

## Немного о зарядке NiMH и NiCd аккумуляторов

### Портативный мир

В настоящее время для питания портативной аппаратуры используется несколько видов аккумуляторов: никель-кадмиевые (NiCd), никель-металл-гидридные (NiMH), литий-ионные (Li+), литий-полимерные (Li-Polymer). В последнее время все большее распространение получают Li+ аккумуляторы. Причин этому несколько: они имеют большую удельную емкость, низкий саморазряд, способны отдавать большие токи при разряде. Li-Polymer аккумуляторы обладают еще одним преимуществом: технологически их можно изготовить любой формы, аккумулятор может быть сверхплоским, толщиной всего несколько миллиметров, и даже иметь сложную форму, заполняя собой все свободное пространство внутри устройства. К сожалению, Li+ аккумуляторы, производимые разными фирмами (и даже одной фирмой, но для разных моделей устройства) имеют разные размеры и несовместимы между собой. Теряется такое важное качество, как взаимозаменяемость. С одной стороны, это позволяет создавать более компактные устройства, разрабатывая оптимальный аккумулятор для каждого случая. Но в то же время это вызывает ряд неудобств. Если, например, требуется второй аккумулятор для того или иного устройства, возникают определенные проблемы: нужно найти точно такой же аккумулятор той же фирмы, причем стоимость его будет довольно высокой, поскольку нет предложений от конкурентов. То же касается и зарядных устройств: для каждого типа аккумулятора нужно иметь свое «фирменное» зарядное устройство. Потребители хотят иметь выбор и часто голосуют кошельком против такого подхода, покупая устройства, работающие на стандартных аккумуляторах размера AA или AAA. Такие аккумуляторы намного дешевле, широко представлены на рынке, а в экстренных случаях могут быть заменены щелочными батарейками, которые имеют такой же форм-фактор. Как недостаток можно назвать их несколько меньшую удельную емкость и несколько меньшую компактность устройств, использующих такие аккумуляторы. Но есть и важное преимущество: если во всех устройствах используются аккумуляторы форм-фактора AA или AAA, достаточно одного зарядного устройства.

### Стандартные аккумуляторы

Если вести речь об аккумуляторах форм-фактора AA или AAA, то есть смысл говорить только о NiMH аккумуляторах. Применявшиеся ранее NiCd аккумуляторы встречаются все реже, тем более, зарядное устройство, спроектированное для работы с NiMH аккумуляторами, будет нормально работать и с NiCd аккумуляторами (но обратное не верно). По сравнению с NiCd аккумуляторами NiMH аккумуляторы имеют на 30...40% большую удельную емкость, меньше страдают эффектом «памяти», не содержат опасного для окружающей среды кадмия. Однако у NiMH аккумуляторов есть и недостатки: они дороже (хотя разница в стоимости постепенно стирается), имеют меньшее количество циклов заряд-разряда (характеристики начинают ухудшаться уже после 200...300 циклов), имеют более высокое внутреннее сопротивление, больший примерно в полтора раза саморазряд. Даже несмотря на то, что при разряде они могут отдавать значительные токи, разряд током сверх допустимого ведет к уменьшению количества циклов, поэтому желательно при разряде не превышать ток 0.5C. Там, где требуются большие разрядные токи, до сих пор используются NiCd аккумуляторы. Однако технология NiMH аккумуляторов постоянно совершенствуется и уже сегодня ведущие производители этих аккумуляторов заявляют, что современные модели NiMH аккумуляторов полностью свободны от эффекта «памяти» и допускают 500...1000 циклов заряд-разряда.

## Способы зарядки аккумулятора

В процессе зарядки аккумулятора в нем происходят химические преобразования. Только часть поступающей энергии тратится на эти преобразования, другая часть превращается в тепло. Можно ввести понятие «КПД процесса зарядки аккумулятора». Это та часть энергии, поступающей от зарядного устройства, которая запасается в аккумуляторе. Значение КПД никогда не бывает 100%, при одних условиях зарядки КПД выше, при других – ниже. Тем не менее, КПД может быть довольно высоким, что позволяет производить зарядку большими токами не опасаясь перегрева аккумулятора. Химические реакции, которые протекают в NiMH аккумуляторе при его зарядке, являются экзотермическими, в отличие от NiCd аккумуляторов, где они эндотермические. Это означает, что КПД зарядки NiMH аккумуляторов ниже, и они более горячие в процессе зарядки. Это требует более тщательного контроля процесса зарядки.

