

УДК 541.136.

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАРЯДА СУЛЬФАТИРОВАННОГО  
СВИНЦОВО-КИСЛОТНОГО АККУМУЛЯТОРА ИМПУЛЬСНЫМ АСИММЕТРИЧНЫМ ТОКОМ****В. Г. Дувинг, И. А. Казаринов<sup>1</sup>, М. М. Бурашникова<sup>1</sup>***ОАО «Электроисточник», Саратов, Россия**<sup>1</sup>Саратовский государственный университет, Россия*

E-mail: KazarinovIA@mail.ru

Поступила в редакцию 12.12.11 г.

Проведена экспериментальная проверка возможностей разработанного зарядного устройства для заряда свинцово-кислотных аккумуляторов с сульфатированными пластинами импульсным асимметричным током. Принцип рассматриваемого способа заряда основан на чередовании импульсов зарядного тока малой длительности, но большой амплитуды, с импульсами разрядного тока с частотой их следования, кратной частоте переменного тока электросети России (50 Гц). Разработанное устройство позволяет эффективно проводить заряд свинцово-кислотных аккумуляторов с глубоко сульфатированными пластинами, пригодно для первичной батарейной формовки свинцово-кислотных аккумуляторов и для восстановления первоначальной ёмкости батарей в процессе их длительной эксплуатации.

*Ключевые слова:* свинцово-кислотные аккумуляторы, сульфатация пластин, методы заряда, импульсные методы, заряд асимметричным током.

The capabilities of our designed charging device for charging of lead-acid batteries with sulfated plates by pulse asymmetric current were tested experimentally. The principle of the considered charging mode is based on alternation of short high-amplitude pulses of the charging current with discharging current pulses with their sequence frequency being multiple of the alternating current frequency in Russia (50 Hz). The designed device enables effective charging of lead-acid batteries with deeply sulfated plates, and is suitable for primary battery formation of lead-acid batteries and for restoration of the initial capacity of batteries in the process of their long-term exploitation.

*Key words:* lead-acid batteries, plate sulfating, charging modes, pulse modes, asymmetric current charging.

**ВВЕДЕНИЕ**

При всех положительных качествах свинцово-кислотного аккумулятора (СКА) он имеет существенный недостаток, сокращающий срок его эксплуатации – сульфатацию пластин. В результате длительной или неправильной эксплуатации аккумулятора активное вещество – сульфат свинца – переходит в химически неактивное состояние. По этой причине снижается зарядная и разрядная ёмкость аккумулятора вплоть до её полной и необратимой потери.

Основными причинами сульфатации пластин являются рекристаллизация сульфата свинца, ведущая к укрупнению размеров кристаллов, и адсорбция на кристаллах сульфата свинца поверхностно-активных веществ, присутствующих в качестве примесей в сернокислом электролите [1]. И то и другое приводит к снижению растворимости сульфата свинца и, как следствие, к уменьшению скорости зарядного процесса. Поэтому характерными признаками сульфатации аккумуляторных электродов являются повышенное напряжение и обильное газовыделение, наблюдаемые в самом начале заряда.

Для устранения сульфатации аккумуляторных пластин разработан целый ряд методов, ко-

торые широко представлены в литературе. Первая группа методов основана на повышении растворимости сульфата свинца за счёт изменения состава электролита. Вторая группа методов, которым в настоящее время по ряду причин отдаётся предпочтение, основана на использовании специальных зарядных методов: на чередовании импульсов зарядного и разрядного токов, на заряде импульсным асимметричным током [2–6]. Использование импульсов зарядного тока большой амплитуды в некоторых случаях позволяет эффективно десорбировать с поверхности органические примеси в процессе сильной катодной поляризации.

