

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиотехники и электродинамики
наименование кафедры

**Разработка новых схемотехнических решений для радиотехнических
устройств**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 242 группы

направления 03.04.03 «Радиофизика»
код и наименование направления (специальности)

физического факультета
наименование факультета, института, колледжа

Колосова Дмитрия Андреевича
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель
доцент кафедры, к.ф.-м. н.

Слепченков М.М.
должность, ученая степень, звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Консультант

должность, ученая степень, звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Зав.кафедрой

д.ф.-м. н., проф. Глухова О.Е.
должность, ученая степень, звание

подпись, дата

инициалы, фамилия

Саратов 2017

Введение

В настоящее время генераторы импульсов находят широкое применение в науке и технике, являясь неотъемлемой частью целого ряда радиотехнических устройств. В частности, такие генераторы используются для запуска радиотехнических устройств, настройки радиолокационной аппаратуры, исследования импульсных характеристик электронных приборов, модуляции сигналов ультравысокочастотных и сверхвысокочастотных генераторов, а также для проверки переходных характеристик осциллографов и испытания логических схем и устройств. Также, генераторы импульсов необходимы и для силовой электроники, в частности для осуществления формовки мощных, свинцово – кислотных батарей, где ключевую роль играет время зарядного и разрядного токов.

Актуальность данной работы обусловлена широкими перспективами применения генераторов импульсов в различных областях науки и техники. Одним из таких применений является создание асимметричного тока заряда для формования свинцово — кислотных аккумуляторных батарей. Данная проблема является актуальной, поскольку существующие методы формовки свинцовых батарей обладают рядом недостатков.

Цель исследования заключалось в разработке новых схемотехнических решений, улучшающих работу широко используемых в настоящее время радиотехнических устройств – генератора импульсных сигналов и устройства для формования аккумуляторных батарей.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Выявление недостатков работы существующих схемотехнических разновидностей рассматриваемых устройств;
2. Разработка самого схемотехнического решения, позволяющего нивелировать недостатки;
3. Апробация предложенного способа на конкретном примере работы модифицированной схемы устройства.

Работа состоит из введения, двух глав, заключения и списка используемых источников. Во введении обосновывается актуальность работы и формулируется научная новизна. В главе «Разработка новых схемотехнических решений для улучшения работы классической схемы генератора» рассматриваются недостатки существующих схем генераторов импульсов, на примере классической схемы генератора на микросхеме ne555. Далее предлагаются схемотехнические решения способные нивелировать недостатки существующей схемы генератора импульсов. В главе «Формовка свинцово - кислотных аккумуляторов» описываются существующие методы формовки свинцово — кислотных аккумуляторных батарей, с рассмотрением преимуществ и недостатков каждой из них. Далее, на базе существующих методов, предлагается метод формовки свинцово — кислотных аккумуляторных батарей асимметричным током.

В заключение обобщаются выводы по результатам работы.

Основное содержание работы

Разрабатываемая модификация схемы генератора импульсов должна была отвечать следующим критериям:

- малые габариты;
- низкая себестоимость;
- простота в технической реализации;
- надежность в эксплуатации;
- энергоэффективность;
- удобство в настройке рабочих параметров.

На рис. 1 изображена предложенная схема устройства. Новые схемотехнические решения, используемые в этой схеме, заключались в следующем.

Прежде всего, была проведена замена внешнего компаратора на операционный усилитель. При этом сам усилитель продолжал работать в режиме компаратора, однако, появилась возможность производить более плавную регулировку частоты генератора в широком диапазоне за счет наличия у операционного усилителя выходного двухтактного каскада, который позволяет добиться максимального размаха выходного напряжения, соизмеримого с напряжением питания.

