

ДЕСУЛЬФАТАЦИЯ КИСЛОТНО-СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ИМПУЛЬСНЫМ ТОКОМ – ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Косарева М.А.

г.о. Королёв, МБОУ «Гимназия №5», 8 класс, кружок «Юный физик – умелые руки»

Руководитель: Лебедев В.В., г.о. Королёв, МБОУ «Гимназия №5», д.т.н., руководитель школьного кружка «Юный физик – умелые руки»

Нерешённой технической проблемой является сульфатация кислотно-свинцовых аккумуляторов. С позиции химии процесс сульфатации объясняется взаимодействием свинца в аккумуляторных пластинах с концентрированной серной кислотой. В результате на пластинах образуется диэлектрик сульфат свинца $PbSO_4$, который препятствует прохождению электрического тока не только во время разряда аккумуляторной батареи, но и в процессе зарядки. Получается, что сульфатированный аккумулятор нельзя зарядить, поэтому его приходится утилизировать или просто выбрасывать, а взамен покупать новый. Причин сульфатации аккумулятора много, но главная – хранение в разряженном пассивном состоянии. В автомобильной технике аккумулятор в среднем работает надёжно 3–5 лет, а потом начинает давать сбои, в том числе из-за сульфатации. Цена нового аккумулятора колеблется от трёх до пяти тысяч рублей. Есть организации, которые восстанавливают сульфатированные аккумуляторы, но проще и дешевле купить новый. Сами автомобилисты обычно не занимаются десульфатацией из-за сложности процесса. Особенно сложна для обычных автолюбителей электронная схема и электронный метод этого процесса.

Цель работы заключается в создании бытового электронного устройства для десульфатации кислотно-свинцовых аккумуляторов.

В этой работе решается частная задача по определению основных электрических характеристик электронного десульфатора.

Сформулирована и решена частная техническая задача построения электронной схемы на основе микросхемы-таймера серии 555. Определены величины входных управляющих воздействий на тактовый генератор импульсов для получения заданного диапазона рабочих частот. Предложена схема качающейся частоты тактового генератора.

Основание для выполнения работы

Научная работа соответствует Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 года №642, являющейся основным документом при планировании научно-исследовательских работ [1]:

Большому вызову 15в: возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан;

Глобальным изменениям 16а,б в организации научной, научно-технической и инновационной деятельности для научно-технологического развития Российской Федерации внутренних факторов:

а) сжатие инновационного цикла: существенно сократилось время между получением новых знаний и созданием технологий, продуктов и услуг, их выходом на рынок;

б) размывание дисциплинарных и отраслевых границ в исследованиях и разработках;

Приоритету 20б: переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии;

Ожидаемым результатам 36в,г:

в) обеспечить технологическое обновление традиционных для России отраслей экономики и увеличение доли продукции новых высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом внутреннем продукте на основе структурных изменений экономики России;

г) обеспечить продвижение российских технологий и инновационных продуктов на новые рынки, рост доходов от экспорта высокотехнологичной продукции, услуг и прав на технологии и, как следствие, усиление влияния и конкурентоспособности России в мире.

Анализ литературы

Химический процесс сульфатации свинцово-кислотного аккумулятора известен более полувека и подробно описан в научно-технической литературе, например, по электрохимии [2]. Химическая реакция сульфатации описывается следующим химическим уравнением:



При правильном применении свинцово-кислотного аккумулятора сульфатация происходит медленно, поэтому о ней потребители обычно не вспоминают. Неприятности

начинаются при грубых нарушениях правил пользования аккумуляторами, основными из которых являются:

- 1) глубокий или даже полный разряд аккумулятора;
- 2) длительное хранение разряженного аккумулятора;
- 3) долгое отсутствие сетевой зарядки аккумулятора;
- 4) напряжённый режим работы в городском цикле;
- 5) внедрение в автомобили экологической опции «стоп-старт» и др.

При сульфатации аккумулятора сульфат свинца II плотно покрывает свинцовые пластины белой диэлектрической плёнкой, сначала тонкой, но потом значительной. Диэлектрическая плёнка может стать такой плотной и толстой, что даже напряжение порядка 100 В не сможет обеспечить процесс зарядки аккумулятора.

В статье [3] приведены фотографии сульфатированных пластин свинцово-кислотного аккумулятора с такой толщиной диэлектрической плёнки, что её можно рукой в резиновой перчатке отслоить от свинца. Эти фотографии показаны на рис. 3. Определить сильно сульфатированный аккумулятор можно сразу, если заглянуть внутрь и подсветить фонариком пластины под электролитом.

