

Заряд кислотных аккумуляторов

Кислотные аккумуляторы, применяемые в современной аппаратуре, преждевременно выходят из строя в основном из-за неправильной эксплуатации. Данная статья дает рекомендации по технологии оптимальной эксплуатации кислотных аккумуляторов, которые позволят разработчикам создавать электронные устройства, эффективно работающие с этим типом источников энергии.

Андрей Кривецкий

ankat22@yandex.ru

В современной электронной аппаратуре широкое применение находят кислотные аккумуляторы. Особенно это проявляется в тех случаях, когда от аккумулятора требуется большой разрядный ток. Кроме того, кислотные аккумуляторы имеют меньшую стоимость и меньший ток саморазряда по сравнению со щелочными никель-кадмиевыми аккумуляторами, также широко используемыми в электронной аппаратуре.

Однако кислотные аккумуляторы оказываются более «капризными» в эксплуатации и требуют к себе более пристального внимания. Практика показывает, что большинство кислотных аккумуляторов преждевременно выходит из строя именно от неправильной эксплуатации. Здесь особенно важна правильная технология заряда кислотных аккумуляторов. Сведения, приводимые в различных источниках, носят зачастую отрывочный характер и не дают правильного представления о процессе заряда. Те рекомендации, которые обычно приводятся изготовителями в инструкциях по эксплуатации, рассчитаны на использование простейших зарядных устройств и невысокую аккуратность пользователей. Такие простейшие технологии не учитывают всех особенностей физико-химических процессов в аккумуляторе и поэтому не оптимальны. Оптимальные технологии заряда достаточно трудоемки и без автоматизации трудно выполнимы, поскольку у рядового пользователя зачастую нет времени и желания, чтобы методично следить за многочасовым процессом заряда и выполнять все необходимые процедуры.

В данной статье автором сделана попытка, обобщая свой личный опыт и сведения из различных источников, выработать рекомендации по технологии оптимальной эксплуатации кислотных аккумуляторов.

Существует два основных способа заряда аккумуляторов: при постоянном напряжении и при постоянном токе. Первый способ считается более простым и широко используется для заряда аккумуляторов в бортовых сетях автотранспорта. Однако при этом способе заряда напряжение можно считать постоянным лишь условно. Аккумулятор по своей природе является источником напряжения, то есть в идеале имеет бесконечно малое внутреннее сопротивление и может отдавать бесконеч-

но большой ток, поддерживая постоянное напряжение на клеммах при любой нагрузке. Поэтому соединять его параллельно с другим источником напряжения, не ограничивая ток, нельзя. Это приведет к недопустимому возрастанию тока. На практике устройства заряда при постоянном напряжении зачастую используют для ограничения тока внутреннее сопротивление самого аккумулятора. Поэтому их выходное напряжение ограничено допустимой величиной тока заряда:

$$U_3 = I_{3(\text{доп})} \times R_{\text{ак}} + E,$$

где $I_{3(\text{доп})}$ — допустимый зарядный ток, U_3 — зарядное напряжение, E — э.д.с. аккумулятора, $R_{\text{ак}}$ — внутреннее сопротивление аккумулятора.

Это приводит к тому, что при постоянном напряжении на выходе источника зарядного напряжения аккумулятор не может быть заряжен полностью. Как правило, его заряд составляет около 70% от номинальной емкости. Постоянные недозаряды приводят к сульфатации электродов, следствием которой является повышение внутреннего сопротивления и потеря емкости, что в конечном итоге ведет к преждевременному выходу аккумулятора из строя. При таком способе заряда о степени заряженности аккумулятора можно судить только по изменению плотности электролита, потому что напряжение и ток заряда оказываются взаимозависимыми, изменяются от многих факторов в процессе заряда, и их измерение не дает однозначных данных о степени заряженности. А в аккумуляторах герметичной конструкции измерить плотность электролита вообще невозможно.

Примечание. Емкость аккумулятора принято обозначать буквой C , как любую электрическую емкость. Однако измеряют ее не в фарадах, а в ампер-часах, что характеризует время разряда при нормированном значении тока (обычно 0,1...0,2C). Время заряда обычно больше из-за потерь. Отношение времени разряда к времени заряда при одинаковом токе характеризует своеобразный КПД аккумулятора, который обычно составляет 0,65–0,80.

