

УДК 621.3.084.87

СИСТЕМА ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

А. И. Максимкин¹, Г. К. Барышев¹, А. Н. Семенов², И. И. Родько¹,
Е. П. Варятченко¹, В. Р. Островский¹

Создание источников питания для детекторов ионизирующего излучения сложная и непростая задача, особенно, если это касается автономных мобильных измерительных систем. В данном материале изложен опыт реализации автономной системы питания от солнечной энергии для полупроводникового детектора ионизирующего излучения.

Ключевые слова: солнечная энергия, дозиметрия, мониторинг радиационной обстановки, беспроводные сенсорные сети.

Современные темпы развития и распространения ядерных технологий неизбежно сталкивают нас с новыми рисками, которые необходимо предупреждать. Направление развития систем мониторинга радиационной обстановки, как непосредственно на предприятиях атомной отрасли, так и вне таковых является приоритетным не только за рубежом, но и в России. Однако сегодня ощущается дефицит средств дозиметрии и беспомощность обычных дозиметров при слежении за перемещением пятна загрязнения.

Системы глобального мониторинга радиационной обстановки существуют. Они строятся на базе стационарных дозиметрических установок, но обычно покрывают малую территорию и только там, где есть инфраструктура для обеспечения функционирования такой системы, а также отличаются малой плотностью точек контроля.

В перспективе ожидается развитие быстроразвертываемых автономных беспроводных сенсорных сетей непрерывного мониторинга радиационной обстановки. Особен-

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409 Россия, Москва, Каширское шоссе, 31; e-mail: avian4uk@gmail.com.

² Национальный исследовательский университет «ВШЭ», г. Москва.

ность такой системы заключается в самостоятельной организации сети с назначением ретрансляционных и шлюзовых точек контроля.

Система питания одного такого устройства на одном лишь аккумуляторе не сможет обеспечить длительность автономной работы на протяжении нескольких лет. Применение дополнительных средств питания поможет решить эту задачу и существенно повысить надежность устройства. Одним из таких источников является солнечная энергия. Такие системы накопления энергии носят название Energy Harvesting, но для применения в условиях данной задачи потребуются внести существенные изменения.

Принцип работы схемы управления питанием изображен на рис. 1 и заключается в контроле уровня заряда накопителя, управлении подключением накопителя к потребителю и к источнику дополнительного питания, в данном случае к солнечной батарее, в контроле качества сигнала с солнечной батареей.

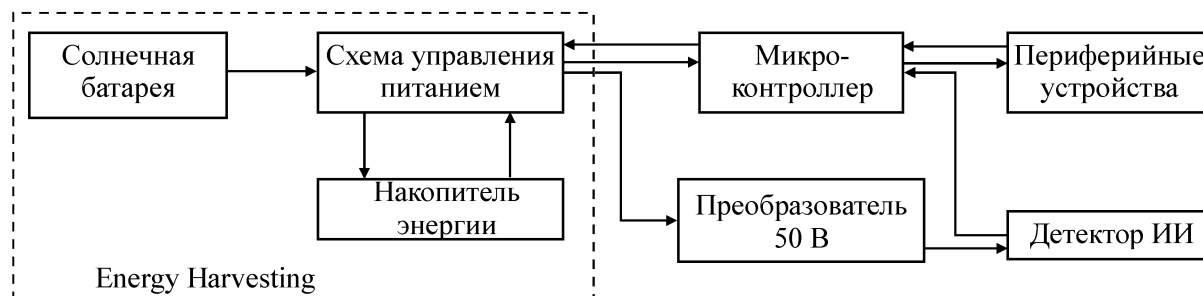


Рис. 1: Структурная схема беспроводного дозиметра.

В составе беспроводного дозиметра используются мощные потребители: полупроводниковый детектор ионизирующего излучения, радиомодуль обмена данными, модуль геолокации GPS/GLONASS. Сложное и многопрофильное управление питанием обеспечивается за счет применения микроконтроллера (МК).

