

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.3.083.7

А. В. Фомичев, И. М. Плаксин, А. В. Зотов

УВЕЛИЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ БЛОКОВ БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ И ОПАСНЫХ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ

A. V. Fomichev, I. M. Plaksin, A. V. Zotov

INCREASING LIFETIME OF AUTONOMOUS NODES OF WIRELESS TELEMETRY SYSTEM FOR TECHNICALLY DIFFICULT AND DANGEROUS IN MAINTENANCE HARDWARE PRODUCTS

А н н о т а ц и я. Обоснована необходимость увеличения времени функционирования автономных блоков беспроводной системы телеметрии. Предложена методика увеличения длительности непрерывного функционирования автономных блоков. Приведен расчет эффективности данной методики.

A b s t r a c t. In the article the necessity of increase of the Autonomous blocks wireless telemetry system. Proposed method of increasing duration of continuous functioning of independent blocks. The calculation of the effectiveness of this technique.

К л ю ч е в ы е с л о в а: беспроводные системы, система телеметрии, увеличение времени функционирования, автономный блок, аккумуляторное питание, энергопотребление, режимы функционирования, порты ввода/вывода.

К e y w o r d s: wireless systems, telemetry system, increasing lifetime, autonomous unit, battery powered, power consumption, operation modes, input/output ports.

По результатам эксплуатации беспроводной системы телеметрии в неблагоприятных условиях полевых испытаний технически сложных и опасных в эксплуатации изделий на полигоне межвидовой артиллерии 3 ЦНИИ МО РФ (п. Смолино, Нижегородская область), проходивших при жестком воздействии множества внешних механических и климатических факторов, был обобщен и проанализирован первичный опыт применения беспроводной системы телеметрии. Один из главных полученных выводов – необходимость увеличения времени функционирования автономных блоков. В числе факторов, ограничивающих функциональность беспроводной системы телеметрии в условиях применения эксплуатирующей организации, было названо недостаточное время непрерывного функционирования автономных блоков.

Продление ресурса работы пространственно разнесенных по объекту автономных блоков является одной из задач эксплуатации беспроводных систем телеметрии. Эти элементы беспроводных систем питаются от литиево-ионных аккумуляторов, часто расположенных в труднодоступных местах объекта.

При решении этой задачи возникают практические проблемы:

- невозможность подсоединения зарядных устройств к автономным блокам;
- невозможность подсоединения зарядных устройств к электрической сети напряжением 220 В переменного тока;
- сложность монтажа и демонтажа автономных блоков в случае организации заряда вне пределов технически сложных и опасных в эксплуатации изделий;
- потребность в значительном количестве зарядных устройств в случае одновременного заряда большого количества автономных блоков;
- неудобство подключения кабелей зарядных устройств из-за применения миниатюрных герметичных соединителей (блочных вилок типа СНЦ42 и кабельных розеток типа СНЦ13).

Простейший путь решения задачи за счет замены используемых аккумуляторов на новые, более повышенной емкости, сложно реализуем, так как требует доработки конструкции корпуса автономных блоков вследствие увеличения габаритных размеров аккумуляторов.

Решение задачи увеличения времени автономной работы возможно за счет модернизации программного обеспечения системы телеметрии.

В схемах автономных блоков систем телеметрии, работающих с датчиковой аппаратурой, часто присутствуют электронные компоненты, которые не имеют специальных входов разрешения типа «Chip Select» или «Output Enable», например карта памяти micro Secure Digital, модуль беспроводной связи стандарта IEEE 802.11b/g/n (Wi-Fi), усилитель сигналов датчиков мостовых схем и т.п. Электропитание таких компонент производится через стабилизаторы напряжения.

Наличие у микросхем стабилизаторов напряжения входа управления позволяет программно регулировать электропитание электронных компонент.

Программное обеспечение системы телеметрии можно представить условно состоящим из двух частей: конфигурирование микроконтроллеров и собственно программа. Сконфигурировав порты ввода-вывода микроконтроллеров как выходные, возможно в нужный момент времени включать/выключать микросхемы стабилизаторов напряжения, задавая тем самым различные режимы энергопотребления.