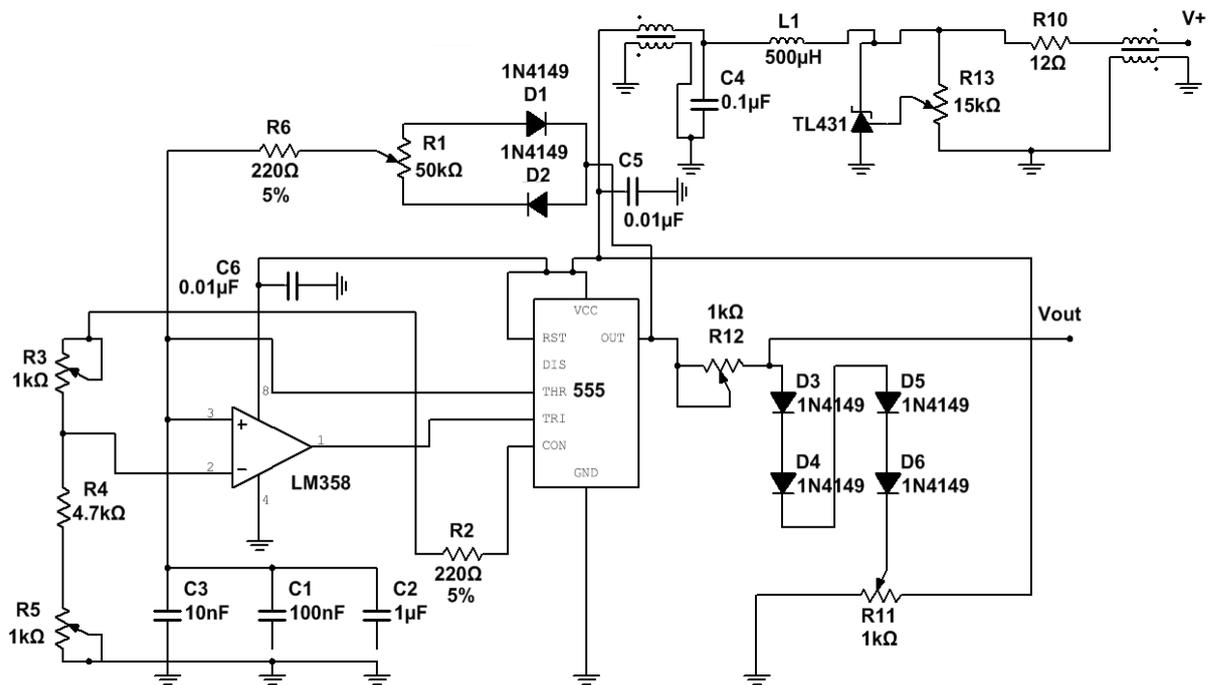


Рис. 1 Модифицированная схема генератора импульсов.

Следующим шагом исследования стал поиск технических средств снижения искажений вершины импульса. Необходимо отметить, что классическая схема генератора воспроизводила с необходимой точностью заданную длительность фронта и среза импульса, однако, не предусматривала возможности регулировки положением вершины импульсов. Если при больших длительностях генерируемых импульсов (~7 мкс) искажения вершин малозаметны, то при генерации сигналов длительностью порядка нескольких сотен наносекунд искажения вершины составляют более 20% от величины всего импульса. Для снижения величины

искажений нами предложено ввести в схему генератора диодный ограничитель. Дополнительной задачей, требующей решения, стал выбор типа используемого диода и определение его оптимальных параметров. Критерием оптимальности в данном случае являлась минимальная величина общей паразитной ёмкости C_{tot} и наименьшее время обратного восстановления диода t_{rr} . Рассматривались представители популярных серий кремниевых выпрямительных диодов общего назначения (1N40xx) и высокочастотных диодов (1N41xx). По результатам тестовых испытаний было установлено, что наилучшим образом выбранным критериям оптимальности удовлетворяют высокочастотные диоды 1N4149, у которых $C_{tot} \sim 2$ пФ, а $t_{rr} \sim 4$ нс. Затем была проведена серия численных симуляций импульсных сигналов генератора на схеме с диодным ограничителем в программном пакете Multisim12 [11]. В ходе численных симуляции было выявлено, что на форму генерируемого импульса, главным образом, влияет величина паразитной емкости диода. Минимального искажения формы генерируемого импульса удалось добиться путем использования ограничителя из 4 диодов, суммарная паразитная емкость которых составила ~ 0.5 пФ.