Скорость зарядки аккумулятора зависит от величины зарядного тока. Ток зарядки обычно измеряют в единицах  $C$ , где  $C$  – численное значение емкости аккумулятора. Это не совсем корректно с точки зрения размерностей физических величин, но принято считать, что ток  $1C$  для аккумулятора емкостью  $2500 \text{ мА/ч}$  равен  $2500 \text{ мА}$ . По скорости различают несколько видов зарядки: капельная зарядка (trickle charge), быстрая зарядка (quick charge) и ускоренная зарядка (fast charge). Капельная зарядка обычно определяется как зарядка током  $0.1C$ , быстрая зарядка – током порядка  $0.3C$ , ускоренная зарядка – током  $0.5 \dots 1.0C$ . На самом деле принципиальных отличий между быстрой и ускоренной зарядкой нет, они отличаются лишь предпочтительными методами определения конца зарядки. Поэтому есть смысл разделять только два вида зарядки: капельная и быстрая. К быстрой зарядке можно отнести любую зарядку током, большим  $0.1C$ . Принципиальным отличием капельной и быстрой зарядки является то, что при быстрой зарядке зарядное устройство должно автоматически заканчивать процесс, пользуясь какими-то критериями. При капельной зарядке окончание процесса можно не детектировать, а аккумулятор может находиться в состоянии капельной зарядки сколько угодно долго.

### Капельная зарядка

Вопреки существующему мнению, капельная зарядка не способствует долгой жизни аккумуляторов. Дело в том, что при капельной зарядке зарядный ток не отключают даже после того, как аккумулятор полностью зарядился. Именно поэтому ток выбирается малым. Считается, что даже если вся энергия, сообщаемая аккумулятору, будет превращаться в тепло, при столь малом токе он не сможет существенно нагреться. Для NiMH аккумуляторов, которые значительно хуже реагируют на перезарядку, чем NiCd, ток капельного заряда рекомендуется не более  $0.05C$ . Для аккумуляторов большей емкости значение тока капельной зарядки больше. Это означает, что в зарядном устройстве, предназначенном для зарядки аккумуляторов большой емкости, аккумуляторы малой емкости будут сильно нагреваться, что сокращает срок их службы. Снижение тока капельной зарядки ведет к увеличению длительности зарядки сверх разумного. Аккумулятор большой емкости, установленный в зарядное устройство, предназначенное для зарядки аккумуляторов малой емкости, может вообще никогда не достичь своего полного заряда, так как с процессом заряда будет конкурировать саморазряд. Долго находясь в таких условиях, аккумуляторы начинают деградировать, теряя емкость.

При всем желании, надежно детектировать конец капельной зарядки невозможно. На низких зарядных токах профиль напряжения плоский, практически нет характерного максимума в конце зарядки. Температура также растет плавно. Единственным методом является ограничение процесса зарядки по времени. Однако при этом нужно знать не только точную емкость аккумулятора (которая зависит от возраста и состояния аккумулятора), но и величину его начального заряда. Исключить влияние начального заряда можно только одним способом – полностью разрядить аккумулятор перед зарядкой. А это еще больше удлинит процесс зарядки и укорачивает жизнь аккумулятора, которая определяется количеством

циклов заряд-разряда. Еще одной помехой при вычислении длительности капельной зарядки является низкий КПД этого процесса. Для капельной зарядки КПД не превышает 75%, более того, КПД зависит от многих факторов, в том числе от температуры и состояния аккумулятора. Единственным преимуществом капельной зарядки является простота реализации (без контроля конца зарядки). В то же время производители NiMH аккумуляторов не рекомендуют пользоваться капельной зарядкой. И только в последнее время производители аккумуляторов специально отмечают, что современные NiMH аккумуляторы не деградируют под воздействием длительной капельной зарядки.

### **Быстрая зарядка**

Большинство производителей NiMH аккумуляторов приводят характеристики своих аккумуляторов для случая быстрой зарядки током 1С. Хотя иногда можно встретить рекомендации не превышать ток 0.75С. Эти рекомендации связаны с опасностью открывания вентиляционных отверстий аккумулятора при быстрой зарядке в условиях повышенной температуры окружающей среды. «Умное» зарядное устройство должно оценить условия и принять решение о допустимости быстрого заряда. Считается, что быстрый заряд можно использовать только в диапазоне температур 0...+40°C и при напряжении на аккумуляторе 0.8...1.8 В. КПД процесса быстрой зарядки очень высок (порядка 90%), поэтому аккумулятор нагревается слабо. Однако в конце зарядки КПД этого процесса резко падает и практически вся подводимая к аккумулятору энергия начинает превращаться в тепло. Это вызывает резкий рост температуры и давления внутри аккумулятора, что может вызвать его повреждение. И хотя для современных аккумуляторов взрыва, скорее всего, не последует, просто откроются вентиляционные отверстия и часть содержимого аккумулятора будет безвозвратно утрачена. Это точно не пойдет на пользу аккумулятору, не говоря уже об изменении внутренней структуры электродов под воздействием высокой температуры. Поэтому при быстрой зарядке аккумулятора очень важно зарядку вовремя прекратить. К счастью, в режиме быстрой зарядки есть довольно надежные критерии, по которым зарядное устройство может это сделать.

