

Разработка измерительной установки и методики оценки максимального времени работы прибора учета расхода горячей и холодной воды

Е.С. Синютин, Р.Ю. Рубан

Южный федеральный университет, г. Таганрог

Аннотация: В работе рассмотрена проблема измерения микропотребления устройств. Разработан измерительный модуль для решения данной задачи. Модуль включен в схему измерительной установки, для которой приводится методика проведения измерений. В качестве исследуемого устройства используется прибор учета расхода горячей и холодной воды. Разработана методика оценки максимального времени работы устройства с импульсным микропотреблением тока.

Ключевые слова: микропотребление тока, измерительная схема, инструментальный усилитель, дрейф нуля.

Введение

В современных устройствах все чаще применяются методы снижения энергопотребления основанные как на использовании микропотребляющих электронных компонентах, так и на использовании циклических принципов работы устройства [1,2]. Устройство непрерывно находится в режиме ультранизкого потребления, так называемого «глубокого сна» (“deep sleep mode”), пробуждение осуществляется либо по таймеру внутри контроллера, либо по прерыванию от внешнего источника (например, от кнопки или интерфейса связи). При этом потребление в активном режиме может превышать потребление в режиме сна в $10^3 - 10^4$ раз [3]. Кроме того, отношение длительности режима сна и активного режима разработчики всегда стараются сделать максимальным, используя более мощные вычислительные ядра или скоростные алгоритмы. Чаще всего такой циклический принцип используется в устройствах с батарейным питанием, срок эксплуатации которых превышает 1 год, а возможность подзарядки химического источника тока отсутствует.

В качестве примера такого устройства можно привести прибор учета расхода горячей и холодной воды с электронным измерительным блоком. Срок эксплуатации счетчика воды крыльчатого типа составляет 10 лет, а межповерочный интервал – 6 лет [2]. Причем, при периодической поверке счетчика не производится вскрытие корпуса и нарушение заводских пломб, а значит, замена элемента питания при этом не предусматривается. Для количественной оценки среднего потребления данного устройства применение стандартных мультиметров невозможно, так как ток потребления, хотя и является постоянным, в то же время содержит импульсы длительностью порядка 100-200 мкс с амплитудой 8-9 мВ, в остальное время потребление сохраняется на уровне 12-15 мкА. Обычный мультиметр не рассчитан на измерение импульсных токов с таким частотным диапазоном (не менее 20 кГц для того чтобы получить спектр сигнала, для оцифровки формы – 50-100 кГц), кроме того в данном случае требуется блок интегрирования измеряемого тока для повышения точности усреднения.

Основная часть

Для решения данной задачи разрабатывается прецизионный измерительный модуль, состоящий из шунта и инструментального усилителя. Усилитель выбирается исходя из следующих требований: минимальный уровень шума и полоса частот не менее 300 кГц (при коэффициенте усиления 500-1000). Этим критериям полностью удовлетворяет инструментальный усилитель AD8429, уровень шума, приведенного ко входу – $1 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$, минимальный уровень подавления синфазной помехи при единичном коэффициенте усиления – 90 дБ [4]. Полоса частот данного инструментального усилителя при коэффициенте усиления 1000 - 300 кГц. Требуемое питание двуполярное от $\pm 4 \text{ В}$ до $\pm 18 \text{ В}$.

Схема измерительного модуля представлена на рис. 1.