Другой важной проблемой, которую нужно было решить в процессе разработки нового варианта схемы генератора, являлось осуществление фильтрации питающих напряжений схемы для борьбы с пульсирующими всплесками напряжений. В качестве решения этой проблемы предлагается ввести в схему фильтр нижних частот, на входе и выходе которого поставлены ферритовые кольца магнитной проницаемостью 1500-2000 НМ. Благодаря высокой проницаемости колец удастся в разы снизить уровни высокочастотных пульсации напряжений, тем самым, стабилизировав работу генератора в импульсном режиме. Также, целям стабилизации рабочего режима генератора служит управляемый стабилизатор напряжения, включенный в цепь питания устройства. Наличие стабилизатора позволяет

варьировать величину напряжения питания в пределах от 4.5 В до 40 В в зависимости от величины искажения импульсов

Еще одним техническим вопросом, требующим разрешения, являлся вопрос переключения частотного диапазона генератора без изменения принципиальной схемы генератора. Напомним, что в классическом исполнении существовала возможность работы только лишь в одном частотном диапазоне. Для решения данного вопроса предлагается использовать электрическую батарею из нескольких емкостей, различающихся своим номиналом. Переводя ключ в различные положения, можно совершать переход в различные частотные диапазоны. Следовательно, чем больше емкостей с различным номиналом будет введено в схему, тем в большем числе частотных диапазонов будет работать генератор. В приведенном выше варианте новой схемы генератора используется батарея из трех конденсаторов номиналом 10 нФ, 100 нФ и 1 мкФ, благодаря которым диапазон рабочих частот генератора расширен до 100Гц-20 кГц.

Одним из возможных применений разработанной схемы генератора импульсов является генерация асимметричного тока, который может быть использован для формования свинцово – кислотных аккумуляторных батарей, являющейся одной из актуальных проблем электротехники. Описание этой проблемы и предлагаемые способы ее решения приведены ниже.

В каждом из методов формовки свинцово – кислотных аккумуляторов имеются как положительные, так и отрицательные стороны. Для метода асимметричного тока положительным моментом является меньшее выделение массовой доли газов и кислотного тумана, сравнительно высокий коэффициент полезного использования формовочного тока, а так же возможность подачи 2,5 кратной величины заряда от номинальной емкости аккумулятора, нежели пятикратной величины в других, ныне существующих методах.

В методе формовки асимметричным током используется ток с частотой 50 Гц, что является не целесообразным, так как при увеличении частоты импульсов тока они можно свести к току постоянному.

Для нахождения оптимальной частоты импульсов формовочного тока, а так же длительности импульсов было разработано устройство, принципиальная схема которого представлена ниже.

