

Владимир РЕНТЮК
Rvk.modul@gmail.com

Тестер-автомат гальванических элементов

Введение

Если вы не случайный разовый пользователь гальванических элементов (элементов питания), то перед вами рано и поздно станет вопрос их проверки. Во-первых, бракованный или разряженный элемент питания подведет вас в самую неподходящую минуту. Во-вторых, вы, не будучи уверенным в его качестве, не можете прогнозировать время работы устройства в целом. И в-третьих, некачественный или сфальсифицированный элемент питания (автор встречал подделки дорогих щелочных батареек) может из-за нарушения своей герметичности повредить устройство, в которое он будет установлен. Особенно это опасно при последовательной установке нескольких батареек. В этом случае произойдет перераспределение нагрузки на элементы питания, будет уменьшаться общий ток, отдаваемый в нагрузку, а на внутреннем сопротивлении разряженного или слабого элемента питания будет выделяться повышенная мощность. В результате не только сократится время работы устройства, но и возможна разгерметизация батареек и вытекание из них электролита. При этом относительно недорогой элемент питания ценой 50 центов выведет из строя, например, тонометр стоимостью более \$60 (в него устанавливается обычно четыре батарейки), оптическую мышьку, пульт дистанционного управления, фотоаппарат и т. п. Если учесть,

что годовая потребность в элементах питания исчисляется десятком миллиардов, то вопрос их проверки конечным пользователем или продавцом уже не кажется надуманным.

Процесс проверки

Что обычно предлагается для проверки элементов питания? Наиболее часто просто измеряют напряжение, а вернее — электродвижущую силу (ЭДС). Иногда измеряют ток короткого замыкания и оценивают состояние по отдаче тока, которая обратно пропорциональна величине внутреннего сопротивления элемента питания и, следовательно, его состоянию. Значительно реже используют некоторое сопротивление и проводят измерение напряжения батареи под нагрузкой. Являются ли все эти три подхода абсолютно правильными? Нет.

Первый путь явно ошибочен. Он, конечно, может выявить неисправную или «севшую» батарею, но насколько она «села» и будет ли она работоспособна в вашем устройстве, вы знать не будете. Второй путь — это тяжелый стресс для батареи: маломощный источник питания может быть поврежден, а батарея при этом разряжается и теряет свой ресурс. Этот метод категорически запрещен для литиевых батарей и не рекомендован для батарей других типов.

Третий путь более правилен и безопасен для источников питания. Именно он исполь-

зуется в основной массе имеющихся на рынке и предназначенных для конечных пользователей тестеров. Типичный пример такого сверхпопулярного на рынке «прибора» с ценой, эквивалентной четырем долларам США, приведен на рис. 1а, а более продвинутый, для «промышленного» применения, ценой в \$15 — на рис. 1б. Оба эти тестера имеют общий принцип работы: они используют активную нагрузку (некий постоянный резистор). Это следует из того, что в них отсутствует собственный источник питания. На рынке есть подобные приборы и с цифровой индикацией, но суть их та же.

Дают ли подобные «тестеры» достоверные результаты? Нет. И вот почему. Во-первых, например, «севший» по внутреннему индикатору тонометра элемент питания может дать положительный результат при более низкой нагрузке, используемой в таких тестерах. Действительно, такой элемент питания, не пригодный для тонометра, может еще несколько месяцев исправно работать в настенных механических часах с шаговым двигателем или пульте дистанционного управления.

Во-вторых, давайте рассмотрим обычную ситуацию. Вам необходимо проверить щелочную (Alkaline) батарею AA. Кроме указанной основной маркировки AA, батареи этого типоразмера в зависимости от компании — производителя маркируются LR6, 15A, A316, MN1500 или MX1500 [3]. ЭДС «свежей» батареи этого типа при нормальной температуре окружающей среды — не ниже 1,56 В (обычно $1,6 \pm 0,2$ В). Что касается испытательного тока, то наиболее подходит ток проверки батарей в 250 мА, используемый, например, для батарей Energizer [2]. Именно такое значение чаще всего указывается в спецификациях на батареи этого типа различных изготовителей.