Хотя полностью разряженный аккумулятор может выдерживать ток, раза в полтора превышающий его собственную емкость, не стоит прибегать к этому для уменьшения времени заряда. При боль-

ших токах ухудшается заряжаемость и существенно уменьшается емкость аккумулятора. Это связано с особенностями протекания химических процессов, в результате которых вырабатывается или накапливается энергия. При заряде большим током температура аккумулятора достигает предельно допустимого значения раньше, чем он успеет полностью зарядиться. Практически при токе 0,7С продолжительность заряда не должна быть более 30 мин, при токе 0,5С — 45 мин, при токе 0,3С — 90 мин. И выходит за эти пределы не рекомендуется. При таких токах необходимо контролировать температуру электролита и не допускать, чтобы она превышала 45 °С. Систематическое использование больших токов для ускорения заряда заметно сокращает срок службы аккумулятора.

Некоторые фирменные изделия, например портативные сверлильные машины, имеют в своем комплекте зарядные устройства, которые действуют подобным образом, то есть производят форсированный заряд. Это в конечном итоге приводит к ускоренному износу аккумуляторов и вынуждает пользователей чаще покупать новые, принося изготовителям дополнительную прибыль.

Заряд аккумулятора постоянным током снимает ряд проблем, присущих заряду постоянным напряжением. Обычно рекомендуемый ток заряда в этом случае составляет 0,1С. При таком токе аккумулятор не перегревается, а напряжение на его клеммах гораздо меньше подвержено влиянию посторонних факторов. Поэтому по изменению этого напряжения можно судить о степени заряженности аккумулятора. А это гораздо удобнее, чем измерение плотности электролита. Заряд постоянным током позволяет заряжать аккумулятор до 100%, так как напряжение на нем ограничивается только за счет физико-химических процессов, происходящих в самом аккумуляторе. При этом на заключительной стадии заряда происходит десульфатация электродов за счет электрохимического разложения сульфата свинца. Поэтому при прочих равных условиях заряд аккумуляторов при постоянном токе позволяет заметно продлить срок их службы и может быть рекомендован как профилактический в тех случаях, когда в штатных режимах эксплуатации происходит заряд при постоянном напряжении (например, на транспортных средствах).

Рассмотрим процессы, происходящие в аккумуляторе во время заряда.

Аккумулятор может быть представлен эквивалентной электрической схемой замещения, показанной на рис. 1. На этом же рисунке показан внешний источник тока, используемый для заряда. Поэтому будем считать, что в течение всего времени заряда ток не изменяется.

На рис. 2 графически показан процесс заряда в общем случае. Красным цветом показано изменение напряжения на аккумуляторе в процессе заряда. Синим цветом показано изменение собственной э.д.с. в процессе заряда. В общем случае процесс заряда можно разделить на четыре основные стадии.

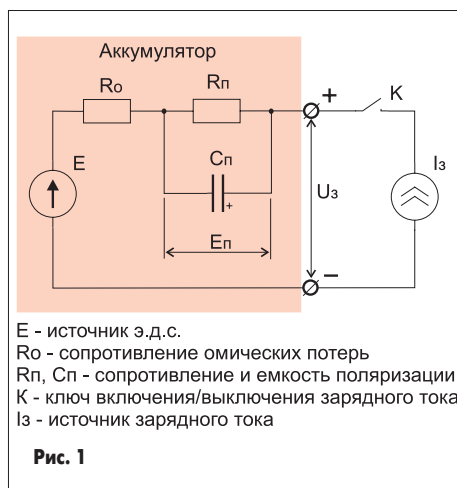


Рис. 1

В свободном состоянии напряжение на клеммах аккумулятора равно его собственной э.д.с. После включения зарядного тока происходит скачок этого напряжения на величину омических потерь (точки 1–2) и начинается первая стадия заряда, на которой происходит заряд эквивалентной емкости поляризации и стабилизация распределения концентрации электролита вблизи электродов (точки 2–3).

На второй стадии (точки 3–4) происходит восстановление активной массы от поверхности вглубь электродов, увеличивается плотность электролита и напряжение на аккумуляторе. Когда почти вся активная масса электродов окажется восстановленной, напряжение на аккумуляторе достигает 2,3 В.

Примечание. Здесь и далее указывается напряжение одного аккумулятора (одной «банки»). Если вести речь о батарее, то указанные напряжения нужно умножить на количество аккумуляторов в батарее.

После этого (третья стадия, точки 4–5) зарядный ток начинает частично, а затем полностью расходоваться на разложение воды на водород и кислород. Момент начала газовой выделению отмечен на рис. 2 точкой 4. При этом напряжение на аккумуляторе начинает резко повышаться и может достигнуть 2,7 В, так как для разложения воды требуется более высокое напряжение.