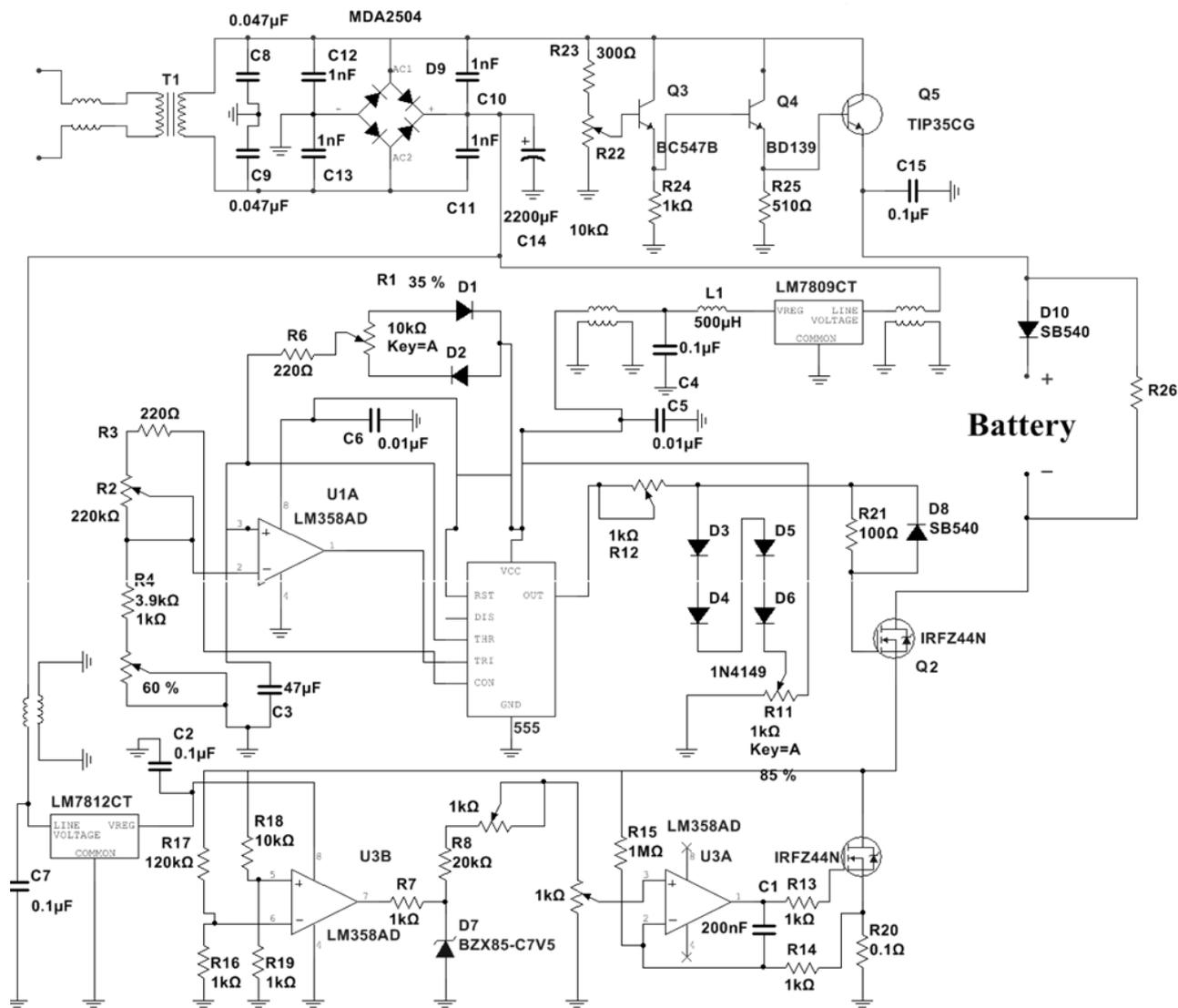


Рис. 2 Устройство формовки свинцово – кислотных аккумуляторных батарей с электронной нагрузкой.

Устройство состоит из трех блоков: блок регулировки выходного напряжения, блок регулировки тока и блок генератора. На вход блока регулировки напряжения подключен диодный мост с фильтром

мультипликативной помехи. Блок включает в себя три биполярных транзистора включенных по схеме с общим коллектором для увеличения плавности регулирования выходного напряжения. Блок регулировки тока включает в себя два операционных усилителя LM358 и силовой МДП – транзистор IRFZ44N. Блок генератора включает в себя сам генератор, описанный в предыдущей главе и цепь создания асимметричного (реверсивного) тока. В момент, когда с генератора поступает импульс напряжения – транзистор Q2 открыт. Зарядный ток идет по цепи аккумулятора и разрядного резистора R26. В момент, когда импульс напряжения генератора прекращается транзистор Q2 закрывается и начинается процесс разряда аккумулятора на разрядное сопротивление R26. Далее цикл повторяется.

В эксперименте были задействованы три аккумуляторных банки с номинальной емкостью 1 А·ч. Формовочный ток для каждой из банок был одинаков, различались лишь частота импульсов тока и длительность импульсов разряда и заряда. В результате экспериментов выяснилось, что в диапазоне частот от 1 – 4 Гц, и скважности импульсов равной 3, КПД процесса формовки достигает значения около 10 – 11 %. Для сравнения, формовка с частотой 50 Гц дает результат равный 5 – 6%.

В методе формовки постоянным током без циркуляции электролита положительным моментом является наиболее высокий набор емкости аккумулятора за один цикл формовки. Минусами метода следует считать высокую продолжительность цикла формовки, большая массовая доля газов и кислотного тумана, а так же возможный перегрев электролита и аккумулятора в целом, что приводит к снижению качества формируемых пластин.

