

Разработка и исследование двухполярного источника питания

А. И. Быков¹, Д. В. Шавалдин, А. Н. Петровская², В. Э. Ловцюс

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им Д. И. Менделеева

¹a.i.bykov@vniim.ru, ²a.n.petrovskaya@vniim.ru

Аннотация. В работе представлены результаты разработки и исследования малогабаритного источника питания с низким уровнем пульсаций и шумов, большим временем автономной работы, с функциями защиты батарей, с системами контроля и индикации уровня заряда. Полученные экспериментальные спектры показывают, что в диапазоне частот от 1 Гц до 1,6 ГГц шумы на выходе источника питания не превышают 50 мкВ, заметные наводки и сетевые пульсации отсутствуют.

Ключевые слова: источник питания, двухполярный источник питания, Li-ion аккумулятор, линейный преобразователь, аккумулятор, импульсный преобразователь, балансировочная плата, шум, пульсации

I. ВВЕДЕНИЕ

Эталоны единиц величин, используемые в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, – это, как правило, сложные комплексы аппаратуры, обеспечивающие воспроизведение, хранение и передачу единиц величин с наивысшей в стране точностью. К содержанию и применению эталонов предъявляются обязательные требования, при выполнении которых эталоны сохраняют свои метрологические и технические характеристики.

К техническим требованиям, предъявляемым к эталонам в области измерений электрических величин, относятся требования к сети, питающей эталонные комплексы. Внешние помехи и пульсации, поступающие к измерительным блокам эталона от питающей сети, являются источником снижения чувствительности и, соответственно, точности измерений с применением аппаратуры, входящей в состав эталонов.

Одной из важных составляющих любого электротехнического устройства является его система питания [1]. При создании эталонов для достижения требуемой точности часто применяются нестандартные решения. Чтобы обеспечить эталонную установку стабильным питающим напряжением применяют различные способы подготовки и фильтрации напряжения с целью снижения воздействия на чувствительные цепи эталонной аппаратуры.

Самым простым и надежным способом отделить чувствительную аппаратуру от влияния помех городской питающей сети является обеспечение гальванически изолированного питания на основе электрохимических элементов питания, то есть аккумуляторных батарей (АКБ).

В данной работе была поставлена практическая задача, разработать двухполярный источник питания (ИП), основанный на электрохимических элементах питания для государственного первичного эталона единицы электрического напряжения ГЭТ 13-01 [2, 3].

II. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИП

К ИП были сформулированы следующие технические требования:

- время автономной работы должно быть не менее 12 ч;
- напряжение питания ± 14 В;
- выходная мощность не более 2 Вт;
- низкий уровень пульсаций и шумов на выходе ИП;
- должны быть предусмотрены: 1) защита батарей от переразряда, 2) система контроля заряда/разряда батарей, 3) индикация уровня заряда;
- малый вес и небольшие габариты.

III. Узлы источника питания

Принципиальная схема ИП условно поделена на две основных функциональных части:

- первая часть состоит из АКБ, системы защиты от переразряда, линейного стабилизатора напряжения и преобразователя однополярного напряжения в двухполярное;
- вторая часть схемы обеспечивает контроль заряда аккумуляторной батареи, индикацию уровня напряжения, а также контроль включения и выключения ИП.

Структурная схема разработанного ИП представлена на рис. 1.

IV. ВЫБОР АКБ

Выбор современных электрохимических АКБ достаточно широк, есть возможность подобрать, почти, под любую практическую задачу. Подбор требуемого типа элемента питания для конкретной задачи осуществляется в соответствии со следующими требованиями:

- удельная энергоемкость;
- напряжение питания одного элемента;
- ток нагрузки;
- количество полных циклов «заряд – разряд»;
- низкий саморазряд;
- диапазон рабочих температур.



Рис. 1. Структурная схема разработанного источника питания

При выборе АКБ для ИП основной упор был сделан на минимальные габаритные размеры и малый вес при условии: 1) соблюдения достаточной энергоёмкости, обеспечивающей требуемое время работы, и 2) обеспечения высокого уровня напряжения на одном элементе. Под перечисленные выше критерии лучше всего подошли Li-ion элементы питания с фактором 18650.