Разработка и испытание новой схемы управления питанием. В качестве накопителя энергии может выступать ионистор или аккумулятор. Правильный выбор играет важную роль в обеспечении соответствующих технических характеристик системы питания. Аккумуляторы обладают линейным пологим участком кривой разряда в рабочем диапазоне, обеспечивая стабильность напряжения питания. В то же время у ионистора при потере заряда напряжение постепенно снижается. Ионистор отличается большей долговечностью по сравнению с аккумулятором, характеристики которого в результате химических реакций, происходящих в нём, со временем ухудшаются. На современном рынке электронных компонентов появился новый вид аккумуляторов – твёрдотельные

тонкоплёночные ячейки, имеющие большой ресурс и подходящие для портативных приложений.

Одной из таких ячеек является МЕС101-10S(P), имеющая 8000 циклов перезаряда. Диапазон рабочих температур составляет от -40 до $+85$ °С, а габаритные размеры ячейки: $25.4 \times 25.4 \times 0.17$ мм. Типовое внутреннее сопротивление ячейки для стандартного исполнения (S) при температуре 25 °С составляет 50 Ом, для более производительного исполнения (P) – 35 Ом. Максимальный непрерывный ток разряда ячейки для S-исполнения при температуре 25 °С составляет 30 мА, для P-исполнения – 40 мА. Рекомендуется не допускать падения напряжения на ячейке ниже уровня 2.1 В. На рис. 2(а) и 2(б) представлены типовые характеристики разряда ячейки при температуре 25 °С.

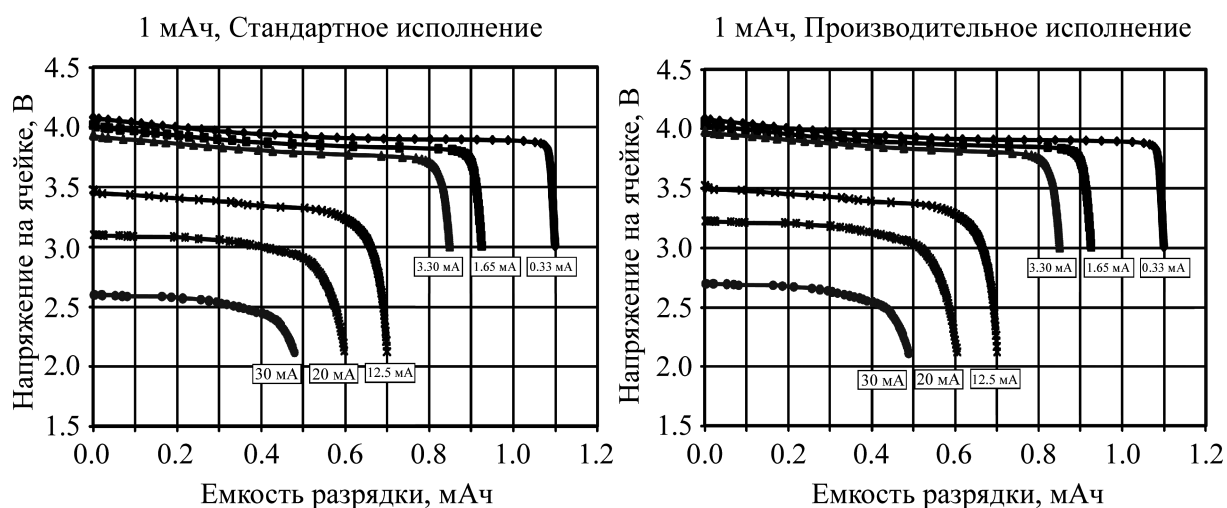


Рис. 2: Типовая характеристика разряда ячейки S-исполнения (а) и P-исполнения (б).

Из рис. 2(а) и 2(б) видно, насколько сильно при значительных токах снижаются напряжение ячейки из-за ее внутреннего сопротивления и ёмкость ячейки. Из рис. 2 видно, что при токе разряда 40 мА и уровне напряжения 2.5 В (это минимально допустимое входное сопротивление для LT8410) ёмкость ячейки составляет всего 0.4 мАч. Ток величиной 40 мА разрядит ячейку за 36 с.

Время заряда ионистора ёмкостью 0.1 Ф до напряжения 4.1 В можно оценить, зная ток заряда $I_{зар} = 20$ мкА (ток солнечной батареи):

$$t = \frac{C \cdot U}{I} = 2050 \text{ с.} \quad (1)$$

Ионистор заряжен до 4.1 В, его ёмкость 0.1 Ф. Определим время разрядки ионистора

с напряжения 4.1 В до напряжения 2.5 В током 40 мА:

$$t = \frac{\Delta Q}{I} = \frac{C \cdot \Delta U}{I} = 4 \text{ с}, \quad (2)$$

что на порядок меньше времени разрядки тонкопленочной ячейки.