Алгоритм работы быстрого зарядного устройства состоит из нескольких фаз:

1. Определение наличия аккумулятора.
2. Квалификация аккумулятора (qualification).
3. Пред-зарядка (pre-charge).
4. Переход к быстрой зарядке (ramp).
5. Быстрая зарядка (fast charge).
6. Дозарядка (top-off charge).
7. Поддерживающая зарядка (maintenance charge).

### **Фаза определения наличия аккумулятора**

В этой фазе обычно проверяется напряжение на выводах аккумулятора при включенном генераторе зарядного тока примерно 0.1С. Если при этом напряжение оказывается выше 1.8 В, это значит, что аккумулятор отсутствует или поврежден. В любом случае зарядка начинаться не должна. Как только будет обнаружено меньшее напряжение, делается вывод, что аккумулятор подключен и можно начинать зарядку.

Во всех других фазах зарядки на фоне основных действий должна производиться проверка наличия аккумулятора. Эта необходимость связана с тем, что аккумулятор в любой момент может быть вынут из зарядного устройства. При этом из любой фазы зарядное устройство должно перейти на первую фазу – определение наличия аккумулятора.

### **Фаза квалификации аккумулятора**

Зарядка начинается с фазы квалификации аккумулятора. Эта фаза нужна для грубой оценки начального заряда аккумулятора. Если напряжение на аккумуляторе меньше 0.8 В, то быструю зарядку производить нельзя. В этом случае требуется дополнительная фаза пред-

зарядки. Если же напряжение больше этой величины, то фаза пред-зарядки пропускается. На практике аккумуляторы никогда не разряжают ниже 1.0 В. Поэтому фаза пред-зарядки реально никогда не используется, разве что при зарядке глубоко разряженных или долго не бывших в употреблении аккумуляторов.

### **Фаза пред-зарядки**

Эта фаза предназначена для начальной зарядки глубоко разряженных аккумуляторов. Значение тока пред-зарядки выбирается в пределах 0.1...0.3С. Фаза пред-зарядки должна быть ограничена во времени (например, 30 мин). Более длительная пред-зарядка смысла не имеет, так как у исправного аккумулятора напряжение должно довольно быстро достигнуть порогового значения 0.8 В. Если же напряжение не растет, значит аккумулятор поврежден и процесс зарядки нужно прервать с индикацией ошибки.

Во всех длительных фазах зарядки необходимо контролировать температуру и прекращать зарядку при достижении критического значения. Для NiMH аккумуляторов максимально допустимой во время зарядки считают температуру 50°C. Как и во всех других фазах, необходимо контролировать наличие аккумулятора.

### **Фаза перехода к быстрой зарядке**

Если напряжение на аккумуляторе выше 0.8 В, то можно начинать быструю зарядку. Сразу включать большой зарядный ток не рекомендуется. Ток нужно плавно повышать в течение 2...4 мин, пока он не достигнет заданного тока быстрой зарядки.

В этой фазе необходимо контролировать температуру и прекращать зарядку при достижении критического значения. Как и во всех других фазах, необходимо контролировать наличие аккумулятора.

### **Фаза быстрой зарядки**

В этой фазе ток зарядки устанавливают в пределах 0.5...1.0С. Основной проблемой при быстрой зарядке является точное определение момента окончания зарядки. Если фазу быстрой зарядки вовремя не прекратить, аккумулятор будет разрушен. Поэтому весьма желательно, чтобы для определения окончания быстрой зарядки использовалось сразу несколько независимых критериев.

Для NiCd аккумуляторов обычно применялся так называемый  $-dV$  метод. В процессе зарядки напряжение на аккумуляторе растет, но в самом конце зарядки оно начинает падать. Для NiCd аккумуляторов критерием окончания зарядки являлось снижение напряжения примерно на 30 мВ (на каждый аккумулятор).  $-dV$  – это самый быстрый метод, он хорошо работает даже с частично заряженными аккумуляторами. Если, например, установить на зарядку полностью заряженный аккумулятор, то напряжение на нем начнет быстро расти, затем довольно резко падать. Это вызовет окончание зарядки.