Таким образом, для испытания нашей батареи мы должны использовать активную нагрузку (резистор) сопротивлением 6 Ом. В этом случае для новой и ранее не использовавшейся батареи напряжение под нагрузкой должно быть не менее 1,46 В (при температуре окружающей среды +25 °С) и 1,2 В, если батарея наполовину разряжена [2]. Мы имели бы заслуживающий доверия результат, если бы испытательный ток оставался равным заданному току в 250 мА, как это требуется в [2]. Но в действительности в последнем случае (батарея разряжена на 50%) мы будем иметь испытательный ток всего



Рис. 1. Примеры тестеров для проверки батарей

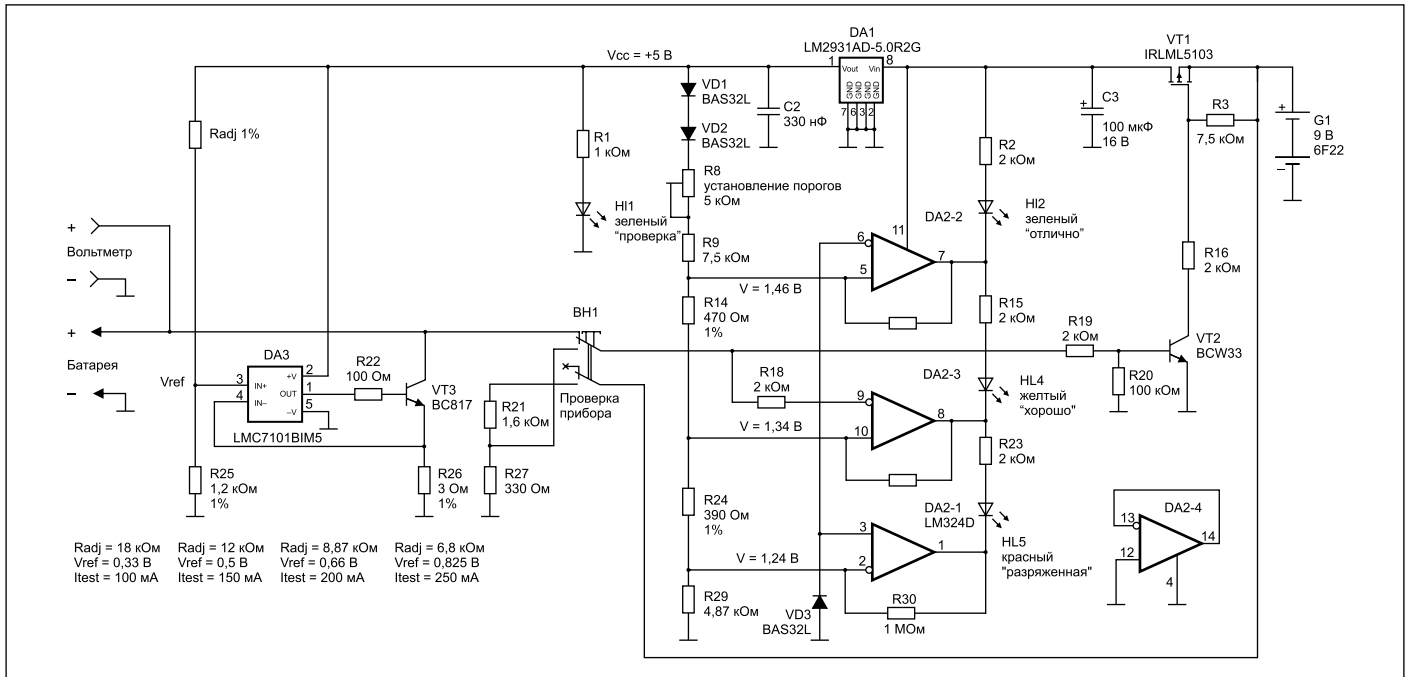


Рис. 2. Схема тестер-автомата гальванических элементов

200 мА вместо требуемого тока в 250 мА. И в этом случае измеренное выходное напряжение полностью разряженной батареи будет больше, чем 1,2 В, потому что она не будет нагружена должным образом. Батарея будет иметь нагрузку всего 80% от требуемого уровня. А значит, этот метод проверки дает некорректный результат. Как следствие, разряженная батарея может быть установлена в оборудование, и время его работы будет меньше ожидаемого. Или, что еще хуже, такая батарея попадет в комплект последовательно соединенных элементов питания.

Не буду утруждать читателей расчетами, но аналогичная проверка литиевой батареи CR2032 или CR2330 (Panasonic) даст ошибку в прогнозе на 33%, а это почти 200 часов ожидаемой и реально недостигнутой продолжительности работы батареи.

Справедливости ради необходимо отметить, что в качестве маркетингового хода компании начали выпускать элементы питания со встроенным индикатором оставшейся емкости, например Duracell Powercheck. Работа такого индикатора основана на изменении цвета теплопроводящей краски, которая нагревается при прохождении тока через токопроводящий полимерный электрод переменного сечения. «Свежая» батарея, которая может дать больший ток, нагревает электрод по всей поверхности, севшая — только в его узкой части. При нагреве краска меняет свой цвет. Получается, что это все та же разновидность резистивных тестеров, причем самая примитивная, и она обладает весьма относительной точностью исполнения.

Правильным подходом к решению задачи достоверной установки времени работы элементов питания, несомненно, является