Метод формовки с циркуляцией электролита является наиболее предпочтительным из существующих методов формовки. Плюсами метода стоит отметить относительно малую продолжительность цикла формовки, контроль температуры и концентрации электролитов, систему удаления газов

и кислотного тумана. Контроль температуры электролитов позволяет поднять зарядный ток формовки до величины $\sim 1C$, тем самым сокращая время цикла формовки.

Однако методы с циркуляцией электролита и без циркуляции электролита не учитывают изменение внутреннего сопротивления аккумулятора при формовке. Изменение внутреннего сопротивления аккумулятора влечет за собой изменение зарядного (формовочного) тока, что увеличивает время формовки свинцово – кислотного аккумулятора. В схеме устройства для формовки асимметричным током 50 Гц имеется стабилизация тока, которая поддерживает зарядный ток на заданном уровне вне зависимости от изменения внутреннего сопротивления. Минусом данного схемотехнического решения является то, что на транзисторах, используемых в устройстве, рассеивается большая тепловая мощность. Так, при формовании свинцово – кислотного аккумулятора емкостью 30 А·ч ток заряда равняется $0,11C$, что составляет $\sim 3,3$ А. При таком токе на транзисторе VT3 рассеивается 52,5 Вт мощности. Для данного транзистора максимальная мощность рассеивания составляет 60 Вт, то есть транзистор работает в предельно возможном режиме. При продолжительной работе в данном режиме сокращается срок нормальной работы транзистора. Увеличение же зарядного тока неминуемо приведет к выходу из строя транзистора и всего устройства в целом. Применение более мощных транзисторов решает данную проблему, но ведет к повышенному потреблению электроэнергии и, увеличению стоимости устройства в целом.

Таким образом, устройство для формовки свинцово – кислотных аккумуляторов должно удовлетворять следующим требованиям:

- использовать асимметричный тип формовочного тока для повышения КПД всего устройства и процесса формования в частности;

- учитывать изменение внутреннего сопротивления аккумулятора при формовке для стабилизации зарядного тока и сокращения времени формирования в целом;
- обеспечить нормальный режим работы элементов устройства для увеличения срока службы;
- создать условия для точной управляемости и простоты перестройки режимов работы устройства;
- обеспечить применимость устройства в купе с методом формовки с циркуляцией электролитов.

Ниже представлена принципиальная схема устройства формовки асимметричным током.