Для NiMH аккумуляторов этот метод работает не столь хорошо, потому что падение напряжения для них менее выражено. При токах зарядки менее 0.5С максимум напряжения вообще может отсутствовать, поэтому зарядное устройство, предназначенное для зарядки аккумуляторов малой емкости, не всегда может определить конец зарядки аккумуляторов большой емкости. При повышенных температурах максимум напряжения также несколько смазывается. Слабое падение напряжения в конце зарядки вынуждает повышать чувствительность, что может привести к досрочному завершению быстрой зарядки из-за помех. Помехи генерируются как самим зарядным устройством, так и проникают из питающей сети. По этой причине не рекомендуется заряжать аккумуляторы в автомобиле, так как бортовая сеть обычно имеет очень высокий уровень помех. Сам аккумулятор тоже является источником шумов. Поэтому при измерении напряжения нужно применять фильтрацию. Надежность метода  $-dV$  уменьшается при зарядке батарей последовательно соединенных аккумуляторов, если отдельные аккумуляторы в батарее различаются по

степени заряда. При этом пик напряжения для разных аккумуляторов батареи наступает в разные моменты времени, и профиль напряжения смазывается.

Иногда для NiMH аккумуляторов вместо метода  $-dV$  используют метод  $dV=0$ , когда вместо падения напряжения детектируют плато на профиле напряжения. Критерием конца зарядки в этом случае служит постоянство напряжения на аккумуляторе в течение, например, 10 минут. Метод  $dV=0$  можно рассматривать как вариант метода  $-dV$  с установленным нулевым порогом изменения напряжения.

Несмотря на все трудности определения конца зарядки методом  $-dV$ , именно этот метод большинством производителей NiMH аккумуляторов называется как основной при быстрой зарядке. Типичным значением для изменения напряжения в конце зарядки током 1C является  $-2.5\dots-12$  мВ на один аккумулятор.

Сразу после включения большого зарядного тока напряжение на аккумуляторе может испытывать флуктуации, которые могут быть неверно восприняты как падение напряжения в конце зарядки. Для предотвращения ложного прекращения быстрой зарядки первые 3...10 мин (hold off time) после включения зарядного тока контроль  $-dV$  должен быть выключен.

Одновременно с падением напряжения в конце зарядки начинает расти температура и давление внутри аккумулятора. Поэтому конец зарядки можно определить по возрастанию температуры. Устанавливать абсолютный порог температуры для определения момента окончания зарядки не рекомендуется, так как сильное влияние на точность будет оказывать температура окружающей среды. Поэтому чаще используют не саму температуру, а скорость ее изменения  $dT/dt$ . Считается, что при зарядном токе 1C процесс зарядки нужно завершать, когда скорость роста температуры  $dT/dt$  достигнет  $1^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Нужно отметить, что при токах зарядки менее 0.5C скорость роста температуры почти не меняется и этот критерий использовать нельзя. Ввиду тепловой инерции метод  $dT/dt$  склонен вызывать некоторый перезаряд аккумулятора.

Как метод  $dT/dt$ , так и метод  $-dV$  вызывают некоторый перезаряд аккумулятора, что ведет к снижению срок его службы. Для того, чтобы обеспечить полный заряд аккумулятора, завершение заряда лучше проводить малым током при низкой температуре аккумулятора, так как при повышенных температурах способность принимать заряд у аккумуляторов заметно падает. Поэтому фазу быстрой зарядки желательно завершать чуть раньше. Существует так называемый inflexion метод определения окончания быстрой зарядки [3]. Суть этого метода заключается в том, что анализируется не максимум напряжения на аккумуляторе, а максимум производной напряжения по времени. Т.е. быстрая зарядка прекратится в тот момент, когда скорость роста напряжения будет максимальной. Это позволяет завершить фазу быстрой зарядке раньше, когда температура аккумулятора еще не успела значительно подняться. Однако этот метод требует измерения напряжения с большей точностью и некоторых математических вычислений (вычисления производной и цифровой фильтрации полученного значения).