использование профессиональных специальных анализаторов, программно вычисляющих их остаточную емкость по разрядной кривой. Однако стоимость таких анализаторов исчисляется сотнями долларов США. Более простой вариант, рассчитанный на конечного пользователя, а не на испытателя элементов питания, может быть выполнен на базе так называемого генератора втекающего тока. Его особенность состоит в том, что втекающий в него ток (когда он используется в качестве нагрузки) не зависит от приложенного к нему напряжения. Именно такой вариант тестера для контроля щелочных элементов питания типоразмера AA был впервые предложен автором в [1].

В настоящей статье автор приводит полный и уточненный вариант тестера, пригодного для проверки соляных и щелочных элементов питания типоразмеров AAA и AA: это на сегодня основное обозначение типоразмера пальчиковых батарей. (Другие варианты обозначений типоразмеров приведены, например, в [3]). Батареи именно этих типов наиболее популярны.

Тестер, представленный на рис. 2, можно легко приспособить для проверки других типоразмеров и типов элементов питания, например литиевых. Исключение составляют аккумуляторы всех типов и батареи большой мощности, имеющие малую величину внутреннего сопротивления и требующие больших токов для тестирования. Для этих типов элементов питания необходимы иные подходы к тестированию. Как правило, их тестируют на переменном токе с частотой от 1 до 100 кГц. Приборы такого типа позволяют в некоторой мере тестировать и элементы питания малой емкости,

но последние, согласно большинству спецификаций, проверяются при постоянном токе [2, 4].

Одной из схем тестера, разработанного автором, является генератор втекающего тока, выполненный на ИМС DA3 и транзисторе VT3. Он, как уже отмечалось выше, работает как некоторая не зависящая от величины приложенного напряжения токовая нагрузка и нагружает батарею током постоянной величины независимо от ее собственного напряжения. Необходимый ток нагрузки (втекающий ток генератора) рассчитывается по формуле:

$$I_{test} = 1/R_{26} \times (V_{cc} \times R_{25} / (R_{adj} + R_{25})),$$

V_{cc} — напряжение на резистивном делителе R_{adj} , R_{25} (в рассматриваемой схеме V_{cc} равно 5 В).