С учетом падения напряжения в процессе разряда батареи необходимо 10 элементов питания, каждый из которых дает по 4,2 В в пике и 3,2 В при полном безопасном разряде. Последовательное подключение 10 таких АКБ обеспечивает требуемый уровень питания - более 32 В.

Для обеспечения безопасности в случае перегрева или короткого замыкания отдельно взятых элементов питания в сборке, АКБ включает в себя ряд термопредохранителей, установленных на теплопроводящую основу непосредственно к корпусам элементов питания. Данные предохранители выполняют функцию плавких предохранителей от токов короткого замыкания [4, 5].

V. СИСТЕМА ЗАРЯДА АКБ

В разработанном ИП используется сборка из 10 последовательно соединённых Li-ion аккумуляторов, для которой требуется особый метод зарядки батарей.

Заряд должен осуществляться по методу CC/CV (constant current / constant voltage). Дополнительно необходимо обеспечивать балансировку отдельных элементов питания.

Для обеспечения заряда по методу CC/CV применена специализированная микросхема, представляющая из себя линейный стабилизатор тока и напряжения, с функцией индикации состояния заряда АКБ.

Даже при соблюдении всех норм технического контроля при массовом производстве невозможно обеспечить полную идентичность элементов питания, из-за чего со временем при эксплуатации «накапливается» ошибка в виде разности напряжения на отдельных элементах питания по отношению друг к другу. При зарядке такой АКБ общим напряжением со стабильным током некоторые элементы питания будут быстрее

набирать заряд по отношению к другим элементам и, как следствие, будут перегреваться, что крайне негативно отразится на их состоянии.

Традиционно для устранения перегрева при заряде АКБ применяют пассивные и активные балансировочные платы:

- Пассивные балансировочные платы надежны и просты. Принцип их работы заключается в том, чтобы забирать часть зарядного тока на низкоомный нагрузочный резистор на конкретном элементе питания при заряде АКБ, позволяя остальным элементам завершить полную зарядку. Минусом такого решения является достаточно сильный нагрев нагрузочного резистора, что приводит к нагреву окружающего пространства. При условии десяти таких источников тепла требуется обеспечивать хорошую вентиляцию устройства. Необходимо учитывать так же и габаритные размеры.
- Активные балансировочные платы сложны, но имеют более высокий КПД по сравнению с пассивными. Принцип их работы основан на передаче энергии из одного более заряженного элемента питания другому с меньшим зарядом при помощи промежуточного накопителя энергии (ёмкостного (C) или индуктивного (L)), и так далее по цепочке. Подобные схемы достаточно сложно устроены и требуют специфической элементной базы, что сильно усложняет конструкцию самого ИП.

Приведенные выше способы балансировки не удовлетворяют требованиям разрабатываемого ИП, поэтому в качестве альтернативного был применён метод поэлементного заряда каждой из последовательно соединённых в общую сборку ячеек АКБ при помощи миниатюрных гальванически изолированных источников питания, к каждому из которых подключена микросхема контроля заряда. Таким образом, удалось обеспечить поэлементный заряд АКБ с контролем состояния каждого элемента питания в отдельности без применения балансировочных плат.

VI. ПИТАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАРЯДА ИП

Для питания системы заряда батарей выбраны готовые источники питания AC/DC фирмы Mean Well в корпусе для установки на печатную плату. Для снижения нагрева с учетом соотношения габаритных размеров и допустимой мощности данных блоков питания было установлено 2 блока.

VII. ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕЗАРЯДА

Li-ion электрохимические элементы питания не переносят глубокого разряда, поэтому для защиты аккумуляторной сборки реализована схема защиты на основе стабилитрона и полевого транзистора. Данная защита отключает всю аккумуляторную сборку батареи от нагрузки в случае падения напряжения ниже установленного порога.

VIII. ЛИНЕЙНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР

Напряжение на АКБ при питании нагрузки меняется в зависимости от уровня заряда. Для стабилизации выходного напряжения на требуемом уровне применен высоковольтный линейный стабилизатор (LM317HV), который уже имеет ряд встроенных защит, как по перегреву, так и от перегрузки по току. Данный стабилизатор обеспечивает стабильное напряжение питания на требуемом уровне в 28 В с установленной регулировкой для возможности подстройки выходного напряжения в диапазоне $\pm 10\%$.