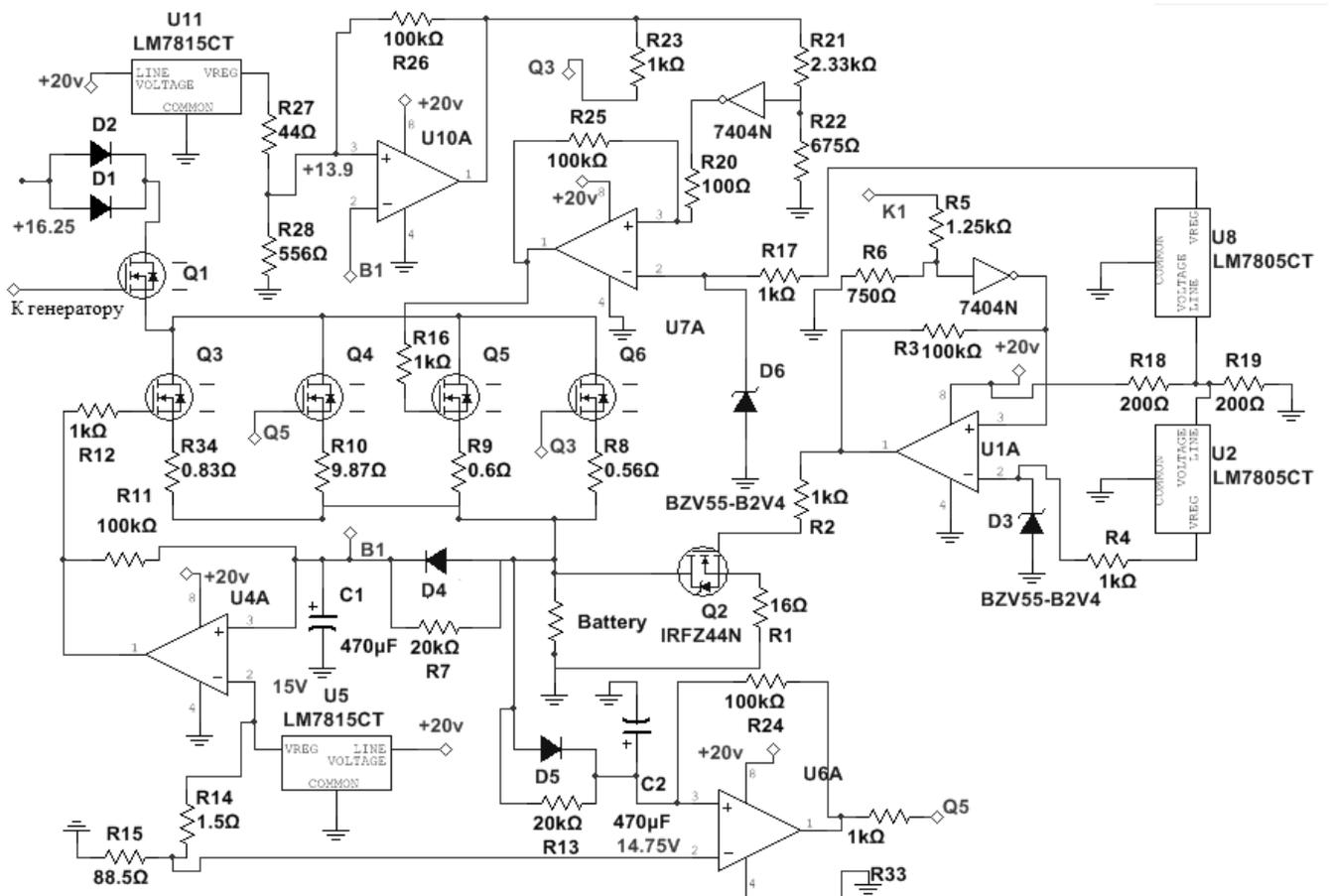


Рис. 3. Силовая часть устройства формовки свинцово – кислотных аккумуляторов.

Ниже представлена сравнительная таблица методов формовки.

Таблица 1. Сравнение рабочих параметров методов формовки свинцово – кислотных аккумуляторных батарей.

Методы формовки свинцово – кислотных батарей	Метод асимметричного тока с частотой импульсов 50 Гц	Метод постоянного тока без циркуляции электролита	Метод постоянного тока с циркуляцией электролита	Модифицированный метод асимметричного тока с использованием циркуляции электролита
Время формовки, ч	25 ч	20 ч	5 ч	5 ч
Величина переданного заряда для набора 85% от номинально емкости, А*ч	3- кратная величина от емкости батареи	5- кратная величина от емкости батареи	5- кратная величина от емкости батареи	2,5- кратная величина от емкости батареи
КПД процесса формовки	~ 5-6%	~ 3-4%	~ 4-5%	~ 10-11%
Тепло, выделившееся в аккумуляторе в процессе формовки, МДж	2,34 - за время действия импульсов тока	5,03	5,03	6,98 - за время действия импульсов тока

Мощность, требуемая для формовки аккумулятора с номинальной емкостью 10А *ч, кВт* ч	0,374	0,762	0,762	0,423
Учет увеличения внутреннего сопротивления, стабилизация тока заряда	Имеется	—	—	Имеется

В результате выполнения работы были получены следующие основные результаты:

Разработана новая модификация схемы генератора микро- и наносекундных импульсов, позволяющая стабилизировать форму генерируемых импульсов и расширить возможности настройки режима работы устройства;

Предложена новая схемотехническая реализация способа заряда свинцово-кислотного аккумулятора, позволяющая снизить выделение тепла в процессе формовки, уменьшить массовую долю выделяющих газов и величину потребляемой мощности, а также повысить КПД самого процесса формирования. Благодаря сделанным преобразованиям схемы удалось решить проблему стабилизации тока заряда при увеличении внутреннего сопротивления аккумулятора. Варьируя номиналом токоограничивающих резисторов, можно осуществлять формовку аккумуляторов различной номинальной емкости с помощью разработанной схемотехнической модификации.