Выбор тока и соответствующего приведенной на рис. 1 схеме номинала резистора R_{adj} осуществляется либо в зависимости от реальной нагрузки, либо (если она неизвестна) от типа тестируемых батарей. До сих пор не выработаны единые подходы в представлении характеристик элементов питания. Производители оставляют это на свое собственное усмотрение и приводят удобные для себя варианты. Разрядные кривые часто даются из условия «нагрузка-отдых». То есть элемент нагружается на некоторое время, потом ему дают возможность «отдохнуть» и самовосстановиться.

Проанализировав спецификации на элементы питания основных производителей и проведя ряд проверок, автор остановил свой выбор на следующих значениях тока для их тестирования (табл. 1). Тестирование

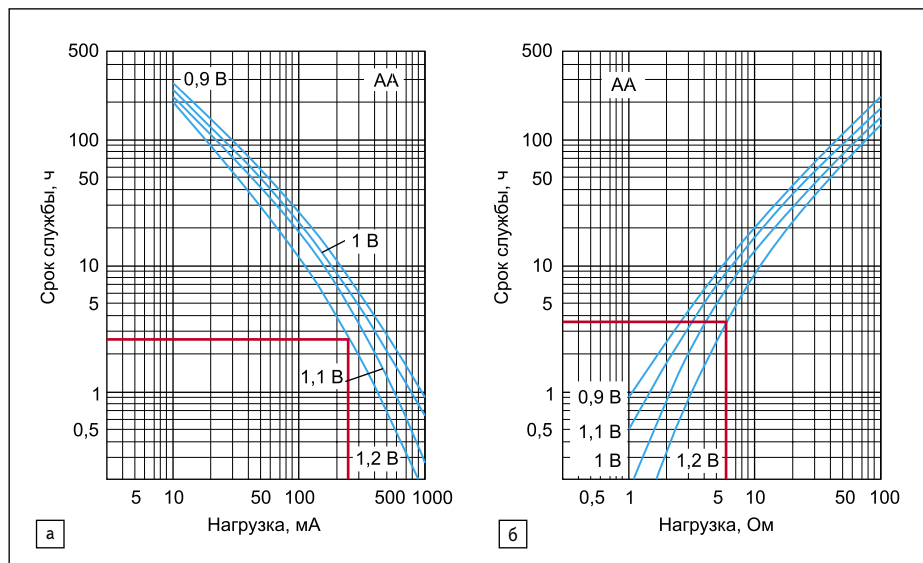


Рис. 3. Разрядные кривые батареи LR6XWA (Alkaline-Zinc/ManganeseDioxide):
а) типовые разрядные характеристики на постоянном токе;
б) типовые разрядные характеристики при разряде на активную нагрузку (резистор)
Примечание. Красными линиями отмечены тестовые точки.

Таблица 1. Рекомендуемый проверочный ток элементов питания

Технология	Типоразмер (тип)	Ток, мА	Radj, кОм
Соляная	AAA	100	18
Соляная	AA	150	12
Щелочная	AAA	200	9,1
Щелочная	AA	250	6,8

батарей на фиксированное сопротивление, например, то, которое приводится в ряде спецификаций, на взгляд автора статьи, не является достаточно информативным и проводить его неудобно. Убедимся в этом еще раз на примере реальной спецификации на элемент питания AA (LR6XWA) [4].

Если сравнить разрядные кривые, то для свежей батареи при токе 250 мА время ее работы составит примерно 2,6 ч, а на нагрузку 6 Ом (начальный ток — те же 250 мА) — примерно 3,8 ч (рис. 3), то есть вроде бы на час дольше. И проблема кроется не столько в этом, а в том, что искажается форма разрядной кривой, при этом затрудняется анализ остаточного напряжения на элементе питания, так как кривая после начального участка до величины напряжения в 1,4 В при проверке на фиксированный резистор становится плоской. Это затрудняет получение достоверного результата тестирования из-за невозможности установки типового «окна» для измерения.