Известно, что режимы заряда асимметричным током предоставляют большие возможности для управления процессом заряда. Параметрами, которые могут использоваться для управления процессом заряда, являются: амплитуда зарядного импульса, амплитуда разрядного импульса, частота следования зарядного импульса, скважность, длительность пауз при переходе от разрядного к зарядному импульсу и от зарядного к разрядному. Эти параметры могут корректироваться в процессе заряда в зависимости от изменения состояния аккумулятора.

Не менее важной проблемой при разработке импульсных методов заряда является техническая

сложность устройств, с помощью которых можно реализовать такую технологию заряда. В настоящей работе анализируются возможности импульсного зарядного устройства [7] для десульфатации пластин свинцово-кислотных аккумуляторов.

### 1. Принцип работы импульсного зарядного устройства

Принцип рассматриваемого способа заряда основан на чередовании импульсов зарядного тока малой длительности, но большой амплитуды, с импульсами разрядного тока с частотой их следования кратной частоте переменного тока электросети России (50 Гц). Как показали исследования, для практики наиболее подходят два значения частоты следования зарядных импульсов: 50 Гц и 25 Гц. Кратность с частотой электросети позволяет создавать сравнительно несложные устройства для получения управляющих импульсов напряжения, синхронных с частотой электросети, и получать на батарее зарядные токи любой величины, которые ограничиваются только возможностью ключевого элемента.

Зарядное устройство содержит сетевой трансформатор, блок формирователя импульсов напряжения, синхронных с частотой сети переменного тока, ключевой элемент (управляемый мощный диод – тиристор). Блок-схема импульсного зарядного устройства приведена на рис. 1.

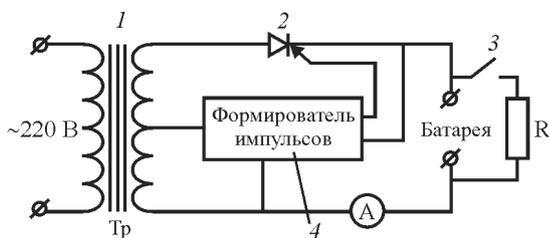


Рис. 1. Блок-схема импульсного зарядного устройства: 1 – сетевой трансформатор; 2 – тиристор; 3 – переключатель токоустановочного сопротивления; 4 – блок формирования импульсов; А – амперметр; R – токоустановочное сопротивление; Tr – трансформатор

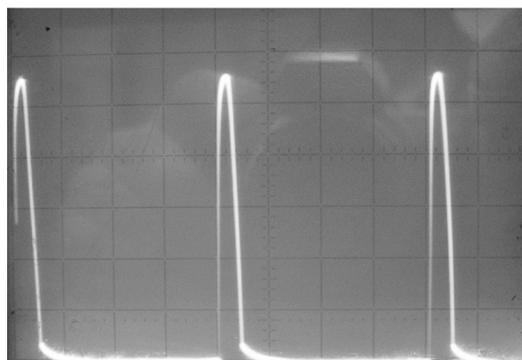
Полученные в формирователе импульсы напряжения подводятся к управляющему электроду тиристора и открывают его. Время открытия тиристора определяется длительностью подаваемого на него импульса. Для формирования управляющих импульсов с частотой 50 Гц используется один полупериод сети переменного тока, поэтому подаваемый на тиристор управляющий импульс должен быть синхронизирован именно с ним. Для получения частоты следования 25 Гц тиристор открывается через полтора сетевых периода.

Тиристор включен последовательно с вторичной силовой обмоткой сетевого трансформа-

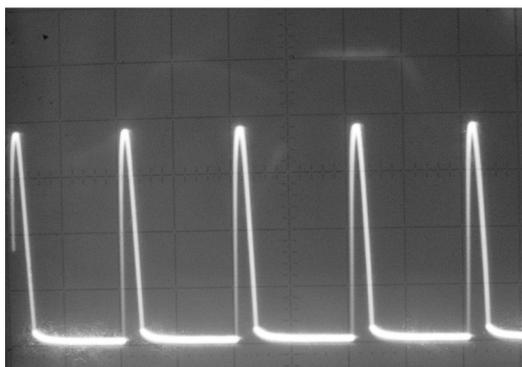
тора и аккумуляторной батареей. Напряжение на вторичной обмотке подбирается такой величины, чтобы обеспечивался необходимый максимальный ток заряда. Регулировка зарядного тока осуществляется в блоке формирователя за счёт изменения длительности управляющих импульсов (возможны другие схемы управления ключевым элементом).

