

21. *Klevtsov S.I.* Identification of the State of Technical Objects Based on Analyzing a Limited Set of Parameters, *2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 – Proceedings*, 2016, pp. 749-752.
22. *Darkhovsky B., Piratinska A.* Novel Methodology for Segmentation of Time Series Generated by Different Mechanisms, *Proceedings of International work-conference on Time Series (ITISE-2014). Iss. 1. Granada: Copicentro Granada S.L., 2014*, pp. 273-285.
23. *Darkhovsky B., Brodsky B.* Asymptotically Optimal Methods of Early Change-point Detection, *Sequential Analysis*, 2013, No. 32, pp. 158-181.
24. *Klevtsov S.I.* Osobennosti vybora parametrov nastroyki modeli sglazhivayushchego vremennogo ryada dlya osushchestvleniya kratkosrochnogo prognozirovaniya izmeneniya fiziche-skoy velichiny [Choice of parameters for adjustment models of a smoothing time number for short-term forecasting of physical size], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 5 (118), pp. 133-138.
25. *Klevtsov S.I., Udod Y.V.* The Impact of the Parameters of Constructing a Model for a Microprocessor-Based Sensors Multi-Segment Spatial Conversion Characteristics on the Accuracy of Measuring Physical Quantities, *World Applied Sciences Journal*, 2014, Vol. 29, No. 6, pp. 710-714.
26. *Klevtsov S.I.* Formirovanie mul'tisegmentnoy modeli graduirovочноy kharakteristiki intellektual'nogo datchika [Formation of multisegment model of the transfer characteristic of the intellectual gauge], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 11 (88), pp. 8-11.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Тютиков.

Клевцов Сергей Иванович – Южный федеральный университет; e-mail: sergkmps@mail.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328025; к.т.н.; доцент.

Иванов Даниил Александрович – тел.: 89085036487; студент.

Klevtsov Sergey Ivanovich – Southern Federal University; e-mail: sergkmps@mail.ru; 81, Petrovsky, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634 328025; cand. of eng. sc.

Ivanov Daniil Alexandrovich – phone: +79085036487; student.

УДК 621.383

DOI 10.23683/2311-3103-2017-6-159-168

А.Н. Акользин, Д.Г. Ковтун, А.А. Легин

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ МИШЕНИ

Современные тенденции развития приборов учета потребления энергоресурсов привели к появлению цифровых устройств, которые наряду с традиционными приборами учета предоставляют ряд дополнительных возможностей. К таким возможностям можно отнести коррекцию показаний потребления энергоресурсов, журналирование, взаимодействие с приборами учета с целью контроля показаний через различные интерфейсы (проводные или беспроводные). Подобного рода приборы являются автономными устройствами, которые работают от батарейного питания емкостью 2–3,5 А·ч, которое может заменяться во время поверки прибора. Время работы между этапами замены источников автономного питания, как правило, находится в пределах от 5–10 лет. Основными потребителями являются микропроцессор, измерительные цепи и устройство отображения информации. Энергопотребление микропроцессора и устройства отображения известны из технической документации и могут быть минимизированы путем выбора оптимального режима работы. В этой работе рассматриваются способы уменьшения энергопотребления системы измерения, состоящей из оптической пары излучателя (инфракрасный светодиод) и приемника (фототранзистор). Приведены характеристики энергопотребления системы при различных параметрах сканирующих импульсов, оптических схем и применяемых компонентов, используемых в качестве измерительных схем в приборах учета

энергоресурсов. Осциллограммы воздействий и откликов оптической системы приведены для различных длительностей и вариантов сокращения энергопотребления. Рассмотрен способ уменьшения энергопотребления за счет сокращения длительности импульса, которое, с другой стороны приводит к увеличению тока светодиода. Так же рассмотрены варианты восстановления формы сигналов на основе усилителей и компараторов с низким энергопотреблением.

Оптические излучатели; приборы учета; измерительные цепи;