Облегчить конечному пользователю выбор минимальных типовых значений токов проверки элементов питания поможет таблица 2 [8]. В ней приведены значения тестового сопротивления нагрузки для щелочных батарей ведущих производителей. Именно эти батареи чаще всего представлены на рынке.

При выборе минимального проверочного тока необходимо разделить начальное напряжение элемента питания (ЭДС) на величину тестового резистора согласно таблице 2, а полученное значение умножить на коэффициент 1,5–1,7. При меньшем токе будет требоваться большее время для достоверного тестирования элемента питания. А при рекомендуемом токе проверка займет порядка 5 с.

Вернемся к схеме, которая приведена на рис. 2. Собственное падение напряжения на резисторе R26 (это токовый сенсор) не должно быть близким по величине к самому минимальному напряжению из ожидаемых при тестировании. При тестировании гальванических элементов типоразмера AAA и AA оно должно быть от 0,3 до 0,75 В. Это весьма важно, потому что транзистор VT3 должен быть в его активной рабочей области, а операционный усилитель (ОУ) DA3 — обеспечивать правильное функционирование обратной связи с этим низким входным напряжением. Сопротивление R22 предохраняет транзистор VT3, ограничивая его базовый ток.

Соответствующий выбор операционного усилителя DA3 крайне важен. Во-первых, это должен быть ОУ типа rail-to-rail, как по входу, так и по выходу. Во-вторых, он должен работать при однополярном питающем напряжении от 5 В. При таком выборе ОУ не нужно использовать в тестере дополнительное напряжение питания отрицательной полярности.

Тестер не содержит кнопок или переключателей вкл./откл. Он включается автоматически при подключении испытываемой батареи. Таким образом, батарея тестера не разрядится, если оператор забудет его выключить. Светодиод HL1 указывает на готовность и возможность испытания подключенной к тестеру батареи. Один из трех светоди-

Таблица 2. Испытательные характеристики элементов питания

Наименование батареи	Сопротивление нагрузки, Ом	Конечное напряжение, В	Энергоданность, Вт/ч	Емкость, А/ч
9v				
9v Energizer Alkaline Bulk	100	5,5	0,5092	3,5592
9v Energizer Alkaline Carded	100	5,5	0,4857	3,3915
9v GP Alkaline	100	5,5	0,4216	2,796
9v Duracell Procell Professional Alkaline	100	5,5	0,5102	3,7001
9v Energizer Heavy Duty Bulk	100	5,5	0,0708	0,444
9v Energizer Heavy Duty Bulk	250	5,5	0,1122	0,76
9v Golden Power Heavy Duty	100	5,5	0,0961	0,5995
9v Golden Power Heavy Duty	250	5,5	0,1308	0,891
AA				
AA Universal Alkaline (4/04)	10	0,8	2,5457	2,9567
AA Energizer Alkaline	10	0,8	2,4956	2,8747
AA Energizer Industrial Alkaline	10	0,8	2,4961	2,8858
AA GP Alkaline	10	0,8	2,3351	2,6666
AA Maxell Alkaline	10	0,8	2,4226	2,8218
AA Motorola Alkaline	10	0,8	2,2322	2,5374
AA Duracell Procell Professional Alkaline	10	0,8	2,4766	2,9366
AA Samsung Alkaline	10	0,8	2,3117	2,6342
AA Sanyo Alkaline	10	0,8	2,2012	2,5264
AA Sony Alkaline (4/04)	10	0,8	2,5090	2,9205
AAA				
AAA Energizer Alkaline	20	0,8	1,1436	1,3477
AAA GP Alkaline	20	0,8	1,0509	1,214
AAA Motorola Alkaline	20	0,8	1,0711	1,2528
AAA Samsung Alkaline	20	0,8	1,0425	1,1982
AAA Sanyo Alkaline	20	0,8	1,0767	1,2462
C				
C Energizer Industrial Alkaline	4	0,8	5,3092	6,0818
C Duracell Procell Professional Alkaline	4	0,8	7,2257	7,9187
D				
D Energizer Industrial Alkaline	2	0,8	13,0576	13,6423
D Duracell Procell Alkaline	2	0,8	14,6918	15,2155