Для увеличения времени разряда ионистора можно увеличить его ёмкость, но при этом увеличится и время заряда. Кроме того, ионисторы с малым внутренним сопротивлением и достаточной ёмкостью имеют большие габаритные размеры. Ввиду вышесказанного отдано предпочтение твёрдотельной тонкопленочной ячейке МЕС101-10Р [1].

Преобразователь напряжения до 50 В построен на базе интегральной микросхемы (ИМС) LT8410 фирмы Linear Technology. На выходе данной ИМС можно получить напряжение величиной до 40 В, регулируемое при помощи резистивного делителя между выводами V_{REF} и FBP . Входное напряжение может колебаться от 2.5 до 16 В, что является приемлемым диапазоном для нашего применения. Чтобы добиться на выходе напряжения величиной 50 В, поставлен удвоитель напряжения, выполненный на диодах D_1 и D_2 и конденсаторе C_4 , см. рис. 3, а резистивный делитель между выводами V_{REF} и FBP настроен так, чтобы напряжение на конденсаторе C_7 было равно 25 В. Для обеспечения работы ИМС необходимо, чтобы [2]:

$$R_1 + R_2 \geq 200 \text{ кОм}. \quad (3)$$

Расчет необходимых параметров делителя дает соотношения:

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{39.52}{U_{\text{out}}[B]} - 1 \right) \text{ или } R_2 = \frac{U_{\text{out}}[B] \cdot R_1}{39.52 - U_{\text{out}}[B]}. \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) видно, что номиналами резисторов R_1 и R_2 могут быть 365 кОм и 634 кОм соответственно.

Учитывая, что преобразователь LT8410 является импульсным, для улучшения условий разряда ячейки параллельно ей установлен конденсатор, ёмкость которого выбирается исходя из приемлемых колебаний напряжения на ячейке при максимальной энергии импульса в такте преобразования. При этом колебание напряжения на ячейке определяется исходя из приемлемых колебаний разрядного тока ΔI_{jch} (0.1 мА) и внутреннего сопротивления ячейки R_{vnutr} (35 Ом для Р-исполнения). Отсюда получаем:

$$\Delta U_{\text{jch}} = \Delta I_{\text{jch}} \cdot R_{\text{vnutr}} = 3.5 \text{ мВ}. \quad (5)$$

Максимальный ток на индуктивности L_1 составляет 25 мА, индуктивность L_1 составляет 100 мкГн. Отсюда энергия, запасённая в индуктивности L_1 , равна:

$$E_L = \frac{L \cdot I^2}{2} = 3.125 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}. \quad (6)$$