После достижения указанной величины напряжение на аккумуляторе перестает возрастать, и процесс переходит в четвертую стадию. На этой стадии (точки 5–6) напряжение остается постоянным. Наблюдается обильное выделение газа, которое обычно называют «кипением электролита». Происходит окончательное восстановление глу-

бинных слоев активной массы электродов и электрическое разложение сульфата свинца. При токе заряда, равном 1/10 номинальной емкости аккумулятора, этот процесс длится 2–3 часа. Если ведется заряд батареи аккумуляторов, то на этой стадии происходит выравнивание плотности электролита в различных аккумуляторах, так как в электролите с меньшей плотностью вода разлагается активнее.

Примечание. В герметичных, так называемых «необслуживаемых», аккумуляторах приняты специальные меры, чтобы при рекомендованном токе заряда точка газовой выделению находилась за пределами зарядной характеристики, то есть вообще не происходило газовой выделению.

После завершения четвертой стадии зарядный ток отключают. Напряжение на аккумуляторе скачком уменьшается на величину омических потерь (точки 6–7), после чего происходит разряд емкости поляризации на сопротивление поляризации. При этом напряжение на электродах аккумулятора постепенно уменьшается, пока не достигнет значения собственной равновесной э.д.с., примерно равной 2,1 В (точки 7–8). Значение равновесной э.д.с. определяется различными факторами, в том числе плотностью электролита, достигнутой в процессе заряда. Этот период (хотя он и не является зарядом, так как зарядный ток отключен) можно условно считать пятой стадией, потому что на этой стадии продолжают процессы, характерные для заряда — выравнивание плотности электролита у электродов и между ними.

На практике ход зарядных процессов и их продолжительность могут выглядеть несколько иначе, поскольку они зависят от тока заряда, температуры, степени разряженности аккумулятора и его общего состояния.

После рассмотрения особенностей зарядного процесса видно, что широко известные так называемые автоматические зарядные устройства не обеспечивают оптимальной зарядки и сохранности аккумулятора, потому что одни из них просто выдерживают зарядный ток определенное время, а затем отключают или снижают, другие отключают зарядный ток по достижении определенной величины напряжения на аккумуляторе. В первом случае не учитывается степень начальной заряженности аккумулятора, что в большинстве случаев приводит к перезаряду, выкипанию электролита и порче аккумулятора. Во втором случае никогда не достига-

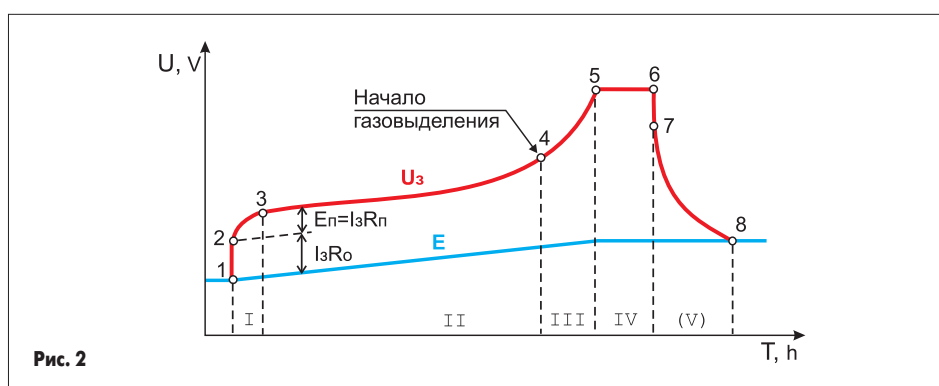


Рис. 2

ется четвертая стадия (100% заряд), так как порог отключения устанавливается ниже точки 5 (рис. 2), а желание максимально повысить этот порог приводит к тому, что отключения может вообще не произойти, поскольку положение точки 5 зависит от индивидуальных особенностей каждого аккумулятора, температуры и тока заряда.

Исходя из сказанного, можно выработать рекомендации, которым должно отвечать автоматическое зарядное устройство, способное обеспечить оптимальный заряд и сохранность аккумулятора:

1. Для заряда аккумулятора нужно использовать источник тока. Причем его максимально возможное выходное напряжение должно превышать напряжение аккумуляторной батареи (из расчета $U_3 > 2,7V \times N$, где N — количество аккумуляторов в батарее).
2. Перед тем как начать заряд, аккумулятор желательно (но не обязательно) разрядить током 0,1С до напряжения 1,81–1,83 В.
3. В процессе заряда нужно следить не за абсолютным значением напряжения на аккумуляторе, а за характером его изменения. По достижении III стадии оно начнет довольно быстро возрастать, а затем это возрастание прекращается. Если после прохождения III стадии напряжение будет оставаться неизменным или понизится на доли вольта в течение 15–30 мин, то это будет означать, что для данного аккумулятора достигнута IV стадия заряда. В зависимости от необходимости десульфатации процесс заряда на этой стадии можно либо сразу прекратить, либо продолжать в течение 2–3 часов.
4. По окончании заряда зарядный ток может быть полностью отключен. Однако, чтобы аккумулятор всегда был в полной готовности со 100% зарядом, зарядный ток нужно не отключать, а уменьшить до величины, необходимой для компенсации саморазряда. Для каждого аккумулятора эта величина может быть разной. Она должна быть такой, чтобы при протекании тока напряжение на аккумуляторе находилось в пределах 2,13–2,16 В. В таком «спящем» режиме аккумулятор может находиться сколько угодно без пагубных последствий и всегда быть в состоянии полной готовности.
5. Для профилактики, устранения сульфатации электродов и восстановления емкости