Интерес к теме электронного восстановления сульфатированного аккумулятора появился у меня после случайного знакомства со статьёй по этому направлению [4]. Автор предлагает удалять слой сульфата свинца II со свинцовых пластин аккумулятора известным методом очень коротких и мощных электрических импульсов высокой частоты, до 30 кГц. Автор предлагает не только метод, но и электронное устройство-десульфатор, схема которого показана на рис. 2.



Сульфатация свинцово-кислотного аккумулятора
Ссылка на фотографии: <http://akbinfo.ru/ustrojstvo/desulfacija-akkumuljatora>

Рис. 1. Сульфатированные пластины аккумулятора

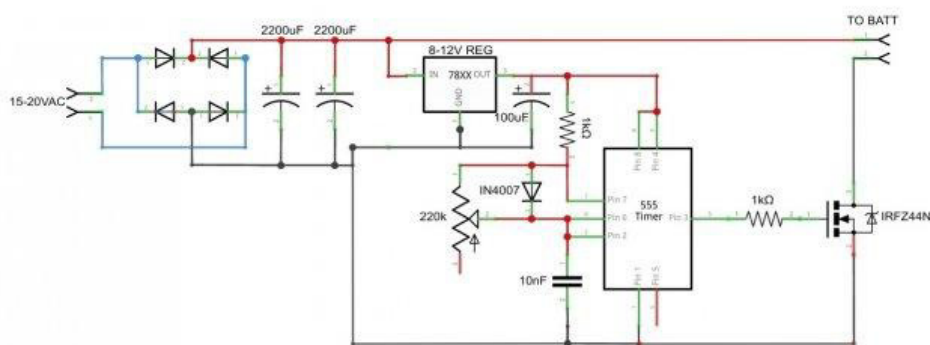


Рис. 2. Электронная схема десульфатора

Импульсный метод десульфатации свинцово-кислотного аккумулятора предложен в научной статье [5] в журнале «Электрохимическая энергетика».

По этой актуальной проблеме есть много научных работ, но эффективного метода борьбы с сульфатацией свинцово-кислотных аккумуляторов не найдено.

Первой задачей моей научно-исследовательской работы стал анализ электронной схемы десульфатора, показанной на рис. 2. Таким образом, я определила для себя основное направление исследования – характеристики блока управления таймером.

Создание первой лабораторной установки

Для изучения характеристик импульсного тока десульфатора аккумуляторов мне потребовалось собрать специальную лабораторную установку. Электрическая схема лабораторной установки с подключёнными к ней приборами показана на рис. 3.

казала наличие скачков напряжения до 1,5В в начале формирования импульса. Такой стабилизированный источник постоянного тока был применён вместо диодного моста, электроёмкостного фильтра и электронной микросхемы-стабилизатора серии 7812, потому что все эти элементы содержатся в лабораторном приборе. Выходной сигнал я регистрировала электронным осциллографом АКИП-4115/1А, который тоже есть в нашем школьном кружке. Электронный осциллограф АКИП-4115/1А позволяет не только видеть сигналы на экране, но и записывать их в память, а потом сохранять данные и копии экранных изображений в памяти прибора и на флэш-картах. Это очень удобно, потому что экспериментальные данные можно не только записывать в лабораторный журнал, а экран осциллографа не только фотографировать, но и запоминать данные и вид экрана в памяти прибора, накапливать опытные данные в компьютере для последующей подробной обработки.

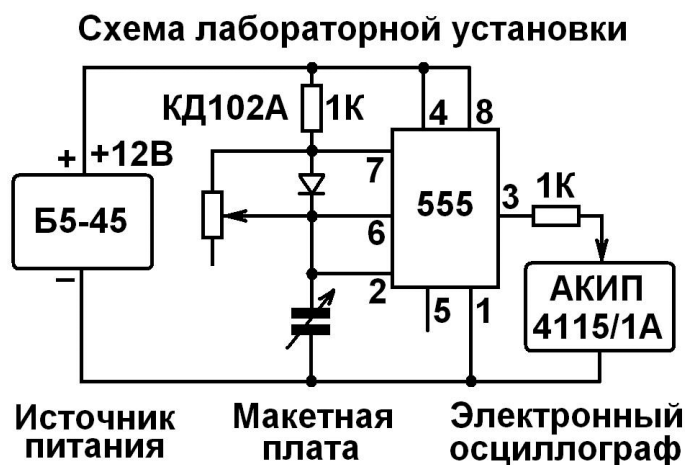


Рис. 3. Электрическая схема лабораторной установки

В школьном кружке есть стабилизированный источник постоянного тока Б5–45. Этот источник позволяет устанавливать любое постоянное напряжение от 0В до 50В и защищать цепь от перегрузки с регулируемой максимальной силой тока от 1 до 500 мА. С помощью такого источника постоянного тока было проведено изучение работы электросхемы при различных величинах напряжения питания. Основным элементом электрической схемы – таймер серии 555, который устойчиво работает при напряжениях питания от 4В до 16В, но мне потребовалось проверить устойчивую работу этой микросхемы совместно с другими радиодеталями. Например, осциллограмма по-