Некоторые зарядные устройства используют не постоянный зарядный ток, а импульсный [4]. Импульсы тока имеют длительность порядка 1 сек, промежуток между импульсами – порядка 20...30 мс. Как преимущество такого метода называют лучшее выравнивание концентрации активных веществ по всему объему, меньшую вероятность образования крупных кристаллических образований на электродах и их пассивации. Точных данных по эффективности такого метода нет, во всяком случае, вреда он не приносит. С другой стороны, такой способ имеет другие преимущества. В процессе детектирования окончания быстрого заряда необходимо точно измерять напряжение на аккумуляторе. Если измерение проводить под током, то дополнительную погрешность будет вносить сопротивление контактов, которое может быть нестабильным. Поэтому на время измерения зарядный ток желательно отключать. После выключения зарядного тока необходимо сделать паузу 5...10 мс, пока напряжение на аккумуляторе установится. Затем можно производить измерение. Для эффективной фильтрации помех сетевой частоты можно произвести ряд

последовательных выборок на интервале 20 мс (один период сетевой частоты) с последующей цифровой фильтрацией.

Идея заряда импульсным током получила дальнейшее развитие. Был разработан метод, который называют FLEX negative pulse charging или Reflex Charging. Этот метод отличается от простого импульсного заряда наличием в промежутках между импульсами тока зарядки импульсов разрядного тока. При длительности импульсов тока зарядки порядка 1 сек длительность импульсов разрядного тока выбирается порядка 5 мс. Величина разрядного тока больше тока зарядки в 1.0...2.5 раз. Как преимущество такого метода называют более низкую температуру аккумулятора в процессе зарядки и способность устранять крупные кристаллические образования на электродах (вызывающих эффект «памяти»). Но есть результаты независимой проверки это метода фирмой General Electric, которые говорят о том, что пользы такой метод не приносит, как, впрочем, и вреда.

Поскольку правильное определения окончания быстрого заряда является очень важным, хорошее зарядное устройство должно использовать несколько методов определения сразу. Кроме того, должны проверяться некоторые дополнительные условия для аварийного прекращения быстрой зарядки. Так, в фазе быстрой зарядки необходимо контролировать температуру аккумулятора и прекращать быструю зарядку в случае достижения критического значения. Для быстрой зарядки ограничение по температуре более жесткое, чем для зарядки вообще. Поэтому при достижении температуры +45°C необходимо аварийно прекратить быструю зарядку и перейти на фазу дозарядки меньшим током. Очень желательно перед продолжением зарядки дождаться остывания аккумулятора, так как при повышенных температурах способность принимать заряд у аккумуляторов падает.

Еще одним дополнительным условием является ограничение времени быстрой зарядки. Зная ток зарядки, емкость аккумулятора и КПД процесса зарядки можно вычислить время, необходимое для полной зарядки. Таймер быстрой зарядки должен быть установлен на время, больше расчетного на 5...10%. Если это время истекло, а ни один из способов детектирования окончания быстрой зарядки не сработал, она аварийно прекращается. Такая ситуация, скорее всего, говорит о неисправности каналов измерения напряжения и температуры.

Кроме того, как и во всех других фазах, необходимо контролировать наличие аккумулятора.

### **Фаза дозарядки**

В этой фазе ток зарядки устанавливают в пределах 0.1...0.3С. При токе дозарядки 0.1С производители рекомендуют длительность дозарядки 30 мин. Более длительная дозарядка приводит к перезаряду, что увеличивает емкость аккумулятора на 5...6%, но сокращает количество циклов заряд-разряда на 10...20%. Еще одним положительным эффектом дозарядки является выравнивание заряда аккумуляторов в батарее. Те аккумуляторы, которые полностью заряжены, будут рассеивать подводимую энергию в виде тепла, в то время как другие будут заряжаться. Если фаза дозарядки идет непосредственно после фазы быстрой зарядки, полезно в течение нескольких минут остудить аккумуляторы. С повышением температуры способность аккумулятора принимать заряд существенно падает. Например, при температуре 45°C аккумулятор способен принять только 75% заряда. Поэтому дозарядка, проведенная при комнатной температуре, позволяет получить более полный заряд аккумулятора.

### **Фаза поддерживающей зарядки**

Зарядные устройства, предназначенные для зарядки NiCd аккумуляторов по окончании процесса зарядки обычно переходят в режим капельного заряда, чтобы поддерживать аккумулятор в полностью заряженном состоянии. Это приводит к тому, что температура аккумулятора всегда остается повышенной, что уменьшает срок службы аккумулятора. Для NiMH аккумуляторов долго находится в состоянии капельной зарядки

нежелательно, так как эти аккумуляторы плохо переносят перезаряд. По крайней мере, ток поддерживающей зарядки должен быть очень низким, чтобы только компенсировать саморазряд. Для NiMH аккумуляторов саморазряд составляет до 15% емкости в первые 24 часа, затем саморазряд снижается и составляет 10...15% в месяц. Для того, чтобы скомпенсировать саморазряд, достаточен средний ток менее 0.005С. Некоторые зарядные устройства включают ток поддерживающей зарядки раз в несколько часов, остальное время аккумулятор отключен. Величина саморазряда сильно зависит от температуры, поэтому еще лучше сделать поддерживающий заряд адаптивным: небольшой ток зарядки включается лишь тогда, когда обнаруживается заданное уменьшение напряжения на аккумуляторе.