Дальнейшее уменьшение энергопотребления может быть достигнуто за счет управления работой высокоскоростных синхронных последовательных интерфейсов микроконтроллеров, по которым осуществляется взаимодействие с картой памяти и модулем Wi-Fi. Для этого перед уходом в режим глубокого сна по программе принудительно устанавливаются информационные цепи интерфейсов в состояние слабоподтянутого нуля (weak-pulldown). Кроме того, следует запретить отправку управляющего пакета с соответствующей командой в случае бездействия автономных блоков.

Как правило, в протоколе информационно-логического обмена отражена номенклатура управляющего пакета, устанавливающего соответствующий режим энергосбережения. В то же время из-за человеческого фактора этой возможностью пользуются нечасто, не осуществляя отправку требуемых команд. Для исключения человеческого фактора рекомендуется введение в программное обеспечение функции управления режимом электропитания автономных блоков. Для этого необходимы использование часов реального времени и введение в протокол информационно-логического обмена команд на установку-запрос текущего времени и даты. После включения питания автономные блоки находятся в состоянии пятиминутного ожидания установки текущего времени и даты. В случае неполучения данных по истечении пяти минут автономные блоки уходят в состояние глубокого сна, вывести из которого возможно только повторным включением напряжения питания.

После установки часов в алгоритме работы автономных блоков становится доступным режим принудительного отправления в сон и принудительного пробуждения от сна. После принудительного пробуждения автономные блоки находятся в пятиминутном ожидании в режиме ограниченного энергопотребления для определения своего последующего состояния. В случае неполучения управляющего пакета с указанием дальнейших действий автономные блоки уходят в состояние глубокого сна на заданный интервал времени. Эта процедура повто-

ряется периодически до момента получения управляющего пакета с определением требуемых режимов работы.

Найденные технические решения и организационные меры были внедрены в ходе работ по усовершенствованию системы телеметрии корабельной артиллерийской установки (Система С 098 СДАИ.406233.075), разработанной в 2012 г. и поставленной в адрес ОАО ЦНИИ «Буревестник» (г. Нижний Новгород) в том же году. Система телеметрии корабельной артиллерийской установки предназначена для проведения работ по проверке состояния, контроля и регистрации множества критически важных параметров сложных узлов и механизмов изделия А-190-01 на всех ответственных этапах сборки собственного производства, перед отгрузкой отдельных технически сложных конструкций от предприятий-смежников, в процессе передачи перед отправкой конечному потребителю.

Проведение расчета оценки эффективности с помощью информационной модели работы системы констатировало увеличение длительности работы автономных блоков беспроводной системы телеметрии корабельной артиллерийской установки. Модель носит эмпирический характер и основана на экспериментальных данных. В общем случае продолжительность жизни автономных блоков можно представить как циклическую сумму различных состояний функционирования, таких как ожидание приема, передача данных или сообщения, режим сна и т.д. В данном случае в зависимости от алгоритма функционирования автономного блока принимается типовая модель эксплуатации системы телеметрии, длительность работы которой будет зависеть от длительности режимов ожидания, измерений, передачи и сна, так как они при некотором обобщении отвечают за общую длительность непрерывной работы без подзарядки. Чтобы найти длительность работы, необходимо применить рабочую емкость литиево-ионного аккумулятора, составляющую, как правило, 80...90 % от номинальной емкости.

Для литиево-ионных аккумуляторов автономных блоков беспроводной системы телеметрии действует формула

$$C_p = 0,9C_n,$$

где C_p – рабочая емкость аккумулятора; C_n – номинальная емкость аккумулятора.