Управляющая часть электрической схемы вместе с таймером серии 555 была собрана на самой простой макетной плате, потому что содержит всего четыре радиодетали: микросхему-таймер серии 555, два резистора по 1К каждый и кремниевый диод (я применила КД102А). Управляющий переменный резистор я решила не устанавливать, а заменить его точным магазином сопротивлений КМС-6, который тоже есть в нашем школьном кружке. Этот очень точный прибор позволяет устанавливать любое сопротивление переключением декад в пределах от 0 Ом до 99999,9 Ом, то есть практически от нуля до 100К. Величина сопротивления влияет на частоту следования импульсов.

Моей целью было установить зависимость частоты следования импульсов от величины сопротивления управляющего резистора. Единственный конденсатор я тоже исключила из схемы и заменила его магазином электроёмкостей, который тоже есть в нашем кружке. Этот старинный немецкий прибор позволяет с точностью 1 % регулировать электроёмкость конденсатора в пределах от 0,01 мкФ до 10 мкФ. Минимальная величина электроёмкости 0,01 мкФ=10 нФ, то есть та, которая указана в исходной электрической схеме-оригинале десульфатора. На первом этапе исследований магазин электроёмкостей полнее может быть применён, потому что ещё одной задачей является установление зависимости длительности импульса от электроёмкости конденсатора. Однако позднее электроёмкость конденсатора должна быть уменьшена, она должна быть меньше 10 нФ. Но сначала это было высказано как гипотеза. Настольными приборами служат мультиметр и LC-измеритель. Я постоянно применяла мультиметр DT9205A для измерения величин сопротивлений, напряжений, грубо – для электроёмкостей. Для точного измерения электроёмкостей я применяла измеритель индуктивностей и ёмкостей МУ6243 – очень точный прибор. Этот прибор особенно нужен для исследования зависимости продолжительности импульса от электроёмкости конденсатора, потому что пришлось работать с электроёмкостями менее 10 нФ, то есть измеряемых пикофарадами. Общая фотография собранной полностью лабораторной установки-стенда показана на рис. 4.

Лабораторная установка была приготовлена к исследованиям. Для достижения цели работы мне надо было решить следующие задачи.

1. Определить зависимость частоты следования импульсов десульфатора от управляющего сопротивления, которое можно удобно изменять на лабораторной установке декадными переключателями от 0 до 1000К практически с любым шагом, вплоть до 0,1 Ом.

2. Определить зависимость длительности одиночного импульса десульфатора от величины электроёмкости конденсатора, которую можно удобно изменять на лабораторной установке от 0 до 10 мкФ с шагом 10 нФ. Это грубо, нужен меньший шаг изменения электроёмкостей, но на первом этапе исследования приемлемо.

3. Определить основные особенности переходных процессов в импульсах и сформировать требования к этим процессам, чтобы не нарушить работоспособность микросхемы-таймера серии 555.

4. Сделать выводы по экспериментальным данным, представить результаты исследований в иллюстративной форме.

Построение регулировочных частотных характеристик

После создания лабораторной установки очередной задачей исследования стало построение регулировочных частотных характеристик генератора импульсов. Максимальная величина сопротивления регулировочного реостата на схеме из первоисточника равна 220 кОм. В первом опыте сопротивление реостата изменя-



Рис. 4. Общая фотография лабораторной установки-стенда

лось от 10 кОм до 90 кОм с шагом 10 кОм. При каждой величине сопротивления измерялся период следования импульсов и линейная частота. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

да как для десульфатора была рекомендована частота 30 кГц. В связи с этим был проведён второй более точный эксперимент, в котором сопротивление резистора было уменьшено на порядок и изменялось от 1 кОм до 30 кОм

Регулировочная частотная характеристика

Сопротивление реостата, кОм	Период следования импульсов, мкс	Линейная частота импульсов, кГц
10	85	11,76471
20	157,5	6,349206
30	232,5	4,301075
40	305	3,278689
50	375	2,666667
60	445	2,247191
70	520	1,923077
80	600	1,666667
90	670	1,492537

На рис. 5 эти результаты представлены графически.