одов (HL2, HL3 и HL4) показывает (грубо) результат испытания. Индикаторы HL2, HL3, HL4 не будут светиться, если подключенная батарея находится в разряженном состоянии, а индикатор HL1 — если она вообще неработоспособна (табл. 3).

Приведенные значения порогового напряжения для оценки состояния рассматриваемых элементов питания выбраны исходя из типовых разрядных кривых на фиксированных токах. То, что в спецификациях указывается как конечное напряжение разряда (обычно это 0,8–0,9 В), является, мягко говоря, маркетинговым ходом. Это на бумаге увеличивает, по крайней мере в два раза, время

Таблица 3. Состояние индикаторов тестера

Состояние батареи	Напряжение на батарее типоразмера AAA и AA Vbat, В	Состояние индикаторов			
		HL2	HL3	HL4	HL1
Отличное	Vbat > 1,46	+	–	–	+
Хорошее	1,46 > Vbat > 1,34	–	+	–	+
Разряжена	1,33 > Vbat > 1,24	–	–	+	+
Некондиционная	Vbat < 1,23	–	–	–	+
Проверка невозможна		–	–	–	–

Примечание. Пороги индикации указаны при температуре окружающей среды +25 °С:
«–» — индикатор выключен;
«+» — индикатор включен.

работы элементов питания, но на самом деле их жизненный путь заканчивается, как правило, на отметке 1,2 В. Даже настенные часы с шаговым двигателем и кварцевым генератором не функционируют с элементом питания при его остаточном напряжении менее 1,2 В. Но в некоторых устройствах, как правило, малой мощности, с целью полного использования элементов питания могут быть установлены специальные преобразователи напряжения. В этом случае, действительно, батарея может быть разряжена на все 100% до напряжения 0,8–0,9 В. Конечный потребитель может изменить пороги анализатора на свое усмотрение или воспользоваться внешним вольтметром (он подключается к клеммам «Вольтметр»).

Для грубой оценки степени разряда элемента питания используется общеизвестный простой аналого-цифровой преобразователь. Он выполнен на трех ОУ микросхемы DA2. Все они включены как триггеры Шмитта с малым гистерезисом, обеспечивающим стабильность их функционирования. Пороги триггеров установлены делителем из резисторов (R5+R6), R8, R17 и R22. Диоды VD1 и VD2 являются дополнительными, и они используются для температурной компенсации. Ее желательно учитывать при эксплуатации прибора вне лабораторного помещения, в случае если в месте проведения испытаний имеют место колебания температуры в широком диапазоне. Это важно, поскольку параметры элементов питания сильно изменяются под воздействием их собственной температуры [2, 4]. Это функциональная особенность прибора опциональная. Если в ней нет необходимости, то диоды VD1 и VD2 исключаются, цепь замыкается, а номинал резистора R9 увеличивается до 11 кОм. Резистор R18 и диод VD3 — защитные, они предохраняют DA2 при ошибке в полярности подключения тестируемой батареи.

Стабильность порогов срабатывания индикатора при разряде собственной батареи тестера обеспечивается интегральным стабилизатором напряжения DA1. Вместо стабилизатора LM2931AD-5.0R2G [7] можно применить любой маломощный стабилизатор с малым падением напряжения типа Low Drop или Very Low Drop с выходным напряжением 5 В, в крайнем случае подойдет и ИМС стабилизатора типа L78L05 или аналогичный. Требования к операционным усилителям были изложены выше.