Импульсы зарядного тока формируются с помощью импульсов напряжения, которые подаются с силовой обмотки трансформатора на клеммы батареи через тиристор. На рис. 2 приведены осциллограммы этих импульсов напряжения, сформированных зарядным устройством с частотой 25 Гц (рис. 2, а) и 50 Гц (рис. 2, б), которые являются переменной составляющей зарядного напряжения.

Импульсы напряжения накладываются на постоянное напряжение аккумулятора, при этом получается зарядное напряжение  $U_{зар}$ , которое можно представить в виде  $U_{зар} = U_{бат} + U_{имп}$ , где  $U_{бат}$  – постоянное напряжение на клеммах аккумулятора,  $U_{имп}$  – напряжение импульса, измеренное на экране осциллографа.



а



б

Рис. 2. Осциллограммы импульсов напряжения, сформированных зарядным устройством при частотах 25 Гц (а) и 50 Гц (б)

Импульсы зарядного тока образуют в цепи заряда эффективный постоянный ток ( $I_{эфф}$ ), который измеряется обычным образом по показанию

амперметра, включенного в цепь последовательно с аккумулятором (см. рис.1). Очевидно, что эффективный постоянный ток за период следования зарядного и разрядного импульсов по величине значительно меньше тока в зарядном импульсе.

Импульсы разрядного тока получают с помощью резистора, подключенного к выходным зажимам зарядного устройства (см. рис. 1). Величина постоянного тока в разрядных импульсах составляет 20–30% от эффективного постоянного тока заряда. Внутреннее сопротивление свинцово-кислотного аккумулятора намного меньше сопротивления этого резистора, поэтому потери тока на нём за время короткого зарядного импульса незначительны. Возможна разработка схемы, отключающей разрядный резистор при зарядном импульсе, но её энергопотребление может быть соизмеримо с потерями на резисторе и усложнение зарядного устройства теряет смысл.

## 2. Экспериментальные данные и их обсуждение

Проверка эффективности импульсного способа в сравнении с постояннотоковым режимом проведена на аккумуляторах из одной специально подготовленной батареи. Исправная батарея с ёмкостью 55 А·ч была полностью разряжена и находилась в этом состоянии 5 месяцев. Это было сделано для того, чтобы получить для эксперимента аккумуляторы с глубокой сульфатацией пластин и изготовленные по одной технологии.

Для заряда постояннотоковым и импульсным режимами использовались отдельные банки батареи после удаления её верхней крышки.

На рис. 3 показано изменение постоянного напряжения на клеммах единичного свинцово-кислотного аккумулятора, зарядного напряжения в импульсном режиме и эффективного постоянного тока заряда в течение первых 100 минут заряда. Как видно на рис. 3, в начальной стадии импульсного заряда (менее 0.2 мин) зарядный ток появляется при увеличении зарядного напряжения до 11 В. Одновременно с этим постоянное напряжение на клеммах свинцово-кислотного аккумулятора начинает увеличиваться от 0.9 В (начальное напряжение данного сульфатированного аккумулятора) и достигает 13 В, что более чем в 5–6 раз превышает величину э.д.с. свинцово-кислотного аккумулятора. Величина эффективного постоянного тока заряда возрастает постепенно от нулевого значения.

Высокое начальное зарядное напряжение объясняет трудности, которые возникают при попытке заряда свинцово-кислотного аккумулятора с глубокой сульфатацией пластин постоянным током (недостаточное для этой цели напряжение на

выходе стандартного зарядного устройства не позволяет осуществить процесс заряда).