с шагом 1 кОм. На рис.6 эти результаты представлены графически. Линейная зависимость

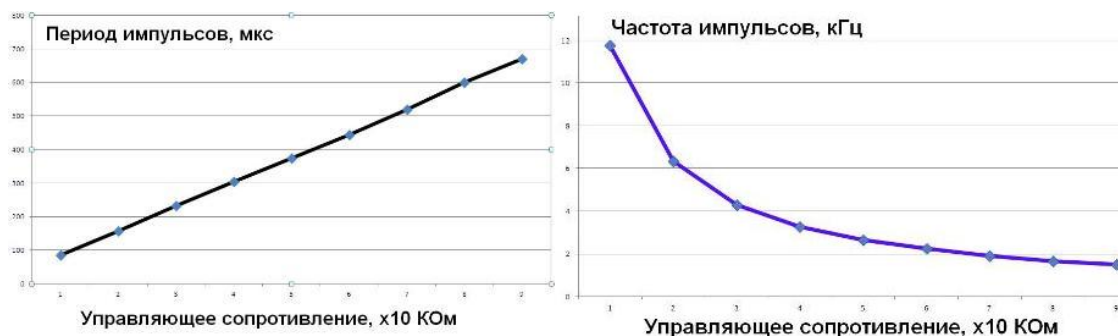


Рис. 5. Частотные регулировочные характеристики

Анализ первых опытов позволил заключить, что зависимость периода следования импульсов от сопротивления реостата практически линейная. Однако частота следования импульсов оказалась явно маленькой по сравнению с приведённой в описании схемы в первоисточнике. В частности, максимальная частота оказалась равной 12 кГц, тог-

периода следования импульсов от сопротивления реостата наблюдается явно, не считая одного неточного измерения. Гиперболическая зависимость линейной частоты следования импульсов от сопротивления реостата тоже явно прослеживается. Расчётная частота 30 кГц достигается при сопротивлении реостата 15 кОм.

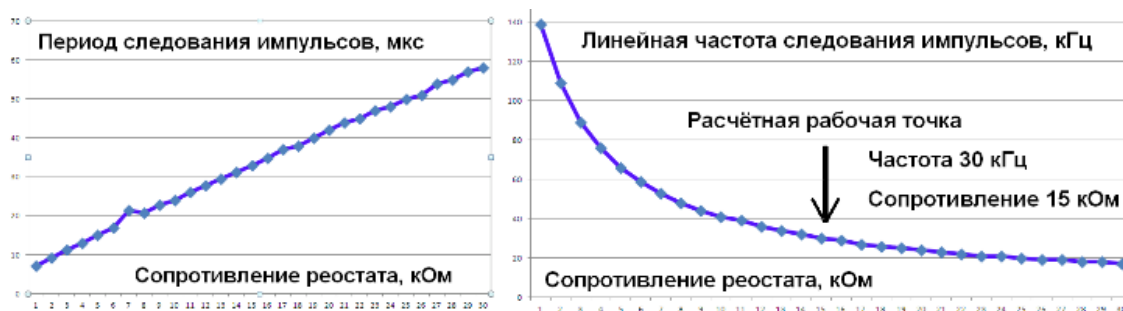


Рис. 6. Уточнённая регулировочная частотная характеристика

Вывод. Частотные характеристики позволили определить требуемое сопротивление реостата. Расчётный режим работы с частотой 30 кГц будет при сопротивлении 15 кОм. Менее 10 кОм сопротивление реостата нет смысла делать, потому что частота превысит 40 кГц. Более 30 кОм сопротивление делать не надо, потому что увеличивается скважность сигнала и уменьшается коэффициент заполнения, то есть сигнал постепенно перестаёт быть различимым, поэтому его влияние на десульфатацию уменьшится. В десульфаторе достаточно регулировать сопротивление реостата от 10 кОм (частота 40 кГц) до 30 кОм (частота 17 кГц). Для иллюстрации на рис.7 показан расчётный режим работы десульфатора на частоте 30 кГц.

Расчёт конденсатора для заданной длительности импульса

Следующей задачей было определение величины конденсатора для обеспечения заданной величины длительности импульса. Чем больше величина ёмкости конденсатора, тем больше длительность импульса. Длительные импульсы не допустимы. В первоисточнике рекомендована величина ёмкости 10 нФ.

На рис. 8 табличные данные представлены графически.