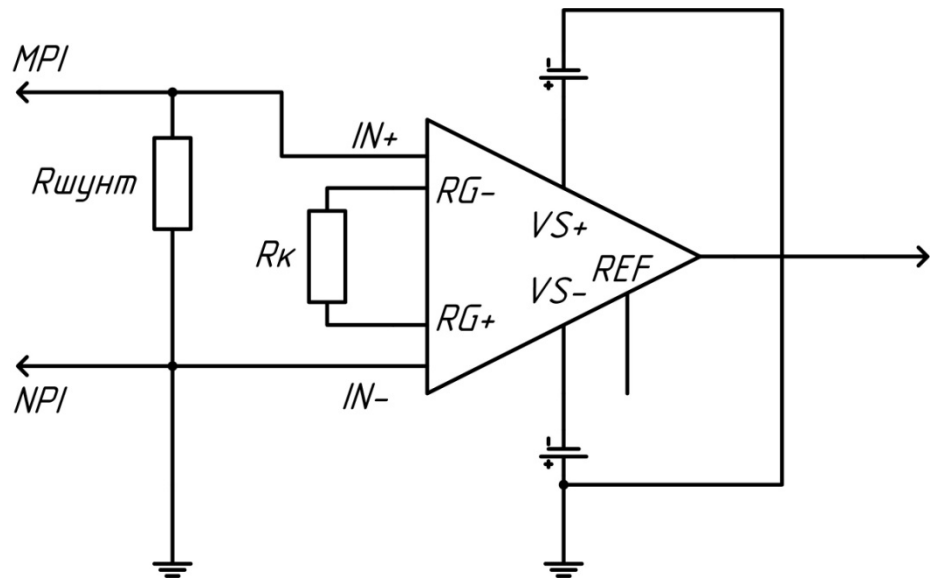


Рис. 1 - Схема измерительного модуля с инструментальным усилителем и шунтом

В качестве шунта выбирается резистор с номиналом 20 Ом, коэффициент усиления инструментального усилителя – 500. Таким образом, суммарный коэффициент усиления измерительного модуля составляет 10000. Если ток потребления схемы равен 10 мкА, то уровень напряжения на выходе измерительного модуля составит:

$$U_{изм} = I_{схемы} \cdot K_{шунт} \cdot K_{усил} = 0,00001 \cdot 20 \cdot 500 = 0,1 \text{ В} \quad (1)$$

Соответственно, для 1 мкА получим 0,01 В, что является приемлемым уровнем сигнала при условии правильного экранирования схемы и батарейного питания измерительного модуля. В качестве питающих элементов выбираются батареи CR-9V, что позволяет обеспечить двуполярное питание модуля $\pm 9\text{В}$. Работа модуля происходит в положительной части питания, что дает максимальный уровень измеряемого тока – 9 мА.

Одна из существенных проблем эксплуатации схемы такого типа – дрейф нуля. Для AD8429 производитель заявляет уровень смещения нуля по входу до 150 мкВ, а температурная зависимость заявлена на уровне 1 мкВ/°С. При измерении токов 1-5 мкА это приведет к смещению нуля на весь диапазон требуемой шкалы. По рекомендации производителя измерительный модуль дополняется схемой компенсации смещения нуля на основе операционного усилителя OP213 [5,6]. Результирующая схема представлена на рис. 2.

