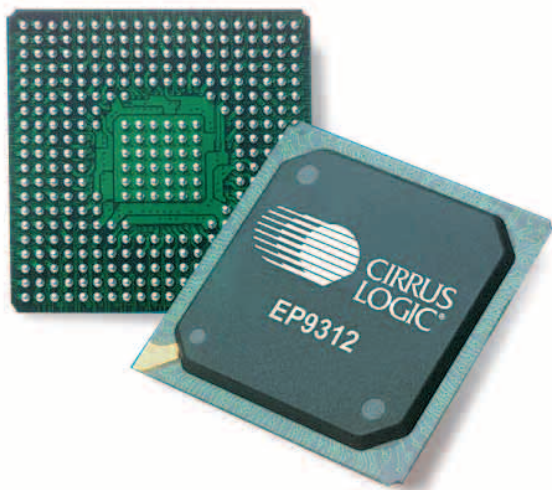
Для диагностики состояния реальных ХИТ необходимо определить более узкий диапазон частот, позволяющий оценить необходимые параметры, и разработать значительно более дешёвую измерительную аппаратуру. Некоторые успехи на этом пути описаны в книге [1]: диагностика состояния ХИТ становится более эффективной при добавлении к измерениям импеданса на частоте 1000 Гц измерений сопротивления в области частот порядка десятков герц и ниже. В некоторых случаях удается найти монократоту, при которой аппаратурное оформление процедуры решается наиболее просто.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таганова А.А. Диагностика герметичных химических источников тока. СПб: Химиздат, 2007.



Процессоры с архитектурой ARM: Мобильные системы на кристалле



Процессор EP9312

Основные достоинства

- Высокая производительность
- Система на кристалле, требующая минимум внешних компонентов
- Большое количество интегрированных интерфейсов:
 - Ethernet-интерфейс
 - интегрированный графический контроллер с поддержкой сенсорного экрана (до 1024×768 точек)
 - контроллер IDE
 - контроллер USB
 - поддержка PCMCIA
- Минимальный ток потребления: идеальное решение для портативных устройств
- Поддержка операционных систем Linux и Windows CE 5.0

ARM процессоры седьмой серии

Наименование	Ядро	Скорость (МГц)	Кэш	MMU	Контроллер DRAM	Встроенная SRAM (КБ)	LCD контроллер	DAI	Ethernet MAC	Температурный диапазон	Корпус
EP7309	ARM720T	74	8 Кб	+	–	48	+	+	–	Комм./Индустр.	208 LQFP 256 PBGA 204 TFBGA
EP7311	ARM720T	90 и 74	8 Кб	+	SDRAM	48	+	–	–	Комм./Индустр.	208 LQFP 256 PBGA 204 TFBGA
EP7312	ARM720T	90 и 74	8 Кб	+	SDRAM	48	+	+	–	Комм./Индустр.	208 LQFP 256 PBGA 204 TFBGA

Типичные применения

- Охранные системы
- Медицинское оборудование
- Модули графического интерфейса с пользователем
- NAS-серверы
- Мультимедиа устройства



Набор для разработчиков EDB9315

Приобрести продукцию Cirrus Logic можно в компании ПРОСОФТ