При ёмкости конденсатора 10 нФ длительность импульса составляет 6,9 мкс. Сначала решено было уменьшить длительность импульса, поэтому был установлен конденсатор ёмкостью 4 нФ,

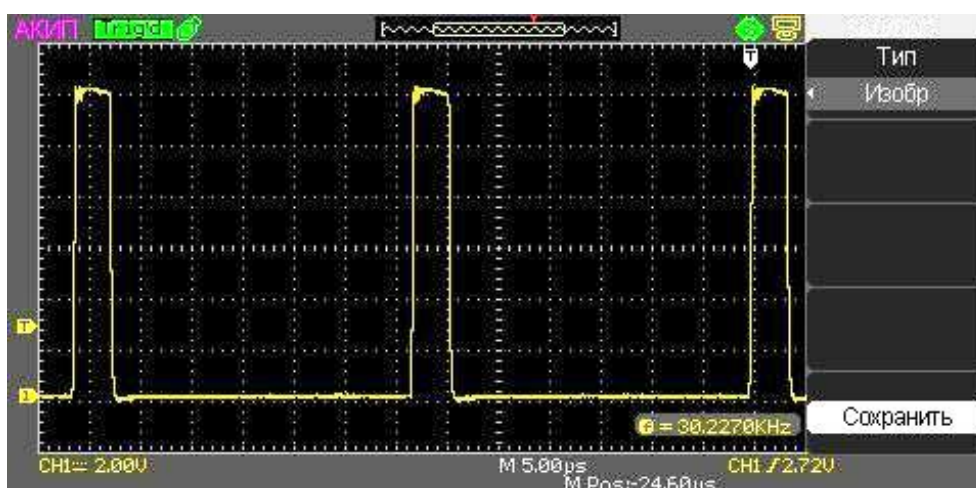


Рис. 7. Расчётный режим работы десульфатора на частоте 30 кГц

что обеспечило длительность импульса 3,3 мкс, то есть приблизительную скважность сигнала 10, или коэффициент заполнения 0,1 (10%).

Для иллюстрации на рис. 9 представлена осциллограмма одиночного расчётного импульса.

величину сопротивления и электроёмкости в блоке управления. Были получены два главных вывода. Во-первых, в десульфаторе достаточно регулировать сопротивление реостата от 10 кОм (частота 40 кГц) до 30 кОм (частота 17 кГц). Во-вторых, импульсы длительностью 3,3 мкс со скважностью 10,