IX. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПЯЖЕНИЯ ОДНОПОЛЯРНОГО НАПЯЖЕНИЯ В ДВУХПОЛЯРНОЕ

Для реализации двухполярного источника питания малой мощности используется простая схема, основанная на операционном усилителе и паре транзисторов. Основным преимуществом данной схемы является минимальная элементная база, простота и надежность. Для данной реализации двухполярного источника питания в случае неравномерной нагрузки на выходе разряд АКБ происходит равномерно.

X. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗАРЯДА И ИНДИКАЦИИ

Для индикации уровня заряда и контроля процесса заряда АКБ используется микроконтроллер семейства AVR, для которого была реализована соответствующая микропрограмма, позволившая реализовать следующие функции:

- основной цикл реализует включение источника питания, контроль состояния батарей, индикацию уровня заряда и последующее отключение цифровой части для предотвращения влияния на питаемую нагрузку;
- второстепенный цикл реализует контроль процесса заряда АКБ, автоматически определяет подключение к сети 230 В, отключает выход источника питания, управляет включением / отключением процесса заряда, реализует индикацию уровня заряда.

Стоит отметить, что разъем подключения сетевого питания [6], подобран без тумблера. Включенная система заряда полностью отключает возможность включения двухполярного источника питания. Это необходимо для того, чтобы пользователь принудительно отключал сетевой кабель, исключая возможность физического соединения ИП с питающей городской сетью.

XI. СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Отдельно стоит уделить внимание разработке принципиальной схемы и печатной платы.

A. Принципиальная схема

Особенность построения принципиальной схемы заключается в реализации отдельных узлов схемы, которые связаны гальванически, но имеют независимые токовые петли и, как следствие, собственные системы защиты и питания.

Принципиальную схему можно условно разделить на три основные части:

- Первая часть схемы реализует систему защиты от перезаряда, стабилизацию напряжения на уровне 28 В с последующим преобразованием в ± 14 В.
- Вторая часть схемы реализует защиту от перезаряда, стабилизацию напряжения для питания микроконтроллера.
- Третья часть схемы обеспечивает функции защиты и заряда АКБ. Основным преимуществом данной части схемы является система заряда, реализованная без дополнительных схем балансировки ячеек, так что каждая ячейка АКБ имеет свою собственную цепь заряда, содержащую все необходимые функции, обеспечивающие заряд, контроль, и защиту каждой батареи.

B. Печатная плата

Для достижения наименьшего влияния элементов схемы друг на друга, на плате присутствуют аппаратные решения изоляции компонентов от паразитных токов, утечек из-за остатков флюсов и других химических компонентов, проведена работа по минимизации теплового воздействия компонентов друг на друга. [7, 8]

Все это достигается путем компоновки и расположения деталей схемы определенным образом. В некоторых местах для изоляции от прямого теплового влияния радиаторов удалены медные полигоны, добавлены отверстия для лучшей и направленной конвенции тепловых потоков. В нескольких местах проделаны сквозные окна в печатной плате для физической изоляции токопроводящих поверхностей. В силовой части питания 230 В добавлены воздушные зазоры и удалены медные полигоны [9]. Проведена тщательная работа по подбору особых компонентов элементной базы, имеющей наилучшие характеристики в своем классе. [7]

XII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы учтены все технические требования к ИП для эталона, разработан и собран опытный образец двухполярного ИП малой мощности.

Проведены работы по изучению выходных шумов и пульсаций при помощи спектроанализатора АКИП-4205/2. На рисунке 2 представлен полученный спектр, на котором видно, что в диапазоне частот от 1 Гц до 1,6 ГГц шумы на выходе источника питания не превышают 50 мкВ, заметные наводки и сетевые пульсации отсутствуют. Полученный уровень шума на выходе позволит снизить влияние помех городской сети на работу эталона. Разработанное программное обеспечение реализует функции защиты АКБ и наглядную индикацию состояния ИП.