Следовательно,

$$C_p = K_{\text{цикл}} \cdot (N_{\text{изм}} \cdot (T_{\text{ож}} \cdot I_{\text{ож}} + T_{\text{изм}} \cdot I_{\text{изм}} + T_{\text{пер}} \cdot I_{\text{пер}}) + T_{\text{сна}} \cdot I_{\text{сна}}),$$

где $K_{\text{цикл}}$ – количество полных циклов; $N_{\text{изм}}$ – среднее количество измерений за цикл; $T_{\text{ож}}$ и $I_{\text{ож}}$ – длительность и сила тока в режиме ожидания; $T_{\text{изм}}$ и $I_{\text{изм}}$ – длительность и сила тока в режиме измерений; $T_{\text{пер}}$ и $I_{\text{пер}}$ – длительность и сила тока в режиме передачи; $T_{\text{сна}}$ и $I_{\text{сна}}$ – длительность и сила тока в режиме «сон».

Таким образом, длительность работы будет выражена как

$$T_p = K_{\text{цикл}} \cdot (N_{\text{изм}} \cdot (T_{\text{ож}} + T_{\text{изм}} + T_{\text{пер}}) + T_{\text{сна}}).$$

Эта формула носит приближенный характер, так как последний цикл скорее всего будет незавершенным. Кроме того, единичные послышки команд грубо учитываются в режиме передачи, поскольку при нормальном цикле работы беспроводной системы телеметрии они имеют незначительную продолжительность по сравнению с другими режимами.

Рабочий цикл включает в себя следующие временные составляющие:

– один период ожидания команд (общее время ожидания или «прослушивания» за рабочий цикл);

– три периода измерений;

– три периода передачи;

– один период сна, длящийся все оставшееся время, когда истекает время других периодов.

При одинаковых исходных временных данных периодов проведен расчет длительности работы автономного блока без подзарядки до проведения улучшений (рис. 1, 2) и после (рис. 3, 4).

До проведения усовершенствования ток, потребляемый во время режима «сон», составлял 32 мА. Требовалось проводить зарядку аккумулятора автономного блока емкостью 1500 мА после 38,64 ч непрерывной работы.

После введения улучшений ток, потребляемый во время режима сна, составил 2 мА, много снизились токи и в других режимах, зарядку аккумулятора необходимо производить после 221,2 ч непрерывной работы.

Расчет длительности работы АБ

Номинальная емкость аккумулятора: 1500 нА
 Конечная емкость аккумулятора: 180 нА
 Сила тока в режиме передачи: 150 нА
 Длительность периода передачи: 0,08 ч
 Сила тока в режиме ожидания: 150 нА
 Сила тока в режиме ионизаций: 170 нА
 Сила тока в режиме сна: 32 нА
 Длительность периода ожидания: 0,1 ч
 Длительность периода ионизаций: 0,08 ч
 Длительность периода сна: 23,74 ч
 Количество ионизаций: 50
 Количество ионизаций за цикл: 3

Полное отображение значений времени и заряда

Рассчитать

Представить в виде: ☐ графика энергии аккумулятора

Номер цикла 1: 1
 Номер цикла 2: 2
 Время работы: 38,64
 Емкость аккумулятора: 641,32
 Время работы составит: $T = 38,639999$
 Количество циклов сна: 2
 Проведено из запланированных измерений: 6