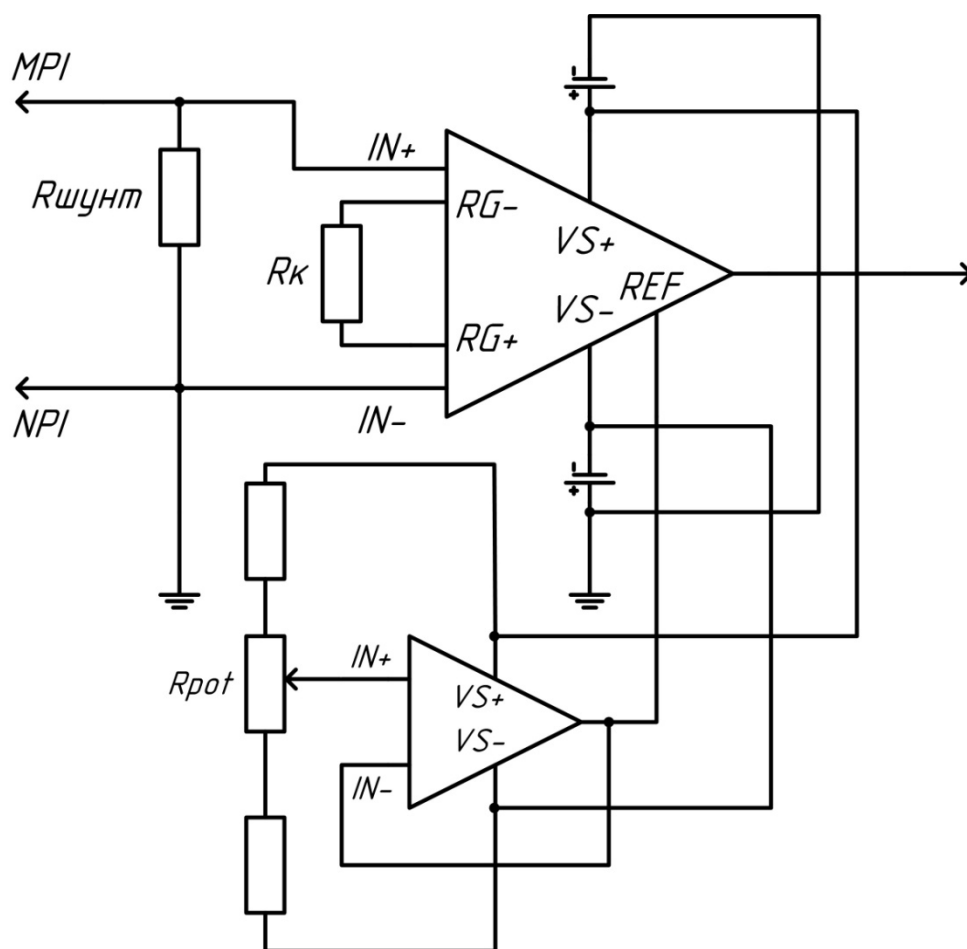


Рис. 2 - Схема измерительного модуля с компенсацией смещения нуля

Вклад в температурный дрейф нуля измерительного модуля вносят практически все составляющие его электронные компоненты [7]. При подаче питания на AD8429 наблюдается собственный дрейф нуля микросхемы в

течение 400-600 с, что соответствует заявленным характеристикам производителя. При резких колебаниях температуры окружающей среды температурный дрейф по выходу инструментального усилителя составляет $10 \text{ мкВ}/^{\circ}\text{C}$, если учитывать температурный дрейф входа инструментального усилителя, то получим 10 мВ смещения, что уже равно нижней границе шкалы измерительного модуля. Схема компенсации смещения нуля также вносит вклад в температурный дрейф, так, например, применение SMD-резисторов в данной схеме приводит к постоянному изменению уровня нуля, фактически схема измеряет колебания температуры окружающей среды. Операционный усилитель для схемы компенсации смещения подбирается именно с учетом требований низкого температурного дрейфа, для OP213 он равен $0.2 \text{ мкВ}/^{\circ}\text{C}$ [4].

Результирующий температурный дрейф измерительного модуля составляет 1 мВ в течение 1 часа работы измерительной установки. Данный дрейф может быть устранен с помощью принудительного подогрева измерительной схемы (применение термостата). В данной разработке термостат не используется, в методику измерений вносится следующая последовательность действий: после подачи питания на измерительный модуль необходимо выждать 10 мин, после чего замкнув измерительные электроды выставить уровень нуля с помощью компенсационного потенциометра. При дальнейшей работе через каждые 30 мин осуществлять периодическую проверку уровня нуля и, при необходимости, компенсацию дрейфа нуля.

Для снижения влияния внешних шумов вся измерительная схема помещается в жестяной экранирующий корпус, а весь измерительный стенд помещается в стальной короб. Схема измерительной установки представлена на рис. 3.