В качестве ОУ в генераторе тока можно предложить, например, LMC7101BIM5 [5] в миниатюрном корпусе SOT23-5. В качестве ОУ схемы индикации подойдут любые операционные усилители, допускающие работу с однополярным напряжением питания от 5 В и обеспечивающие рабочий выходной ток не менее 6 мА. Это необходимо для того, чтобы обеспечить нормальную работу светодиодных индикаторов. Достаточным выбо-

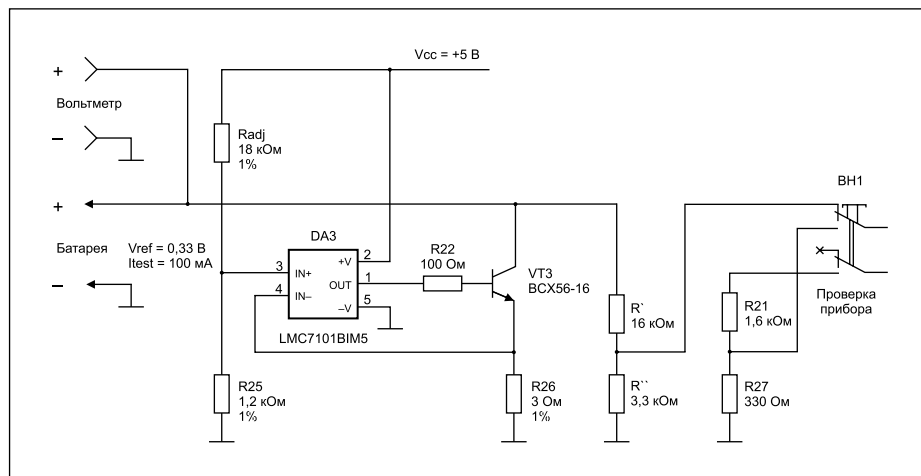


Рис. 4. Модернизация тестера для проверки солевой батареи типа 6F22 (9 В)

ром можно считать использование недорогого счетверенного операционного усилителя LM324D (STMicroelectronics) [6]. Его свободную часть можно использовать и для схемы генератора втекающего тока, хотя LM324D не позиционируется как усилитель типа rail-to-rail по входу.

Работать с прибором очень просто. Испытываемую батарею подключают к входным клеммам «Батарея» (естественно, с соблюдением полярности). Время испытания должно составлять 5–7 с. Меньшее время не даст достоверный результат, а большее приведет к излишнему разряду батареи во время проверки. Светодиод HL1 будет светиться, если на батарее присутствует напряжение не менее 1 В. В этом случае ключ на транзисторе VT1 будет открыт, а питание на прибор от его внутренней батареи будет подано на схему измерения. Генератор втекающего тока (DA3, VT3) нагружает батарею; измерительное устройство (аналого-цифровой преобразователь) определяет напряжение батареи под заданным током, и один из индикаторов (HL2, HL3 или HL4) выдает информацию о степени разряда тестируемой батареи.

Дополнительные особенности тестера

Как видно, схема прибора проста и не требует в отличие от ряда промышленных приборов программного обеспечения. Если необходимо иметь точные значения напряжения на испытываемой батарее, то можно подключить цифровой вольтметр. Это полезно, если необходимо подобрать комплект батарей для их совместной работы. Если такую подборку не выполнить, то батареи могут разгерметизироваться и повредить изделие, в которое они будут установлены. Использование стрелочного прибора нежелательно, так как он дает большую погрешность при считывании результата.

Как уже отмечалось выше, этот тестер автоматически включается и будет автома-

тически выключен после отсоединения проверенной батареи. В этом режиме прибор не потребляет мощность от его внутреннего энергетического источника. Для контроля состояния внутренней батареи и проверки работоспособности тестера вы можете использовать кнопку «Проверка прибора». Тестирование внутренней батареи будет проведено именно для условий ее работы в составе тестера. Ток потребления тестером от внутренней батареи в режиме измерения не превышает 10 мА.