Очистить Выход

Рис. 1. Временная модель работы автономного блока до улучшения

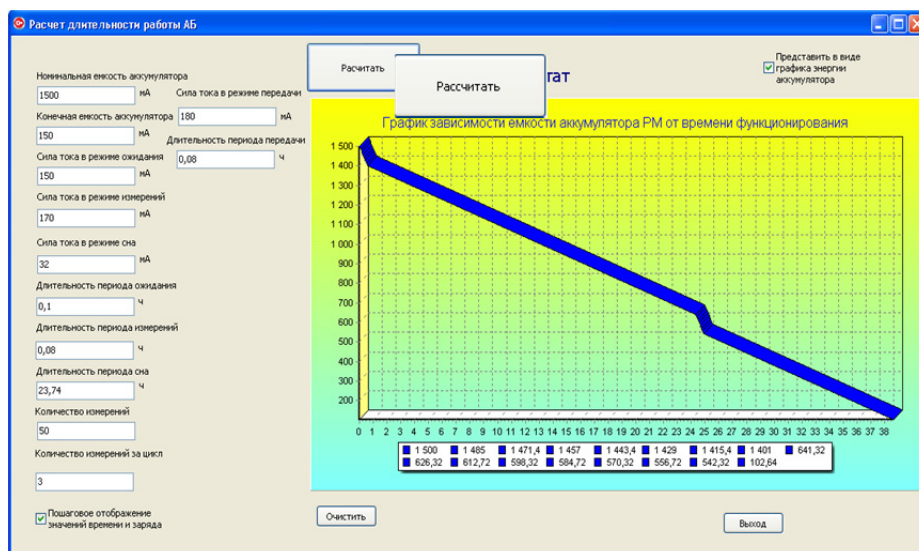


Рис. 2. График зависимости емкости литиево-ионного аккумулятора автономного блока от времени до улучшения

Расчет длительности работы АБ

Номинальная емкость аккумулятора: 1500 нА
 Конечная емкость аккумулятора: 170 нА
 Сила тока в режиме передачи: 150 нА
 Длительность периода передачи: 0,08 ч
 Сила тока в режиме ожидания: 130 нА
 Сила тока в режиме ионизаций: 160 нА
 Сила тока в режиме сна: 2 нА
 Длительность периода ожидания: 0,1 ч
 Длительность периода ионизаций: 0,08 ч
 Длительность периода сна: 23,74 ч
 Количество ионизаций: 50
 Количество ионизаций за цикл: 3

Полное отображение значений времени и заряда

Рассчитать

Представить в виде: ☐ графика энергии аккумулятора

Номер цикла 1: 1
 Номер цикла 2: 2
 Номер цикла 3: 3
 Номер цикла 4: 4
 Номер цикла 5: 5
 Номер цикла 6: 6
 Номер цикла 7: 7
 Номер цикла 8: 8
 Номер цикла 9: 9
 Номер цикла 10: 10
 Время работы: 24,32
 Емкость аккумулятора: 1360,32
 Время работы: 48,64
 Емкость аккумулятора: 1220,64
 Время работы: 72,96
 Емкость аккумулятора: 1080,96
 Время работы: 97,28
 Емкость аккумулятора: 941,28
 Время работы: 121,6
 Емкость аккумулятора: 801,6
 Время работы: 145,92
 Емкость аккумулятора: 661,92
 Время работы: 170,24
 Емкость аккумулятора: 522,24
 Время работы: 194,56
 Емкость аккумулятора: 382,56
 Время работы: 218,88
 Емкость аккумулятора: 242,88
 Время работы: 221,2
 Емкость аккумулятора: 147,2
 Время работы составит: $T = 221,200119$
 Количество циклов сна: 10
 Проведено из запланированных измерений: 30

Очистить Выход

Рис. 3. Временная модель работы автономного блока после улучшения

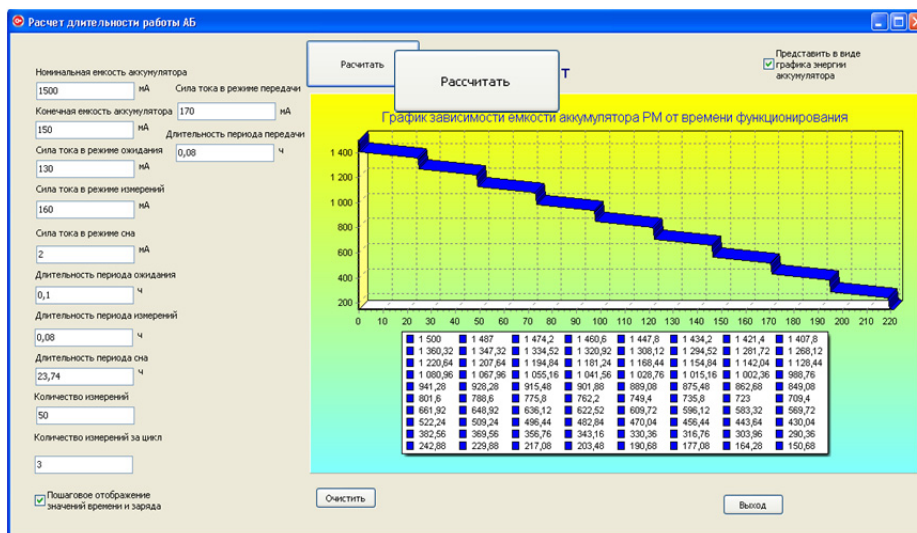


Рис. 4. График зависимости емкости литиево-ионного аккумулятора автономного блока от времени после улучшения