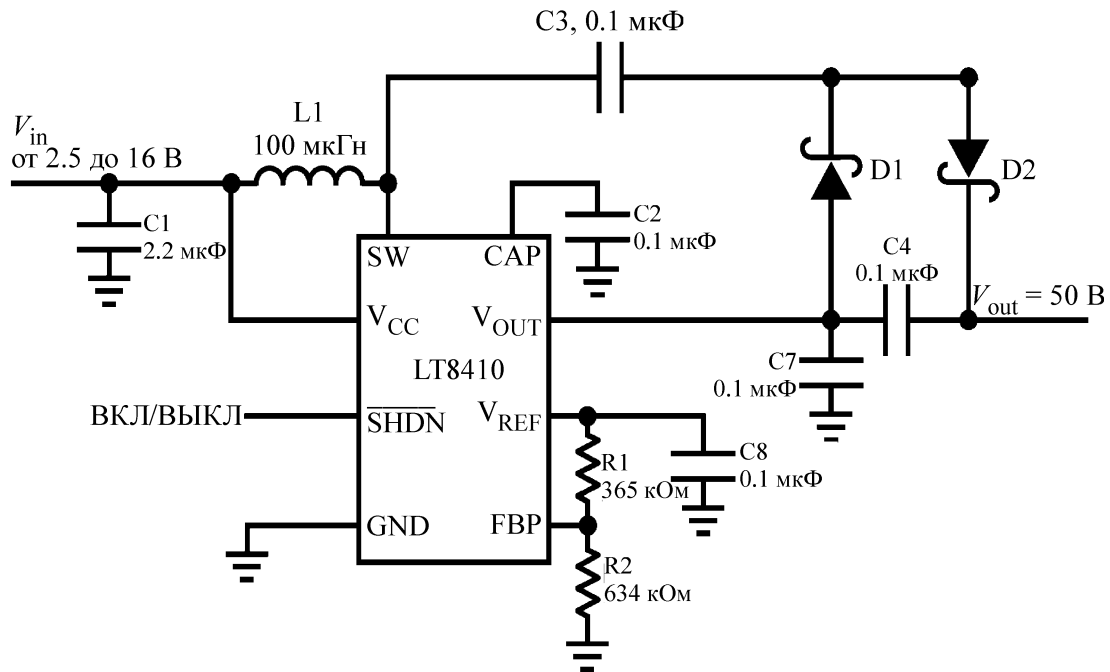


Рис. 3: Получение 50 В при помощи ИМС LT8410 и удвоителя напряжения.

Энергия, запасённая в конденсаторе, равна:

$$E_{\text{spoln}} = \frac{C \cdot (U + \Delta U)^2}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} + \frac{C \cdot \Delta U \cdot (2 \cdot U + \Delta U)}{2} = E_C + \Delta E_C. \quad (7)$$

Отсюда:

$$\Delta E_C = \frac{C \cdot \Delta U \cdot (2 \cdot U + \Delta U)}{2}. \quad (8)$$

Из уравнения (8) необходимую ёмкость конденсатора можно определить по формуле:

$$C = \frac{2 \cdot \Delta E_C}{\Delta U \cdot (2 \cdot U + \Delta U)}. \quad (9)$$

Учитывая, что $\Delta E_C = E_L$ и $\Delta U = \Delta U_{\text{jch}}$, получаем, что для напряжений 2.5 В и 4.1 В ёмкость конденсатора составляет 3.6 мкФ и 2.2 мкФ соответственно. Т.е. установленный параллельно ячейке конденсатор ёмкостью 4.7 мкФ будет охватывать весь рабочий диапазон работы ячейки: от 2.5 до 4.1 В.

Схема управления питанием реализована на базе ИМС Si1012. Особенность созданной схемы заключается в сверхмалом потреблении тока как в рабочем режиме, так и в режиме сна, не более 2 мкА. ИМС также ведёт контроль состояния накопителя энергии, не допуская его перезаряда или разряда, и обмен данными с микроконтроллером

для определения режимов работы устройства: проведения измерений, обмена данными, определение местоположения.

Заключение. Результатом проведенных исследований и разработки стало электронное устройство, способное обеспечивать сложное многопрофильное управление питанием от солнечной энергии сильно потребляющих устройств, таких как детекторы ионизирующего излучения. В процессе работ было получено, что преобразователь при модернизации схемы способен выдавать до 100 Вольт стабильного напряжения, что позволяет использовать в составе устройства в качестве узла детектирования газовые детекторы, счетчики Гейгера.

На этом работа по созданию автономной системы непрерывного мониторинга радиационной обстановки не заканчивается. Впереди еще много задач по развитию программной части, поскольку необходимо обеспечить основные функции организации сеансов выхода в эфир и синхронизации внутренних часов каждого устройства.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] С. Резников, В. Бочаров, И. Харченко и др., Силовая электроника **2**(41), 74 (2013).
- [2] LT8410/LT8410-1. Ultralow Power Boost Converter with Output Disconnect. Техническое описание продукта (Linear Technology, Милпитас, Калифорния, 2008), <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/84101fb.pdf>.
- [3] THINERG MEC101: Solid-State, Flexible, Rechargeable Thin-Film Micro-Energy Cell. Техническое описание продукта (Infinite Power Solutions Inc, Литтлтон, Колорадо, США, 2013), http://www.arrow.com/solutions/charge/pdf/THINERGY_MEC101_DataSheet_v3-4_DS1001.pdf.

Печатается по материалам III Международной молодежной научной школы-конференции “Современные проблемы физики и технологий”, Москва, МИФИ, апрель 2014 г.

Поступила в редакцию 8 мая 2014 г.