В принципе, от фазы поддерживающей зарядки можно вообще отказаться, но если между зарядкой и использованием аккумуляторов проходит время, то непосредственно перед использованием аккумуляторы нужно подзарядить для компенсации саморазряда. Хотя более удобно, если зарядное устройство постоянно поддерживает аккумуляторы в состоянии полной зарядки.

### **Сверхбыстрый заряд**

При заряде до 70% своей емкости КПД зарядки близок к 100%. Это является хорошей предпосылкой для создания сверхбыстрого зарядного устройства. Конечно, увеличивать зарядный ток до бесконечности нельзя. Есть предел, обусловленный скоростью протекания химических реакций. На практике возможно использовать токи до 10С. Для того, чтобы аккумулятор не перегрелся, после достижения 70% заряда ток нужно снизить до уровня обычной быстрой зарядки и контролировать окончание зарядки обычным образом. Задача состоит в том, чтобы надежно контролировать достижение 70% отметки. Надежных методов для этого нет, повышение температуры инерционно, а перегрев укоротит жизнь аккумулятора. Особенно проблематично определение степени заряда в батарее, где могут быть аккумуляторы по-разному разряженные. Еще одной проблемой является подвод к аккумуляторам зарядного тока. При столь высоких токах плохой контакт может вызвать дополнительный нагрев и даже разрушение аккумулятора. И вообще, это весьма рискованное мероприятие, так как при ошибках зарядного устройства возможен взрыв. Нужно ли так спешить?

### **Универсальное зарядное устройство**

Аккумуляторы даже одного форм-фактора могут иметь разную емкость. Например, для NiMH аккумуляторов размера AA в настоящее время характерными являются емкости 1000...2500 ма/ч, а для аккумуляторов размера AAA – 500...800 ма/ч. Значения же токов зарядки пропорционально емкости аккумулятора. Если заряжать менее емкий аккумулятор большим током, будет происходить нагрев. Если заряжать аккумулятор меньшим током – возникают неудобства, связанные с увеличением времени зарядки. К тому же, в таких условиях может не работать один из методов определения окончания быстрой зарядки. В идеале универсальное зарядное устройство должно иметь возможность выбора зарядного тока в зависимости от используемых аккумуляторов. Однако на практике чаще всего токи устанавливаются для типовых аккумуляторов. В настоящее время для аккумуляторов размера AA можно считать средней емкостью примерно 1800 ма/ч, а для аккумуляторов AAA – примерно 650 ма/ч.

Нужно отметить, что для аккумуляторов одного форм-фактора с ростом емкости внутреннее сопротивление уменьшается незначительно, как и связанные с ним потери. Поэтому, если ток зарядки устанавливать равным 1С, температура аккумуляторов большей емкости будет выше. Как указывалось ранее, повышенная температура является причиной неполной зарядки. Поэтому для аккумуляторов размера AA можно рекомендовать не превышать ток зарядки 1.3...1.5 А независимо от их емкости. Иначе нужно применять принудительное охлаждение аккумуляторов во время быстрой зарядки с помощью вентилятора.

Поскольку для аккумуляторов разных размеров используются разные посадочные места с отдельными контактами, для изменения зарядного тока между AA и AAA аккумуляторами никаких дополнительных переключателей обычно не требуется.

### **Проблема выключения питания зарядного устройства**

Если во время зарядки питание зарядного устройства было выключено, при включении должен происходить переход на фазу определения наличия аккумулятора. При этом процесс зарядки начнется сначала, но в силу того, что для определения момента окончания быстрой зарядки используются независимые от общего времени зарядки критерии, быстрый заряд продлится необходимое для полной зарядки время. А вот дозарядка будет повторена полностью, несмотря на то, что она, возможно, уже была частично выполнена. Но это практически не создает проблем, так как аккумуляторы, находящиеся в стадии дозарядки, считаются готовыми к использованию, и их можно вынуть в любой момент. Единственным минусом является перезаряд, который испытывают аккумуляторы при многократной дозарядке. Даже если периодически запоминать в энергонезависимой памяти текущее состояние процесса зарядки, это не решит проблем. Невозможно учесть саморазряд, так как неизвестна продолжительность пребывания зарядного устройства в обесточенном состоянии. К тому же, в обесточенном состоянии аккумуляторы могли быть вынуты или заменены. Полностью эта проблема решена в «умных» Li+ аккумуляторных сборках, которые внутри содержат контроллер, измеряющий величину заряда, сообщаемого аккумулятору или полученного от него. Это позволяет в любой момент точно определять степень заряда аккумулятора.