Предлагаемый тестер — это недорогое, компактное, легкое и эффективное устройство. Вы можете с легкостью приспособить его к необходимым типам батарей. При необходимости тестирования, например, нескольких типов элементов питания нужно иметь универсальный прибор для щелочных и соляных батарей типоразмера AAA и AA. Задающие ток проверки резисторы (а соответственно, и тип проверяемого гальванического элемента) устанавливаются поворотным переключателем.

Если вам необходимо использовать температурную поправку, то в этом случае желательно, чтобы диоды VD1 и VD2 были выводные. Для этого подойдут, например, диоды 1N4148. Для быстрой готовности прибора к измерениям они должны иметь непосредственную связь с температурой окружающей среды. В этом случае их можно конструктивно прикрепить к небольшой металлической декоративной пластине на корпусе прибора, изолировав их выводы и не забыв, естественно, использовать при этом теплопроводящую пасту.

Этот прибор пригоден для проверки любых типов гальванических батарей. Однако при его модификации с целью проверки батарей с напряжением, превышающим 4,5 В, необходимо иметь дополнительный понижающий делитель напряжения между генератором втекающего тока и измерительной частью (рис. 2). Делитель необходимо выбрать так, чтобы на его выходе напряжение кондиционной батареи составляло 1,5 В.

Например, для тестера, предназначенного для проверки солевой батареи типа 6F22 с ЭДС 9 В (рис. 4), номиналы резисторов делителя составляют 16 и 3,3 кОм. Обратите внимание, что транзистор генератора тока VT3 заменен на более мощный транзистор типа BCX56-16.

При модификации прибора для проверки литиевых батарей из-за маленького тока нагрузки (0,2 мА) номинал резистора R19 в цепи автоматического включения необходимо будет увеличить до 100 кОм или вместо этой опции поставить выключатель (лучше кнопку включения без фиксации).

В приборе рекомендуется использовать постоянные резисторы и керамический конденсатор (C2) типоразмера 0805. Электролитический конденсатор C3 и подстроечный резистор R8 могут быть любого типа. Токозадающие резисторы и резисторы, определяющие пороги индикации, должны быть с допуском $\pm 1\%$ (это указано на схеме). Диоды VD1, VD2 и VD3 — любые маломощные кремниевые, транзистор VT2 — любой маломощный общего назначения с коэффициентом усиления по току не менее 200. Транзистор VT3 следует выбирать исходя из максимального тока и коэффициента усиления по току и достаточной рассеиваемой мощности. Для указанных в статье гальванических элементов транзистора типа BC817-40 достаточно. Транзистор VT1 — любой маломощный, соответствующего типа и проводимости.

Настройка и поверка прибора сводятся к подаче на его вход соответствующих состояний батареи напряжения, контролю втекающего тока и порогов срабатывания индикаторов. Подстройка порогов срабатывания индикации осуществляется резистором R8. ■

Литература

1. Rentyuk V. Circuit provides constant-current load for testing batteries // EDN. Feb. 19, 2009.
2. Energizer E91. Product Datasheet, Specifications, AA. Energizer Holdings, Inc.
3. List of battery sizes, Wikipedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_battery_sizes
4. Alkaline-Zinc/Manganese AA (LR6XWA). Panasonic Energy Corporation of America. 2009.
5. LMC7101/LMC7101Q Tiny Low Power Operational Amplifier with Rail-to-Rail Input and Output. Texas Instruments, Inc. March 2013.
6. LM124, LM224, LM324. Low power quad operational amplifiers. STMicroelectronics, Inc. June 2011.
7. LM2931, NCV2931 Series 100 mA, Adjustable Output, LDO Voltage Regulator with 60 V Load Dump Protection. ON Semiconductor, Inc. Rev. 26. April 2–13, 2013.
8. Battery Comparison Test Data. Zbattery.com, Inc. June 11, 2013:
<http://www.zbattery.com/zbattery/batteryinfo.html>