A.N. Akolzin, D. G. Kovtun, A.A. Legin

RESEARCH INTO METHODS OF ENERGY USE REDUCTION FOR OPTICAL SCHEMES OF TARGET LOCATION MEASUREMENT

The current trends in the development of energy use metering devices have brought into life digital devices, which, alongside with traditional metering instruments, provide a number of additional features. Among them are the following: correction of the energy use readings, logging function, interaction with metering devices to control the readings through various interfaces (both wired and wireless). These instruments are autonomous devices, working on battery supply of 2–3,5 A of capacity, which can be replaced during the device calibration. The run-time between autonomous power supply replacement periods ranges between 5 and 10 years. The main consumers are microprocessor, measuring circuit and display devices. The power consumption of the microprocessor and the display devices are known from the technical documentation and can be minimized by choosing the optimum operating mode. This paper dwells on the methods for reducing the energy consumption of a measurement system consisting of an optical pair of an emitter (an infrared LED) and a receiver (phototransistor). The characteristics of the system power use at various parameters of the scanning pulse, optical circuits and the components used as measuring circuits in metering energy. Oscillograms of the effects and responses of the optical system are given for different durations and options to reduce energy use. A method for reducing power consumption by reducing the pulse width, which, on the other hand, leads to an increase in the LED current, is considered. Besides, options for restoring waveforms based on amplifiers and comparators with low power consumption are considered.

Optical emitters; metering devices; measuring circuits.

Введение. Повышение эффективности использования и распределения энергоресурсов затронули отрасль жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). В связи с этим возникли задачи контроля и учета потребления энергоресурсов при помощи приборов учета, используя автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов [1, 2]. В современных приборах учета применяют оптически пары излучатель–приемник для измерения количества оборотов совершаемых крыльчаткой под действием потока воды (приборы учета потребления воды) или поступательного движения мембраны для приборов учета газа. Оптические схемы более предпочтительны по сравнению с магнитными, которые измеряют изменения магнитных потоков, так как они менее чувствительны к изменению температурной обстановки, окружающей магнитной обстановке. Хотя и имеют большее энергопотребление по сравнению с магнитными схемами.

Основными потребителями в устройствах учета энергоресурсов выступает микроконтроллер, устройство отображения информации и непосредственная система съема информации потребленных ресурсов. Потребления контроллера можно снизить за счет уменьшения частоты тактирования ядра, управления питанием периферии и непосредственно отключение тактирования ядра микроконтроллера. Потреблением устройством отображения информации так же можно управлять путем уменьшения частоты тактирования. Существуют ЖКИ, которые потребляют 4–20 мкА, что является приемлемым для систем учета энергопотребления.

Потребление оптической системы, работающих как на просвет, так и на отражения, варьируется от 10 до 50 мА [3–5] в режиме непрерывного излучения. Такое потребления является слишком высоким. Этот факт приводит к тому, что необходимо использовать импульсный режим работы системы. При этом длительность импульсов ограничивается как паразитными емкостями системы, так и скоростью рекомбинации носителей в оптическом приемнике. Как будет показано ниже частота съема сигнала зависит как от паразитных емкостях системы, диаграммы направленности системы, так и от тока светодиода и оптоэмиттера. Таким образом, целью работы снижение энергопотребления системы прибора учета потребления энергоресурсов.

Задачей исследования является выбор оптимальной пары излучатель/приемник, которые позволят обеспечить наименьшее суммарное потребление тока, исследование способов снижения энергопотребления для выбранной оптимальной пары.

Основная часть. Для проведения экспериментов использовалась испытательная установка, показанная на (рис. 1). Отладочный макет состоит из базовой платы ODI.DevKit, внешний вид которой представлен на (рис. 2), а так же набора монтажных плат ODI.LedKit (рис. 3). Монтажная плата предназначена для пайки светодиодов, ИК диодов, фотодиодов и фототранзисторов в различных корпусах.

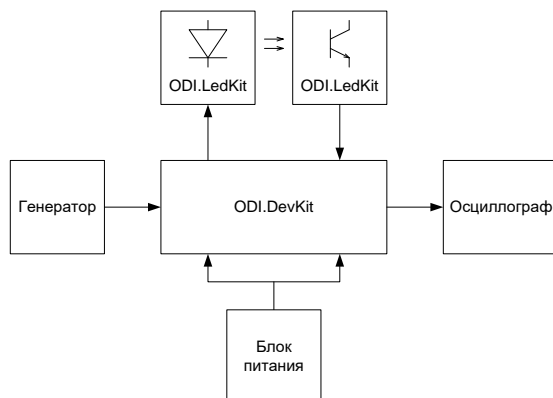


Рис. 1. Схема подключения испытательной установки

Базовая плата имеет КПОМ ключи для коммутации светодиодов и ИК диодов, а так же для формирования выходных логических уровней фотодиодов и фототранзисторов. На каждой из монтажных плат монтируется один из набора светодиодов, ИК диодов, фотодиодов или фототранзисторов, из полученного набора могут формироваться оптические пары для определения их взаимных характеристик (минимальный ток светодиода, обеспечивающий требуемые параметры переключения фототранзистора).