Список библиографической литературы

1. Kladukhin V.V., Kladukhin S.V., Novoselov A.A., Khramtsov S.P., A high-power nanosecond pulse generator based on a serial wave summator and transistor switches // Instruments and Experimental Techniques, 2015, V. 58, N. 5, P. 646-652.
2. Krastelev E.G., Sedin A.A., Tugushev V.I., Nanosecond pulsed power generator for a voltage amplitude up to 300 kV and a repetition rate up to 16 Hz for fine disintegration of quartz // Physics of Atomic Nuclei, 2015, V. 78, N. 14, P. 1635-1639.
3. Lim S.W., Katsuki S., Jin Y.S., Cho C., Kim Y.B., Nanosecond High-Voltage Pulse Generator Using a Spiral Blumlein PFL for Electromagnetic Interference Test // IEEE Transactions on Plasma Science, 2014, V. 42, N. 10, P. 2909-2912.
4. Qin W., Li T., Li Y., Qiu J., Ma X., Chen X., Hu X., Zhang W., A high power ZnO thin film piezoelectric generator // Applied Surface Science, 2016, V. 364, P. 670-675.
5. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I., Rudakov S.V., A generator of aperiodic current pulses of artificial lightning with a rationed temporal form of 10 μ s/350 μ s with an amplitude of +/- (100-200) kA // Instruments and Experimental Techniques, 2015, V. 58, N. 6, P. 745-750.
6. Wang Y., Fan C., Gou Y., Xu Z., Yang L., A Subnanosecond Jitter Trigger Generator Utilizing Trigatron Switch and Avalanche Transistor Circuit // IEEE Transactions on Plasma Science, 2015, V. 43, N. 4, P. 1054-1062.
7. Nikoo M.S., Hashemi S.M.A., High-Power Nanosecond Pulse Generator With High-Voltage SRD and GDT Switch // IEEE Transactions on Plasma Science, 2015, V. 43, I. 9, P. 3268-3276.
8. Flaxer E., Note: High resolution ultra fast high-power pulse generator for inductive load using digital signal processor // Review of Scientific Instruments, 2014, V. 85, N. 8, P. 086108-1-086108-3.
9. Ryu J. Electromagnetic Transient Simulation of Spark-Gap Switched Pulse Generators for Predicting Pulse Waveforms // IEEE Transactions on Plasma Science, 2014, V. 42, N. 9, P. 2193-2197.
10. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I. A switching aperiodic superhigh-voltage pulse generator for testing the electric strength of insulation of technical objects // Instruments and Experimental Techniques, 2013, V. 56, N. 6, P. 653-658.
11. URL: <http://russia.ni.com/multisim> (дата обращения 21.11.2016)

12. Weighall M.J., Techniques for jar formation of valve-regulated lead–acid batteries // *Journal of Power Sources*, 2003, V. 116, P. 219-231.
13. Kumar P.S., Murthy K.S.N., Sudarsanam K., Vijayanand S., An Exploratory Study on Electrolyte Circulation as a Means of Achieving Faster Formation of Lead Acid Batteries // *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2012, V. 7, P. 1060-1070.
14. McKeon B.B., Furukawa J., Fenstermacher S., Advanced Lead–Acid Batteries and the Development of Grid-Scale Energy Storage Systems // *Proceedings of the IEEE*, 2014, V. 102, N. 6, P. 951-963.
15. Стоккьеро Ф., Способ формовки свинцово-кислотных батарей и установка для осуществления этого способа, пат. 2303319 Российская федерация, МПК H01M4/22, H01M10/22, заявл. 14.05.2004, опубл. 20.07.2007.
16. Дувинг В.Г., Казаринов И.А., Способ формирования свинцово-кислотных аккумуляторных батарей импульсным асимметричным током, пат. 2518487 Российская федерация, МПК H01M 10/44, заявл. 18.06.2012, опубл. 10.06.2014.
17. Дувинг В.Г., Способ заряда свинцового аккумулятора, пат. 2180460 Российская федерация, МПК7 H01 M 10/44, H02 J 7/00, заявл. 05.01.2000, опубл. 10.03.2002.
18. 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.
19. Дзензерский В.А., Бурылов С.В., Скосарь В.Ю., Скосарь Ю.И., Исследование режимов батарейного формирования свинцово-кислотных аккумуляторных батарей // *Электрохимическая энергетика*, 2004, Т. 4, № 1, С.43-48.
20. Афанасьев В.М., Григорьев А.С., Клестов К.А., Павлов Д.В., Печак В.В., Измерение внутреннего сопротивления свинцово-кислотного аккумулятора в режиме его зарядки // *Электрохимическая энергетика*, 2014, Т. 14, № 3, С. 164–169.
21. Аккумуляторы и батареи щелочные. Аккумуляторы никель-кадмиевые герметичные цилиндрические. ГОСТ Р МЭК60285-2002. Введ. 01.07.2003. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2003. 14 с.
22. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Аккумуляторы никель-металл-гидридные герметичные. ГОСТ Р МЭК 61436–2004. Введ. 01.01.2005. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2004. 11 с