Через одну-две минуты после подачи на клеммы аккумулятора импульсного напряжения устанавливается эффективный постоянный ток заряда 3 А, величина которого выбрана для эксперимента. В дальнейшем величина тока поддерживается постоянной, что свидетельствует о протекании фарадеевских процессов: восстановления и окисления сульфата свинца, соответственно на отрицательном и положительном электродах, и выделения газов (водорода и кислорода).

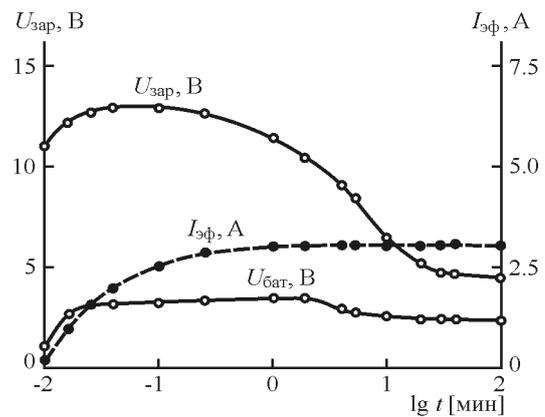


Рис. 3. Изменение постоянного напряжения на клеммах единичного свинцово-кислотного аккумулятора ( $U_{\text{бат}}$ ), зарядного напряжения в импульсном режиме ( $U_{\text{зар}}$ ) и эффективного постоянного тока заряда ( $I_{\text{эф}}$ ) в начальной стадии заряда свинцово-кислотного аккумулятора с сульфатированными пластинами импульсным асимметричным током ( $\nu = 50$  Гц)

Уменьшение сопротивления свинцово-кислотного аккумулятора в процессе заряда приводит к снижению импульсного зарядного напряжения, которое уже через 1 ч достигает значения 4.5 В.

В данном способе заряда импульсы тока заряда чередуются с импульсами тока разряда, но при этом суммарное время разряда больше суммарного времени заряда в 3–6 раз (в зависимости от длительности зарядных импульсов) при частоте следования импульсов 50 Гц, а при частоте 25 Гц – в 7–12 раз.

Процесс заряда аккумулятора происходит только в течение короткого зарядного импульса, длительность которого не превышает четверти периода колебаний в сети переменного тока 50 Гц (период колебаний 20 мс) [7]. При рассматриваемых частотах в обоих случаях длительность зарядного импульса не более пяти миллисекунд, поэтому величина тока в импульсе, как отмечалось выше, значительно превосходит эффективный постоянный ток заряда. Оценка показывает, что в данном

эксперименте при эффективном постоянном токе заряда 3 А зарядный ток в импульсе был не менее 12 А. С таким же эффективным постоянным током при частоте следования импульсов 25 Гц зарядный ток в импульсе был бы не менее 24 А.

Большой ток в зарядном импульсе положительно влияет на интенсивность электрохимической реакции заряда и преобразования активной массы в пластинах аккумулятора, а разрядная составляющая тока в период паузы позволяет снять концентрационную поляризацию и, следовательно, снизить газовыделение при десульфатации пластин.

На рис. 4 показано изменение плотности электролита в испытуемых аккумуляторах при их заряде постоянным током 3 А (кривая 1) и импульсным током с частотой 50 Гц (кривая 2) при эффективном постоянном токе заряда 3 А.