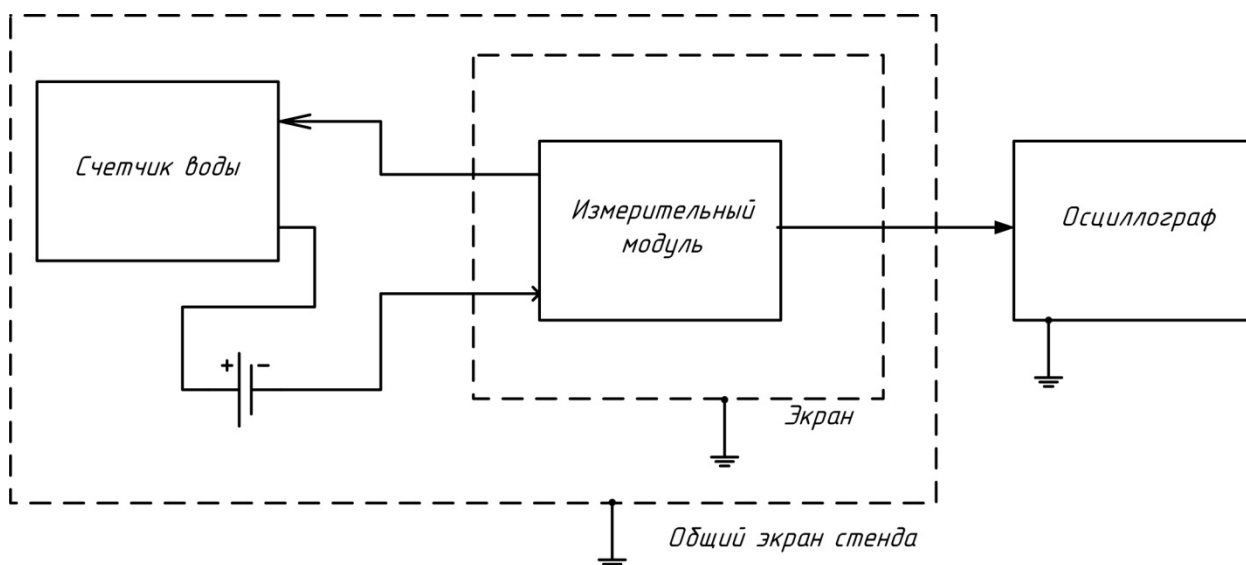


Рис. 3 – Измерительная установка для определения среднего уровня энергопотребления прибора учета расхода горячей и холодной воды

Рассмотренная в [8] схема цикла потребления водяного счетчика предполагает наличие прямоугольных импульсов, что позволяет произвести расчет по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \frac{i_1 \cdot t_1 + i_2 \cdot t_2}{t_1 + t_2}, \quad (2)$$

где i_1 – потребление в активном режиме, i_2 – потребление в режиме «сна», t_1 – время потребления в активном режиме, t_2 – время потребления в режиме «сна». При этом метрологическая часть счетчика воды потребляет в среднем 13,33 мкА, при нижнем уровне потребления 8 мкА, а верхнем – 10 мА. После проведения испытаний цифровой части счетчика, нижний уровень потребления схемы составил 15-16 мкА, верхний уровень снизился до 9 мА.

Измерение потребления платы показало, что импульс тока потребления в активном режиме имеет не строго прямоугольную форму, его задний фронт

представляет собой затухающее колебание с $\tau \approx 700 - 800$ мкс, как показано на рис. 4.