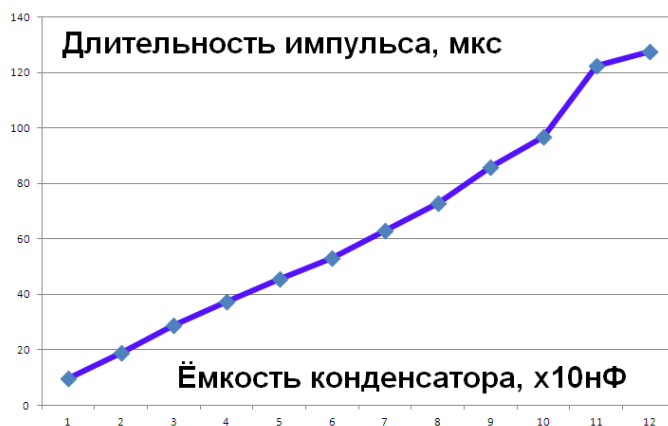


Рис. 8. Зависимость длительности импульса от конденсатора

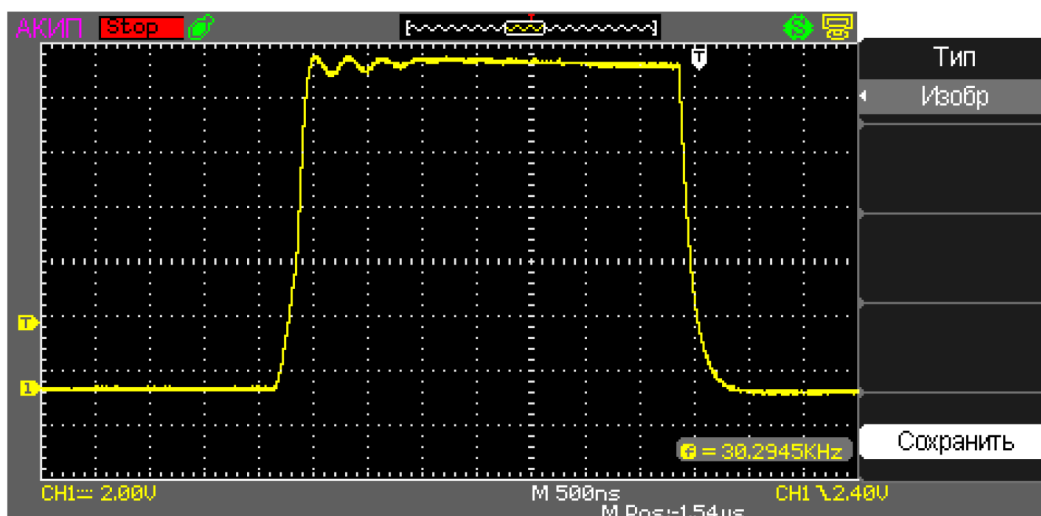


Рис. 9. Осциллограмма одиночного расчётного импульса

Вывод. Импульсы длительностью 3,3 мкс со скважностью 10, или коэффициентом заполнения 0,1 (10%) при линейной частоте 30 кГц обеспечиваются генератором при сопротивлении реостата 15 кОм и при электроёмкости конденсатора 4 нФ.

Первые научно-технические результаты

Сначала на макетной плате была повторена электронная схема десульфатора без подключения аккумулятора, чтобы определить

или коэффициентом заполнения 0,1 (10%), при линейной частоте 30 кГц обеспечиваются генератором при сопротивлении реостата 15 кОм и при электроёмкости конденсатора 4 нФ. Но главное, была обоснована необходимость дополнения схемы генератором сигналов плавающей частоты десульфатации, которая не известна и индивидуальна для каждого аккумулятора. Это новизна предстоящей перспективной работы. Схема лабораторного электронного блока управ-

ления десульфататором взята из статьи [5] и показана на рис. 10.

гипотез и предположений о возможности улучшения процесса десульфатации были

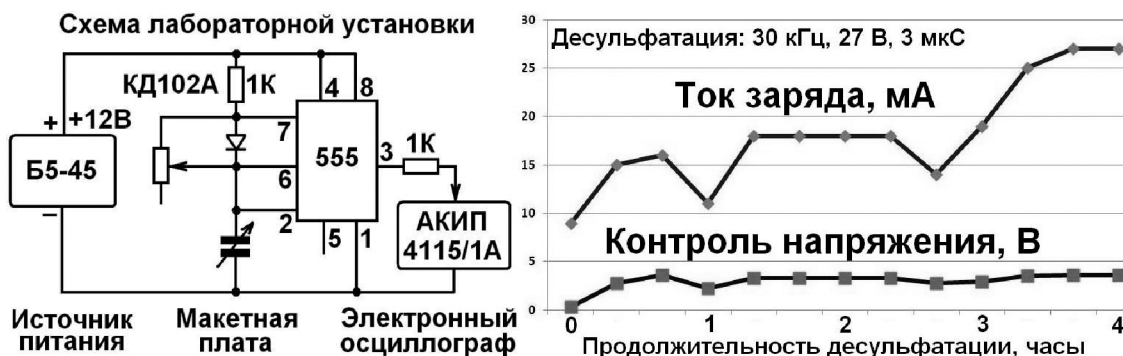


Рис. 10. Электронный блок и результаты измерений

На собранном устройстве была проведена регулировка характеристик процесса десульфатации: частоты, длительности импульса и амплитудного значения напряжения зарядки. Таймер серии 555 может работать при максимальном напряжении 16 В, а для аккумулятора требуются импульсы амплитудой более 20 В, в процессе исследования была доказана необходимость амплитуды импульсов до 50 В. До амплитуды 27 В можно применять входной стабилизатор напряжения на микросхеме серии 7812. Для импульсов с амплитудой 30–40 В оказалось рациональным применить раздельное питание микросхемы и аккумулятора от двух обмоток трансформатора. Реально был применён трансформаторный блок питания от старого принтера с выходными напряжениями 14 В для питания микросхемы 555 и 36 В для формирования импульсов десульфататора. После сборки устройства на макетной плате были проведены первые опыты по восстановлению батарей. Для проверки правильности сформулированных

проведены три опыта по восстановлению долго хранившихся без применения старых аккумуляторных батарей. Первый аккумулятор был выведен из эксплуатации год назад из-за снижения ёмкости и плохого процесса зарядки. Второй аккумулятор от компьютерного блока бесперебойного питания хранился без применения 7 лет. Третий аккумулятор не применялся 4 года. Режим десульфатации был выбран почти таким же, как в статье [5], но длительность импульсов была уменьшена с 7–10 мкс до 3–5 мкс. Частота импульсов 30 кГц была сохранена, амплитуда импульсов была увеличена с 20 В до 27 В. Длительность импульса была уменьшена до 3 мкс, чтобы более явно выявить факт начала процесса десульфатации. Действительно, такие импульсы при скважности 10 и вдвое повышенной амплитуде в пять раз слабее заряжают аккумулятор, чем постоянный ток. На рис. 19 показаны характерные осциллограммы процесса восстановления этих трёх кислотно-свинцовых аккумуляторных батарей.