аккумулятора необходимо периодически производить так называемые тренировочные зарядно-разрядные циклы. Для проведения такой процедуры аккумулятор должен быть разряжен током 0,1С до напряжения 1,81–1,83 В, а затем сразу заряжаться до точки 6 (рис. 2). Затем аккумулятор снова полностью разряжается и полностью заряжается. Таких циклов может быть проведено несколько. На каждом цикле разряда измеряется время разряда и вычисляется емкость аккумулятора. Если текущая емкость оказалась больше предыдущей, то тренировочные циклы целесообразно продолжать до тех пор, пока не будет достигнут максимальный результат.

Здесь необходимо сделать важное замечание.

Дело в том, что большинство современных зарядных устройств с выходным током больше 2–3 А строятся пока еще на базе регулируемых тиристорных выпрямителей. Зарядный ток, получаемый от таких выпрямителей, представляет собой последовательность импульсов, у которых в процессе регулирования изменяются амплитуда, форма и скважность.

Между тем, измерители зарядного тока, применяемые в таких устройствах, как правило, измеряют среднее значение этого тока, которое в данном случае может в несколько раз отличаться от действующего значения. А именно действующее значение импульсного зарядного тока характеризует энергию, передаваемую аккумулятору, так как, по определению, действующее значение тока любой формы равно по величине постоянному току, который выделяет такую же мощность на том же сопротивлении.

При этом кроме возможной порчи аккумулятора будет складываться неправильное представление о его емкости, поскольку он зарядится гораздо быстрее, чем положено. Поэтому при проектировании зарядных устройств, которые используют импульсный ток, необходимо обращать на это внимание и измерять действующее значение тока заряда.

Во многих зарядных устройствах, использующих импульсные токи, предусмотрен режим асимметричного тока, когда параллельно заряжаемому аккумулятору подключается нагрузка, через которую он разряжается в промежутках между зарядными импульсами. То, что такой режим способствует де-

сульфатации электродов — сомнительно. Как было рассмотрено выше, разложение сульфата свинца происходит на четвертой стадии заряда. При заряде асимметричным током аккумулятор получает так называемые электрические удары, которые способствуют «стряхиванию» частичек сульфатной пленки с поверхности электродов, а не разложению сульфата. При этом засоряется электролит и образуется осадок, который через некоторое время (при частом использовании подобного метода) замыкает электроды и увеличивает ток саморазряда.

Следует помнить, что процесс разряда также важен для сохранности аккумулятора, как и процесс заряда. Номинальная емкость аккумуляторов, за исключением особых случаев, регламентируется для тока разряда 0,1С при нормальной температуре. При разряде большими токами емкость аккумулятора уменьшается. Так, при разряде током, близким к С, емкость может уменьшаться до 50% от номинальной. При понижении температуры емкость аккумулятора также уменьшается. Это уменьшение составляет примерно 1%/°С. В обоих случаях уменьшение емкости связано с ограниченностью скорости протекания химических процессов, в результате которых вырабатывается энергия. Это свойство необходимо учитывать при проектировании устройств, в которых аккумулятор предполагается использовать при повышенных токах разряда, например, в устройствах бесперебойного питания.

В ходе разряда снижается плотность электролита из-за пассивации кислоты сульфатом свинца. Начиная с определенного момента эти химические преобразования становятся необратимыми и приводят к порче электродов. Поэтому нельзя допускать разряд аккумулятора ниже 1,8 В, а также оставлять его в разряженном состоянии на длительное время.

Опыт показал, что соблюдение приведенных рекомендаций позволяет увеличить срок службы аккумулятора примерно в полтора раза при эксплуатации его на больших разрядных токах. При токах разряда, не превышающих 0,2С, срок службы может быть увеличен в несколько раз. Здесь, конечно, не идет речь о тех аккумуляторах, у которых активная масса осыпается сама собой из-за некачественного изготовления. ■