Как видно из рисунков, снижение энергопотребления отдельных узлов за счет более тонкой конфигурации в различных режимах с помощью программного обеспечения позволяет значительно продлить время непрерывного функционирования беспроводной системы телеметрии, позволив увеличить длительность работы ее автономных блоков в зависимости от режима работы в 6–10 раз.

Как следствие увеличения непрерывного функционирования автономных блоков явилась значительная экономия ресурсов в процессе эксплуатации беспроводной системы телеметрии. Длительность зарядки одного литиево-ионного аккумулятора составляет 4 ч без учета затрат времени на демонтаж автономного блока с объекта. После введения улучшений экономия времени на зарядку литиево-ионного аккумулятора сократилась как минимум в 6 раз.

По предварительным расчетам, до введения улучшений при регулярной эксплуатации беспроводной системы телеметрии требовалась хотя бы раз в год замена литиево-ионных аккумуляторов автономных блоков, выработавших свой ресурс по количеству циклов заряда-разряда. Поскольку количество циклов заряда-разряда у применяемых литиево-ионных аккумуляторов составляет не менее 200, а длительность непрерывной работы до улучшения составляла 38,64 ч, уже после не менее чем 7728 ч эксплуатации автономных блоков потребовалась бы замена литиево-ионных аккумуляторов. После проведения работ по корректировке программного обеспечения длительность эксплуатации автономных блоков увеличилась в 5,3 раза. При стоимости одного литиево-ионного аккумулятора примерно 600 руб. замена 50 аккумуляторов составила бы 30 000 руб. За весь период эксплуатации беспроводной системы телеметрии (5 лет по требованию технического задания) общая стоимость замены одного литиево-ионного аккумулятора могла составить 150 000 руб. После введения улучшений замена аккумуляторов по выработке циклов заряда-разряда не потребует как минимум 5 лет.

Выполнение комплекса описанных мероприятий в беспроводной системе телеметрии, предназначенной для измерения критически важных параметров технически сложных и опасных в эксплуатации изделий, позволило увеличить время функционирования автономных блоков не менее чем в 10 раз.

В заключение стоит упомянуть, что приведенная выше методика может быть распространена на практически любое электронное устройство мобильного либо стационарного размещения, в котором в качестве источников питания применяются аккумуляторы.

Фомичев Андрей Васильевич

начальник лаборатории, аспирант,
Научно-исследовательский институт
физических измерений,
Пензенский государственный университет
E-mail: info@niifi.ru

Fomichev Andrej Vasil'evich

head of a laboratory, postgraduate student,
Scientific-research Institute
of physical measurements,
Penza State University

Плаксин Игорь Михайлович

инженер-программист 1 категории, аспирант,
Научно-исследовательский институт
физических измерений,
Пензенский государственный университет
E-mail: info@niifi.ru

Plaksin Igor' Mihajlovich

engineer-programmer, postgraduate student,
Scientific-research Institute
of physical measurements,
Penza State University

Зотов Александр Владимирович

старший научный сотрудник, аспирант,
ОАО ЦНИИ «Буревестник»,
Нижегородский государственный университет
E-mail: zotovmail@nightmail.ru

Zotov Aleksandr Vladimirovich

high scientific employee, postgraduate student,
Central Scientific Research Institute «Burevestnik»,
Nizhniy Novgorod State University

УДК 621.3.083.7

Фомичев, А. В.

Увеличение времени функционирования автономных блоков беспроводной системы телеметрии для технически сложных и опасных в эксплуатации изделий / А. В. Фомичев, И. М. Плаксин, А. В. Зотов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 4 (6). – С. 3–8.