Тем не менее, одним из требований, предъявляемых к зарядному устройству, является низкий разряд установленных аккумуляторов при отсутствии питания устройства. Ток разряда через цепи обесточенного зарядного устройства не должен превышать примерно 1 мА.

### **Определение первичных источников тока**

Кроме аккумуляторов, в форм-факторе AA и AAA выпускаются первичные источники тока (их называют батарейки, хотя это и не совсем правильно). Основное распространение получили первичные источники двух типов: щелочные (alkaline) и марганцево-цинковые. Щелочные источники имеют емкость в 5-7 раз выше, но они и более дорогие.

При установке первичных источников тока в зарядное устройство с режимом быстрой зарядки возможен взрыв, так как вентиляционные отверстия конструкцией первичных источников тока обычно не предусмотрены. Для устранения такой опасности весьма желательно, чтобы зарядное устройство могло отличать первичные источники тока от аккумуляторов и не включать режим быстрой зарядки в случае установки первых.

Отличий между аккумуляторами и первичными источниками тока относительно немного. Напряжение тех и других может быть одинаковым, в процессе разряда оно находится примерно в одном и том же диапазоне. Единственным отличием является более высокое внутреннее сопротивление у первичных источников тока. Именно по этому признаку отличают первичные источники тока от аккумуляторов контроллеры DS2711/12 фирма «MAXIM» [1, 2]. Полностью заряженные NiMH аккумуляторы размера AA имеют внутреннее сопротивление порядка 25...50 мОм, размера AAA – 50...100 мОм. В то же время полностью заряженные щелочные батарейки размера AA имеют внутреннее сопротивление порядка 150...250 мОм, размера AAA – 200...300 мОм. Как видно, отличить аккумуляторы от первичных источников тока можно установив предельное значение внутреннего сопротивления порядка 150 мОм. Однако это справедливо только для полностью заряженных аккумуляторов и батареек. При разрядке у тех и других внутреннее сопротивление растет и различия в общем случае исчезают.



Для определения первичных источников тока контроллеры DS2711/12 в процессе быстрой зарядки каждые 31 сек выключают зарядный ток и измеряют напряжение на аккумуляторе без тока. По этому и другому значению, измеренному уже с зарядным током, вычисляется внутреннее сопротивление аккумулятора. Если оно оказывается больше установленного предела, то процесс зарядки прерывается с индикацией ошибки. Из-за того, что у разряженных батареек и аккумуляторов внутреннее сопротивление может быть одинаковым, алгоритм не всегда будет работать. Однако есть несколько эффектов, которые делают работу зарядного устройства с таким алгоритмом вполне приемлемым. Если пытаться заряжать батарейку, разряженную до напряжения ниже 0.8 В, то зарядное устройство не включит режим быстрой зарядки, пока в режиме пред-зарядки не будет достигнуто напряжение 0.8 В. Поскольку пред-зарядка ведется относительно малым током, такой режим не может привести к существенному нагреву и разрушению батарейки. Когда напряжение достигнет 0.8 В, то включится режим быстрой зарядки. Если ток быстрой зарядки 1 А и более, то высока вероятность того, что из-за высокого внутреннего сопротивления батарейки напряжение поднимется выше 1.8 В и зарядка сразу будет прервана. Если же этого не произойдет, то зарядку прервет первое измерение внутреннего сопротивления. В режиме быстрой зарядки (током 1 А и более) для разряженного аккумулятора времени 31 сек окажется достаточно для того, чтобы его внутреннее сопротивление уменьшилось и проверка ошибки не показала. Если же внутреннее сопротивление окажется выше нормы, процесс зарядки прервется. Поэтому для глубоко разряженного аккумулятора может потребоваться несколько попыток старта процесса зарядки, после чего внутреннее сопротивление аккумулятора станет меньше установленного порога и процесс зарядки пройдет нормально. Таким образом, введение в алгоритм зарядки процедуры определения первичных источников тока может вызвать некоторые побочные эффекты, такие как необходимость перезапуска процесса зарядки глубоко разряженного аккумулятора. Можно, конечно, усовершенствовать алгоритм определения первичных источников тока. Например, сделать порог внутреннего сопротивления зависимым от напряжения на аккумуляторе. Но никто не может гарантировать полной достоверности определения. К тому же, новые разработки первичных источников тока имеют все более близкие параметры к параметрам аккумуляторов. Включать определение первичных источников тока в алгоритм работы зарядного устройства или оставить это на совести пользователя – решать нужно в каждом конкретном случае.