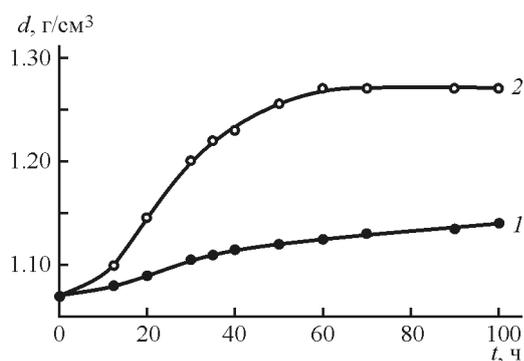


Рис. 4. Изменение плотности электролита при заряде СКА с сульфатированными пластинами различными режимами: 1 – постоянноточковый (ток заряда 3 А); 2 – импульсный (эффективный постоянный ток заряда 3 А,  $\nu=50$  Гц)

Видно, что при импульсном режиме заряда плотность электролита достигла значения  $1.27 \text{ г/см}^3$  через 60 ч. Данное значение плотности электролита характерно для почти полностью заряженного аккумулятора [8]. Из этого следует, что сульфат свинца, до заряда находившийся в виде крупных кристаллов, постепенно становится химически активным и вступает в реакцию заряда.

Заряд в постоянноточковом режиме с самого начала сопровождался интенсивным электролизом воды и обильным газовыделением. В процессе длительного заряда плотность электролита в этом случае достигла значения  $1.14 \text{ г/см}^3$ , при-

чём частично это увеличение произошло за счёт уменьшения уровня электролита. Газовыделение в импульсном режиме было заметно меньше.

## ВЫВОДЫ

Разработанное зарядное устройство, использующее технологию заряда импульсным асимметричным током, позволяет эффективно проводить заряд свинцово-кислотных аккумуляторов с глубокосульфатированными пластинами.

Принцип действия зарядного устройства основан на чередовании импульсов зарядного тока с импульсами разрядного тока с частотой следования кратной промышленной частоте переменного тока электросети России (50 Гц). Эксперимент был проведён только на одной из рекомендованных частот.

Данный метод заряда пригоден для первичной батарейной формировки свинцово-кислотных аккумуляторов [8] и для восстановления первоначальной емкости батарей в процессе их длительной эксплуатации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дасоян М. А., Агуф И. А. Современная теория свинцового аккумулятора. Л.: Энергия, 1975. 312 с.
2. А. с. 838828 СССР, МПК Н01 М 10/44. Способ заряда кислотного свинцового аккумулятора / В. А. Шулаев № 2826928/24-07; заявл. 17.10.79; опубл. 15.06.81, Бюл. № 22.
3. А. с. 372599 СССР, МПК Н01 М 39/00, Н01 М 47/00. Способ десульфатации пластин свинцового аккумулятора / Ф. И. Кукоз, Х. К. Явруян. № 1645723/24-07; заявл. 14.04.1971; опубл. 01.03.1973. Бюл. № 13.
4. А. с. 777760 СССР, МПК Н01 М 10/44. Способ формирования пластин и заряда кислотной свинцовой аккумуляторной батареи / З. И. Вайсгант, В. В. Василенко, В. А. Киселевич, М. К. Семков. № 2736915/24-07; заявл. 10.01.79 (21); опубл. 07.11.80, Бюл. № 41.
5. Пат. 3929505 США, кл. 136-34.
6. А. с. 396761 СССР, МПК Н01 М 39/00, Н01 М 45/04. Способ заряда свинцовой аккумуляторной батареи асимметричным током / В. Г. Денисов, А. В. Герасимов. № 1724919/24-7; заявл. 13.12.1971; опубл. 29.08.1973. Бюл. № 36.
7. Пат. 2180460 Российская Федерация. МПК<sup>7</sup> Н01 М 10/44, Н02 J 7/00. Способ заряда свинцового аккумулятора / В. Г. Дувинг (Российская Федерация); заявитель и патентообладатель В. Г. Дувинг. № 2000100072/09; заявл. 05.01.2000; опубл. 10.03.2002. Бюл. № 7.
8. Казаринов И. А., Дувинг В. Г., Бурашникова М. М., Решетов В. А., Борщенко А. А., Шишова М. А. // Электрохим. энергетика. 2011. Т. 11, № 4. С. 200–205.