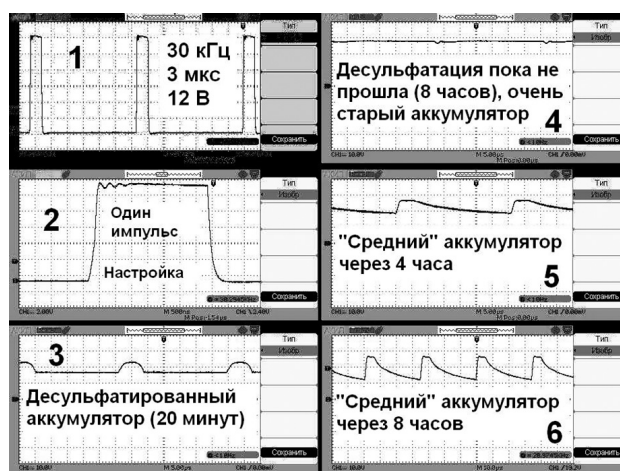


Рис. 11. Характерные осциллограммы процесса десульфатации

Характеристики импульсов при отладочном напряжении питания 12 В показаны на осциллограммах №1 и №2. После подключения входного стабилизатора напряжения на основе микросхемы 7812 амплитуда импульсов была увеличена до 27 В, то есть до предельного режима работы микросхемы-стабилизатора напряжения. Кратковременные включения показали, что устройство работает даже при напряжении 40 В, но микросхема может перегореть в любой момент. Первый аккумулятор через 20 минут после подключения к десульфатору показал осциллограмму №3 нормальной батареи. Фактически это нормальный аккумулятор с тонким слоем сульфата свинца II на пластинах, который очень быстро был разрушен с помощью собранного устройства. Второй аккумулятор с самым большим сроком пассивного хранения и начальным напряжением всего 0,5 В сначала показывал осциллограмму №4 полностью вышедшего из строя устройства. Однако через 4 часа на осциллограмме №5 появились сначала небольшие пики, через 8 часов десульфатации пики стали выражены явно, появилась возможность подключить штатное зарядное устройство. После зарядки аккумулятора сравнительно слабым током 300 мА при допустимом токе заряда 2800 мА контрольная осциллограмма №3 на десульфаторе показала нормальный режим работы батареи. Потом я изучала тока зарядки второго аккумулятора в процессе десульфатации свинцовых пластин. Начальный ток зарядки был 9 мА при напряжении 27 В, то есть соответствовал внутреннему сопротивлению батареи 3 кОм. Через 4 часа после начала процесса десульфатации ток заряда увеличился до 27 мА при напряжении 27 В, то есть внутреннее сопротивление батареи уменьшилось в три раза и стало равно 1 кОм. При дальнейшей работе с этим аккумулятором внутреннее сопротивление снизилось до 1 Ом, что доказало эффективность процесса десульфатации с помощью предложенного устройства. Третий аккумулятор, хотя и хранился 4 года в пассивном режиме, а не 7 лет, как второй аккумулятор, даже после восьми часов десульфатации не удалось «оживить», осциллограмма №4 продолжала оставаться почти в виде линии, что доказывает очень толстый слой мелкокристаллического оксида свинца II на рабочих пластинах. Самый плохой аккумулятор обеспечивал ток заряда 3 мА при напряжении 30 В, то есть имел внутреннее сопротивление 10 кОм, которое пока не удалось уменьшить. Объяснить такое большое внутреннее сопротивление можно толстой плёнкой сульфата свинца II на рабочих свинцовых

пластинах. Была высказана гипотеза, что при более длительных сроках процесса десульфатации толстая плёнка диэлектрика будет постепенно разрушена, поэтому опыты с этим аккумулятором продолжаются.