### **Эффект памяти и восстановление аккумуляторов**

Эффект памяти сильнее всего проявляется в NiCd аккумуляторах как снижение емкости аккумулятора при повторяющихся циклах неполной разрядки-зарядки. Суть эффекта состоит в том, что на электродах образуются крупные кристаллические образования, в результате часть объема активного вещества аккумулятора перестает использоваться. Для устранения эффекта памяти рекомендуется полная разрядка аккумулятора (до напряжения 0.8...1.0 В) с последующей зарядкой. В особо тяжелых случаях может потребоваться несколько таких циклов. NiMH аккумуляторы практически свободны от эффекта памяти. По заявлению производителей, максимальная потеря емкости, связанная с этим эффектом, не превышает 5%, что заметить крайне сложно. Тем не менее, примерно раз в месяц рекомендуется перед зарядкой NiMH аккумуляторов их полностью разрядить.

Желательно, чтобы зарядное устройство имело возможность разрядки аккумулятора с контролем минимального напряжения, по достижению которого разрядка прекращается. Режим разрядки аккумулятора в зарядном устройстве полезен не только с точки зрения восстановления аккумуляторов. Он оказывается очень кстати, когда возникает необходимость зарядить аккумуляторы с разной или неизвестной степенью начального заряда. Перед зарядкой степень заряда всех аккумуляторов желательно выровнять, что проще всего сделать их полной разрядкой. Особенно актуально это для зарядных устройств, заряжающих батарею последовательно соединенных аккумуляторов. Зарядное устройство с

функцией разряда может обладать возможностью измерения емкости аккумуляторов, что также очень полезно на практике.

### **Взаимодействие аккумуляторов в батарее**

Отдельные аккумуляторы в батарее могут иметь несколько отличающиеся характеристики. Причиной этого является разброс параметров при производстве аккумуляторов, неравномерное распределение температуры внутри батареи при эксплуатации и разные темпы старения отдельных аккумуляторов. В итоге при зарядке батареи аккумуляторы с меньшей емкостью будут подвергаться перезарядке. Это вызывает дальнейшую деградацию таких аккумуляторов и выход их из строя. С другой стороны, если один из аккумуляторов в батарее имеет высокий саморазряд или вовсе закорочен, то при попытке полной зарядки такой батареи перезаряд будут испытывать исправные аккумуляторы.

Аккумуляторы с меньшей емкостью будут разрушаться и в процессе разрядки батареи. Эти аккумуляторы окажутся разряженными раньше, дальнейшая разрядка батареи может вызвать очень глубокий разряд таких аккумуляторов и даже их переплюсовку. При этом температура и давление внутри аккумуляторов будет повышаться, что может привести к их разрушению.

В результате даже небольшое начальное различие емкости аккумуляторов в батарее будет возрастать в процессе эксплуатации, и это может закончиться разрушением одного из аккумуляторов. Поэтому нужно стремиться к тому, чтобы степень зарядки отдельных аккумуляторов была по возможности одинаковой. В идеальном случае каждый аккумулятор батареи должен заряжаться отдельно. Однако готовые батареи аккумуляторов часто имеют всего два вывода, поэтому заряжать можно только всю батарею сразу. В таком случае может оказаться полезным выравнивание (balancing) степени зарядки аккумуляторов. Выравнивание обязательно нужно производить для новой или глубоко разряженной батареи. Перед началом выравнивания контролируют напряжение на батарее. Если напряжение батареи менее 0.8 В/акк. (т.е. в пересчете на каждый аккумулятор), то производят зарядку до 0.8 В/акк. током примерно 0.1С. Затем нужно произвести выравнивание, для чего следует полностью зарядить батарею током 0.3С, ограничив процесс заряда временем 4.0...4.5 часов. Если батарея аккумуляторов долго не находилась в эксплуатации, то рекомендуется дополнительно произвести несколько циклов заряд-разряд стандартными методами.

### **Ссылки:**

- [1] – <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS2711-DS2712.pdf>
- [2] – <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN3388.pdf>
- [3] – <http://www.st.com/stonline/products/literature/an/2074.pdf>
- [4] – ICS1700A.pdf

**Ридико Леонид Иванович**  
wubblick@yahoo.com