23. Федоров А., Сарапов С. Внутреннее сопротивление химических источников тока и его измерение // Компоненты и технологии. 2005. № 3. С. 230–232.

24. Цифровой измеритель ёмкости и внутреннего сопротивления аккумуляторов. URL: http://www.radioradar.net/radiofan/measuring_technics/digital_capacitance_meter.html; (дата обращения: 14.10.2016).

25. Sarasua A. E., Molina M. G., Mercado P. E. Energy Storage – Technologies and Applications. Dynamic Modelling of Advanced Battery Energy Storage System for Grid-Tied AC Microgrid Applications / ed. A. Zobaa. InTech [официальный сайт] URL: <http://www.intechopen.com/books/energy-storage-technologies-and-applications/dynamic-modelling-of-advanced-battery-energy-storage-system-for-grid-tied-ac-microgrid-applications> (дата обращения: 7.11.2016).

26. Сухотин А. М. Справочник по электрохимии. Л. : Химия, Ленингр. Отд-ние, 1981.

27. Дасоян М. А., Агуф И. А.. Основы расчёта конструирования и технологии производства свинцовых аккумуляторов. Л. : Энергия, Ленингр. Отд-ние, 1978.

28. Эткинс П. Физическая химия: в 2 т. М. : МИР, 1980.

29. Алёшкин А. А., Сарапов С. В. // Фундаментальные проблемы электрохимической энергетики : материалы VII Между- нар. конф. Саратов. : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. С. 14–35.

30. Дасоян М. А., Агуф И. А. Современная теория свинцового аккумулятора. Л. : Энергия, Ленингр. Отд-ние, 1975.

31. Соснин, Д.А. Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей / Учебное пособие. М.: СОЛОН-Р. – 2000. – 272 с.

32. Нормы сроков службы стартерных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей автотранспортных средств и автопогрузчиков: РД-3112199-1089-02.

33. Патент на полезную модель 97880 Российская Федерация, МПК7 H02J 7/10. Малогабаритное зарядное устройство / Доманов В.И., Доманов А.В., Мишин А.В.; №2010114696/07; заявл. 13.04.2010; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26.

34. Патент на полезную модель 81854 Российская Федерация, МПК7 H02J 7/10. Зарядное устройство для аккумуляторных батарей / Шибяев В.И.; №2008149264/22; заявл. 16.12.2008; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9.

35. URL: <http://www.alldatasheetru.com/datasheetpdf/pdf/416119/INFINEON/BSB008NE2LX.html>(дата обращения: 2.10.2016).

36. URL: <http://www.alldatasheetru.com/datasheetpdf/pdf/17807/PHILIPS/IRFZ44N.html>(дата обращения: 3.10.2016).

37. URL: <http://www.alldatasheetru.com/datasheetpdf/pdf/24613/STMICROELECTRONICS/STPS24045.html>(дата обращения: 3.11.2016).

38. URL: <http://thedifference.ru/kak-zaryadit-akkumulyator-avtomobilya/> (дата обращения: 14.12.2016).