Экономическое обоснование и перспективы коммерциализации

Свинцовые аккумуляторы будут применяться очень долго. Экономический расчёт основан на существующем реальном рынке. Оцениваю нижнюю границу объёма рынка только по кислотнo-свинцовым аккумуляторам автомобилей. В мире более 1 млрд. автомобилей – это официальная оценка. В своей оценке не учитываю свинцовые аккумуляторы блоков питания компьютеров, мототехники, альтернативных источников энергии тоже со свинцовыми аккумуляторами, бытовых приборов. На каждом автомобиле есть аккумулятор, значит в мире уже более 1 млрд. свинцовых аккумуляторов. Стоимость самого дешёвого автомобильного аккумулятора 4000 руб. Следовательно, объём рынка равен 4000 руб. $\times 1 \text{ млрд.} = 4 \text{ трлн. руб.}$ Обычный генератор на автомобиле служит 5–8 лет. Опять выполняю пессимистичную для инновации оценку, предполагаю наибольший срок работы аккумулятора 8 лет. Значит, амортизация требует постоянного возобновления ресурсов в объёме $4 \text{ трлн. руб.} / 8 \text{ лет} = 500 \text{ млрд. руб./год}$. Мне нужно определить экономическую товарную нишу для моего продукта. Я намерена увеличить срок службы аккумулятора, минимум, на 2 года, а на самом деле удвоить или даже утроить ресурс. Это означает, что срок службы аккумулятора станет 10 лет. Но тогда ежегодные амортизационные вложения клиентов уменьшатся до $4 \text{ трлн. руб.} / 10 \text{ лет} = 400 \text{ млрд. руб.}$, то есть на 100 млрд. руб. Я предлагаю широкий инновационный продукт с охватом пусть даже на первой стадии внедрения всего лишь 10% объёма рынка при тех же 10% пользовательского спроса. Тогда можно обоснованно говорить о получении прибыли от клиентов в размере $100 \text{ млрд. руб.} / 10 / 10 = 1 \text{ млрд. руб.}$ Вывод. Широкий и громадный рынок свинцовых аккумуляторов даже при небольшом инновационном внедрении позволяет получить большие прибыли. Научно-техническая задача – найти сложную нишу в этом рынке путём исследования новых свойств предлагаемого продукта.

Заключение

1. Аппаратная часть.

1.1. В десульфаторе достаточно регулировать сопротивление реостата от 10 кОм (частота 40 кГц) до 30 кОм (частота 17 кГц), а не до 220 кОм, как в прототипе.

1.2. Импульсы длительностью 3,3 мкс со скважностью 10, или коэффициентом заполнения 0,1 (10%), при линейной частоте 30 кГц обеспечиваются генератором при сопротивлении реостата 15 кОм и при ёмкости конденсатора 4 нФ.

1.3. Так как эффективная частота процесса десульфатации для каждого аккумулятора индивидуальна, то есть смысл дополнить электронную схему генератором качающейся частоты с отказом от осциллографического контроля. Процесс десульфатации затянется, но обязательно будет происходить. Такую схему можно рассматривать как перспективное бытовое устройство широкого применения, например, в автомобильной технике.

2. Методическая часть.

2.1. В лаборатории по начальному току заряда сульфатированного аккумулятора можно сделать первичные выводы о внутреннем сопротивлении и возможности восстановления батареи.

2.2. Выявлены типовые формы осциллограмм для аккумуляторов с различной степенью сульфатации рабочих пластин.

2.3. Процесс десульфатации можно чередовать с зарядкой аккумулятора обычными способами при постоянном контроле внутреннего сопротивления в лаборатории.

3. Практическая часть.

3.1. Первые опыты по восстановлению трёх сульфатированных аккумулято-

ров показали возможность восстановления кислотно-свинцовых батарей с помощью предложенного способа с некоторыми уточнениями характеристик процесса десульфатации и с доработками электронного блока десульфататора.

3.2. Создание общедоступного бытового десульфататора требует отказаться от осциллографического и другого лабораторного контроля. Для этой цели намечено дополнить электронную схему-прототип генератором качающейся частоты импульсов напряжения.

Список литературы

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года №642.
2. Федотьев Н.П. Прикладная электрохимия. – Химия, 1962. – 642 с.
3. Дувинг В.Г., Казаринов И.А., Бурашникова М.М. Устройство для заряда сульфатированного свинцово-кислотного аккумулятора импульсным асимметричным током // Электрохимическая энергетика. – 2012. – Т. 12, № 1. – С. 21–24.
4. Для чего нужна десульфатация аккумулятора и как её проводить? [Электронный ресурс]. – <http://akbinfo.ru/ustrojstvo/desulfatacija-akkumuljatora.html>.
5. Электронное восстановление аккумулятора [Электронный ресурс]. – <https://sdelayam-svoimirukami.ru/4038-elektronnoe-vosstanovlenie-akkumuljatora.html>.
6. Косарева М.А. Осциллограммы десульфатации аккумуляторов [Электронный ресурс]. – 16 марта 2019 г. – (видео ролик 3:20): <https://youtu.be/Yb69aPGDpug>.