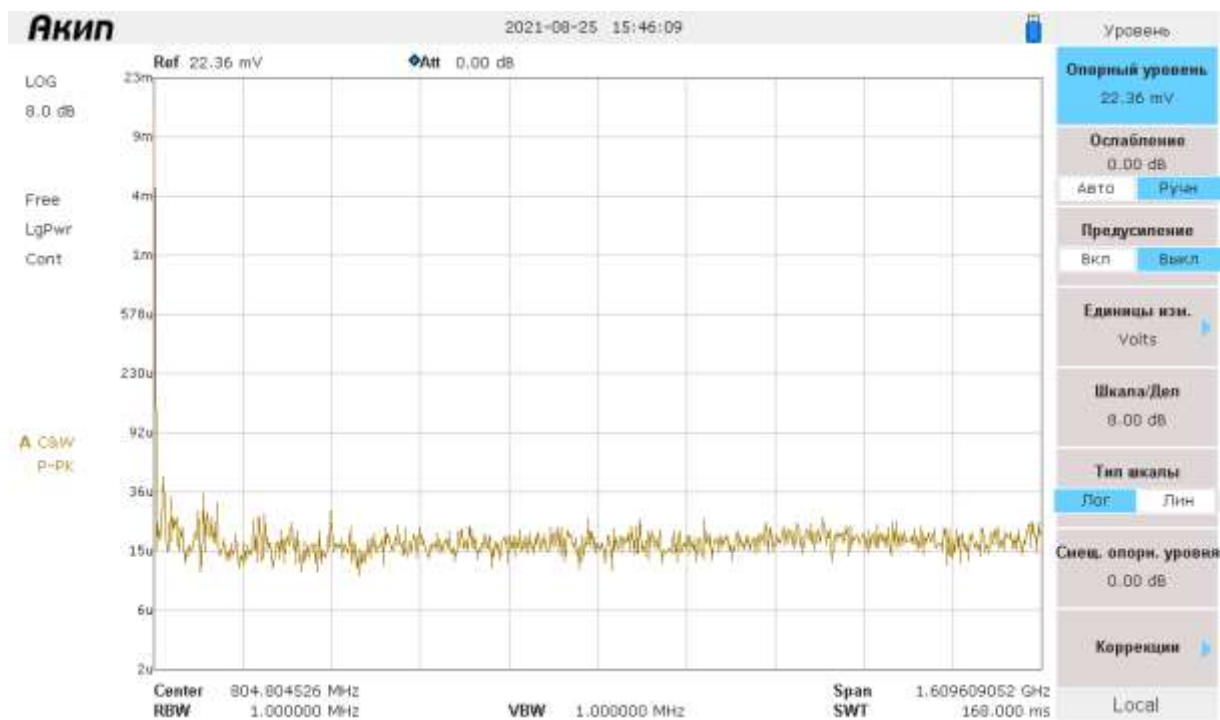


Рис. 2. Уровень выходных шумов и пульсаций, наблюдаемый с помощью спектроанализатора АК ИП-4205/2 в диапазоне частот от 1 Гц до 1,6 ГГц

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Марти Браун. Источники питания. Расчет и конструирование. Киев: МК-Пресс, 2005. 279 с.
- [2] Александров В.С., Катков А.С., Телитченко Г.П. Новый государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы // Измерительная техника, №3, 2002, С. 6-9.
- [3] Катков А.С. Государственный первичный эталон единицы электрического напряжения – вольта ГЭТ13-01. Российская метрологическая энциклопедия. Санкт-Петербург. «Лики России», 2015. Том 1, с. 477–479.
- [4] Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. 4-е издание. том 1-3. М: Мир, 1993. 413 с.
- [5] Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е издание. Том 1: Пер. с нем. М: ДМК Пресс, 2008. 832 с.
- [6] Keith Armstrong. Design Techniques for EMC, Part 2 – Cables and Connectors // The EMC Journal, Issues 64 and 65, May and July 2006.
- [7] Keith Armstrong. Design Techniques for EMC, Part 0 – Introduction, and Part 1 – Circuit Design and Choice of Components // The EMC Journal, January 2006 pp 29-41, plus March 2006 pp 30-37/
- [8] Keith Armstrong. Design Techniques for EMC, Part 3 – Filtering and Suppressing Transients // The EMC Journal, Issues 66-68, September and November 2006, and January 2007.
- [9] Keith Armstrong. EMC Design Techniques for Electronic Engineers. Nutwood UK Ltd. 2010. p. 461. ISBN: 9780955511844