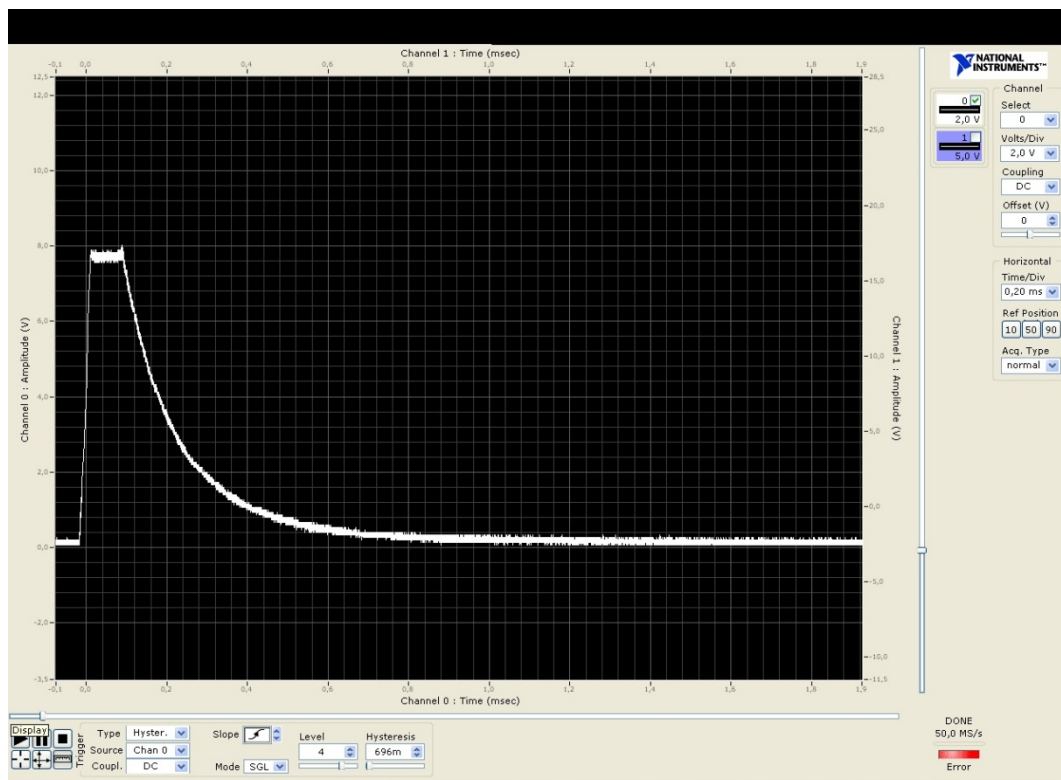


Рис. 4 – Форма импульса тока потребления в активном режиме счетчика
Затянутый задний фронт потребления, очевидно, проявляется из-за разрядки блокировочных емкостей в схеме. Такая форма импульса исключает допущение сделанное в [8], расчет среднего потребления необходимо делать на основе площади импульса.

Измерение площади импульса проводится на измерительной станции National Instruments, причем, по сравнению с [8], была проведена доработка встроенного ПО прибора учета расхода горячей и холодной воды, что позволило исполнять все сервисные функции 1 раз в секунду. Частота проведения сервисных функций не зависит от частоты активного режима (20 мс или 100 мс). Длинный импульс активного режима представлен на рис. 5.

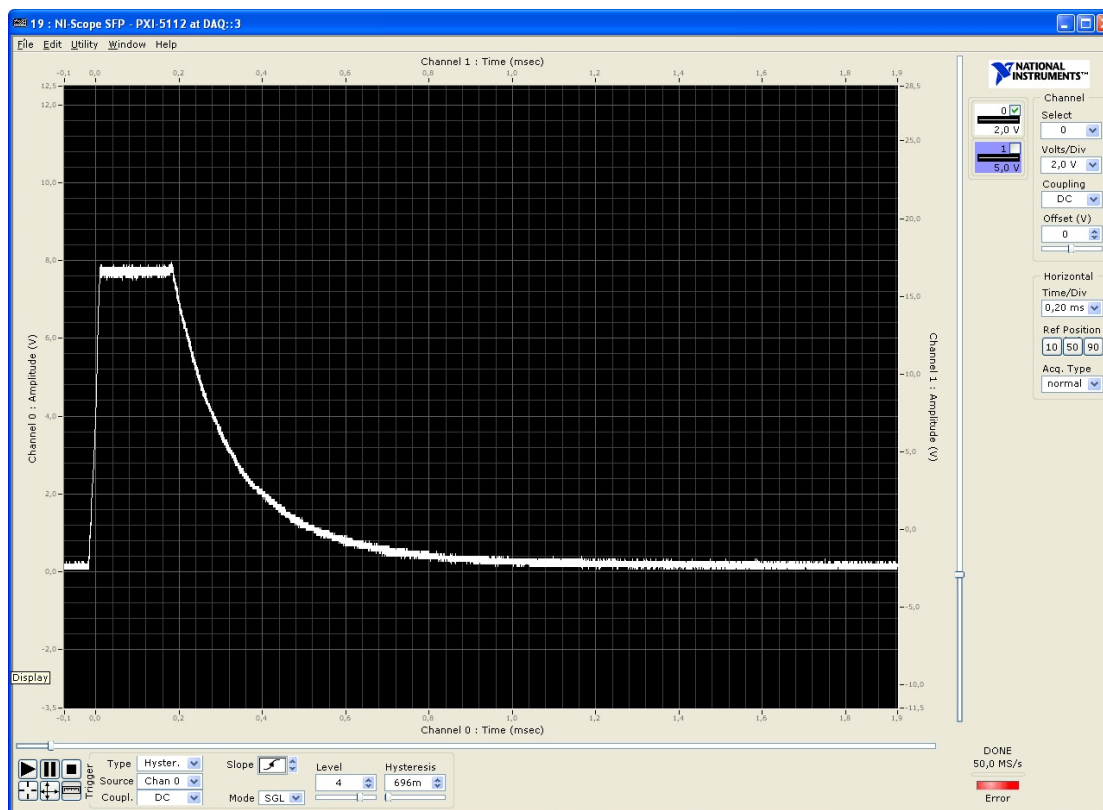


Рис. 5 – Форма «длинного» импульса тока потребления в активном режиме счетчика

При выполнении математической функции вычисления площади импульса результат имеет размерность $\text{мВ} \cdot \text{с}$ [9], поэтому для корректного расчета импульсной прибавки к току потребления необходимо осуществить перевод в размерность $\text{А} \cdot \text{с}$ воспользоваться формулой:

$$I_{\text{общ}} = \frac{S_1 \cdot N}{t_{1\text{с}}} + I_{\text{н}}, \quad (3)$$

где S_1 – площадь под графиком импульса тока потребления ($\text{А} \cdot \text{с}$), N – количество импульсов за 1 сек, $t_{1\text{с}}$ – отрезок времени, равный 1 с, а $I_{\text{н}}$ – величина нижнего уровня потребления счетчика во время режима «сна». Перейти от размерности площади в $\text{мВ} \cdot \text{с}$ к $\text{А} \cdot \text{с}$, можно с помощью

коэффициента преобразования измерительного модуля – K , согласно формуле:

$$S_T = S_V / K \quad (4)$$

Результаты измерения площади импульсов представлены в таблице 1. Далее производились расчеты по формуле (3), полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Площади импульсов при двух режимах работы счетчика

Период импульсов, мс	Длина импульса	Площадь импульса, мВ·с
100	короткий	2.6942
100	длинный	3.5366
20	короткий	2.0307
20	длинный	3.6967

Таблица 2 – Результаты расчетов импульсного и общего тока потребления счетчика воды

Период импульсов, мс	Импульсный ток, мкА	Общий ток, мкА
100	2,6 мкА	17,6
20	9,66 мкА	24,66

Для того чтобы оценить полученные результаты, необходимо оценить среднее время работы счетчика, учитывая активный режим (когда потребитель использует воду и включается режим с периодом импульсов – 20 мс) и режим простоя (когда включен режим с периодом импульсов – 100 мс). Чтобы произвести оценку необходимо обратиться к своду правил 30.13330.2016 «Внутренний водопровод и канализация жилых зданий» [10]. В таблице А.2, приложения А приведены нормы расхода воды в зданиях жилых, общественного и промышленного назначения. Так как мы

рассматриваем бытовой прибор учета расхода воды, то используем часть таблицы, касающейся жилых зданий. Используем самый худший вариант расхода из таблицы – 250 литров в сутки на 1 человека, считаем, что в квартире проживает 4 человека. Таким образом, суммарный расход воды составит 1 куб. м в сутки. Максимальный расход для бытового счетчика воды составляет 3 куб. м в час, на практике потребитель редко открывает кран полностью, чаще всего максимум наполовину, следовательно, можно ориентироваться на расход 1.5 куб. м в час. Исходя из этого, время работы счетчика в активном режиме составит 0,67 часа за 1 сутки. Для расчета среднего потребления воспользуемся формулой (5) из [8]:

$$P_{\text{ср}} = \frac{i_1 \cdot t_1 + i_2 \cdot t_2}{t_1 + t_2} = \frac{24,66 \cdot 0,67 + 17,6 \cdot 23,33}{24} = 17,797 \text{ мкА} \quad (5)$$

Исходя из емкости батареи, используемой в счетчике – 2400 мА·ч получим, что батареи в счетчике хватит на 134 855 часов работы или на 15.39 лет. Таким образом, имеем запас по потреблению (требуемое время работы – 10 лет), т.е. в случае медленного расхода воды или снижения емкости батареи счетчик не выйдет из строя.

Выводы.

В результате работы были получены верифицируемые данные о потреблении электронной части прибора учета расхода горячей и холодной воды. Следует отметить важность наличия методики (и аппаратуры) верификации расчетных значений потребления для совокупности электронных компонент схемы. В условиях производства, таким образом, появляется возможность количественной оценки технологии монтажа печатных плат, а также проверки влияния доработок встроенного ПО на общее потребление счетчика.

Цифровизация всех сфер деятельности человека значительно повысит качество производимых услуг, в частности в сфере ЖКХ применение ИТ-технологий позволит вывести прогнозирование на новый уровень, что позволит планировать деятельность как ресурсоснабжающих организаций, так и управляющих компаний. Преодоление технологического барьера открывает огромные перспективы для развития ЖКХ-сферы. Применение технологии BigData позволит значительно расширить возможности современных разрабатываемых систем для учета, контроля и прогноза потребления энергоресурсов и воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации проекта «Разработка и создание высокотехнологичного производства инновационной системы комплексного учета, регистрации и анализа потребления энергоресурсов и воды промышленными предприятиями и объектами ЖКХ» по постановлению правительства №218 от 09.04.2010 г. Работа выполнялась во ФГАОУ ВО ЮФУ.

Литература

1. Ярцев А.В., Синютин Е.С. Обзор типов и параметров приборов учёта расхода газа, применяемых в автоматизированных системах учёта энергоресурсов // Инженерный вестник Дона, 2017. №4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4601.
 2. Ланько Д.И., Синютин Е.С. Обзор существующих приборов учета расхода холодной воды и подходов к повышению точности измерения расхода воды // Инженерный вестник Дона, 2017. №4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4603.
 3. Кириенко В.В., Синютин Е.С. Обзор методов тестирования энергоэффективности микроконтроллеров с ультранизким потреблением для медицинского оборудования // Ползуновский вестник, 2014. №2. с. 212-216.
-

4. 1 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ Low Noise Instrumentation Amplifier AD8429. Datasheet. Analog devices Inc, 2017. Rev A, 20 p.
5. Low Noise, Low Drift Single-Supply Operational Amplifiers OP113/OP213/OP413. Datasheet. Analog devices Inc, 2007. Rev F, 24 p.
6. Op-Amp applications. Walter G. Jung editor. // 2002, Analog Devices Inc. 211 p.
7. “TDN: Temperature Drift Nonlinearity – A new dual-FET Specification”// Analog dialogue, 1972, Vol.6, No.1, pp.13-14.
8. Акользин А.Н., Ковтун Д.Г., Легин А.А. Исследование методов снижения энергопотребления оптических схем измерения положения мишени // Известия ЮФУ. Технические науки, 2017. №6 (191). С. 159-168.
9. Жуков К.Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabView/ - М.: ДМК Пресс, 2011. – 688 с.
10. Внутренний водопровод и канализация зданий: основные положения /TrubaMaster 2018 / URL:trubamaster.ru/vodoprovodnye/vnutrennij-vodoprovod-i-kanalizaciya-zdanij.html.

References

1. Yartsev A.V., Sinyutin E.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017. №4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4601.
 2. Lanko D.I., Sinyutin E.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4603.
 3. Kiriyyenko V.V., Sinyutin E.S. Obzor metodov testirovaniya energoeffektivnosti mikrokontrollerov s ul'tranizkim potrebleniyem dlya meditsinskogo oborudovaniya [Review of methods for testing energy efficiency of microcontrollers with ultra-low consumption for medical equipment] Polzunovsky Vestnik, 2014. №2. Pp 212-216.
-

4. 1 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ Low Noise Instrumentation Amplifier AD8429. Datasheet. Analog devices Inc, 2017. Rev A, 20 p.
5. Low Noise, Low Drift Single-Supply Operational Amplifiers OP113/OP213/OP413. Datasheet. Analog devices Inc, 2007. Rev F, 24 p.
6. Op-Amp applications. Walter G. Jung editor. 2002, Analog Devices Inc. 211 p.
7. “TDN: Temperature Drift Nonlinearity. A new dual-FET Specification” Analog dialogue, 1972, Vol.6, No.1, pp.13-14.
8. Akolzin A.N., Kovtun D.G., Legin A.A. Issledovaniye metodov snizheniya energopotrebleniya opticheskikh skhem izmereniya polozheniya misheni [Investigation of methods for reducing the energy consumption of optical schemes for measuring the position of a target] Izvestiya SFU. Engineering science, 2017. №6 (191). Pp. 159-168.
9. Zhukov K.G. Model'noye proyektirovaniye vstraivayemykh sistem v LabView [Model design of embedded systems in LabView] M.: DMK Press, 2011, 688 p.
10. Vnutrenniy vodoprovod i kanalizatsiya zdaniy: osnovnyye polozheniya [Internal water supply and sewerage of buildings: the main provisions]. TrubaMaster 2018. URL: trubamaster.ru/vodoprovodnye/vnutrennij-vodoprovod-i-kanalizaciya-zdanij.html.