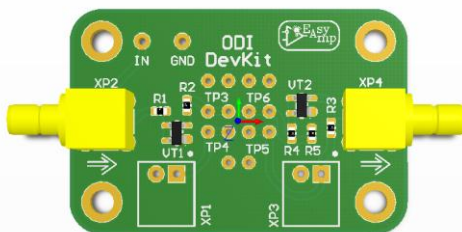


Рис. 2. Внешний вид базовой платы отладочного макета

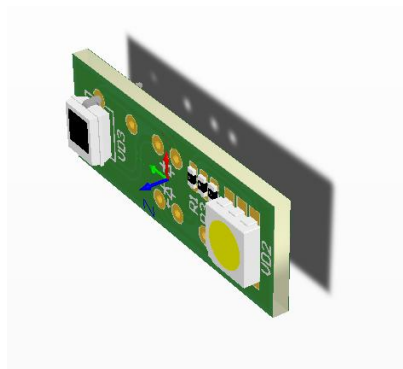


Рис. 3. Монтажная плата отладочного макета в сборе

В качестве пары излучатель/приемники рассматривались следующие компоненты: Излучатель: КР-3216F3 [3], Приемник: ТЕМТ1000 [6]; Излучатель: КМ2520SF4C03 [4]; Приемник: ТЕМТ1000 [6]; Излучатель: SFH4200 [5]; Приемник: КР3216РЗС [7]; Излучатель: SFH4200 [5]; Приемник: ВРW17N [8].

На основе анализа технической документации можно сделать вывод, что оптимальными излучателями будет являться КМ2520SF4C03 или GL100MN1MP [9]. Рассмотрим рис. 4 и 5, где показаны диаграммы, приведенные в технической документации на изделия [4, 9, 18–20].

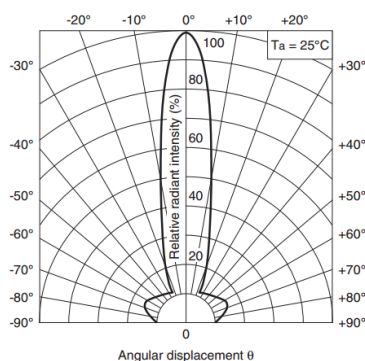


Рис. 4. Диаграмма излучения GL100MN1MP

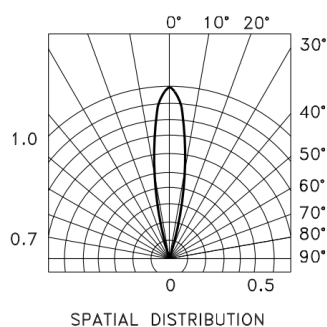


Рис. 5. Диаграмма излучения KM2520SF4C03

Как видно из рисунков, ширина характеристики направленности составляет порядка 8 градусов по уровню 0,7, что в свою очередь обеспечивает высокую мощность потока в направлении фотоприемника. Из этого следует, что для обеспечения требуемого светового потока потребуется меньше прямого тока светодиода и тока протекающего через цепь коллектор-эмиттер фототранзистора, а так же при узкой диаграмме направленности не будет засветок в соседние приемники.

Оптимальными излучателями по теории будут являться ВРW17N или ТЕМТ1000. Во-первых, это связано с тем, что данные излучатели имеют малое время срабатывания (рис. 6 для приемника ТЕМТ1000 [6, 15]), что позволяет фотоприемнику быстрее среагировать на импульс от излучателя, тем сама появляется потенциальная возможность уменьшить длительность импульса через светодиод и соответственно средний ток потребления.

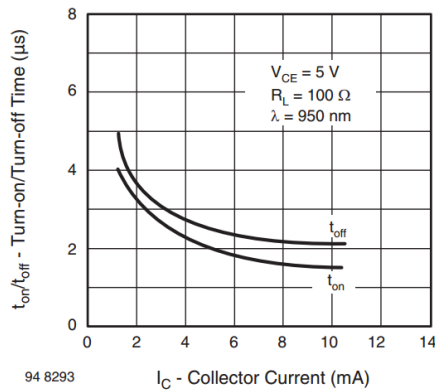


Рис. 6. Время срабатывание фотоприемника ТЕМТ1000 от тока коллектора

Кроме малого времени срабатывания данная пара фотоприемников, согласно технической документации, имеет узкую диаграмму направленности, что позволяет избежать паразитных засветок.

Рассмотрим результаты эксперимента с приведенными выше парами излучатель/приемник. Условия эксперимента были следующие: длительность импульса подаваемого на светодиод: 10 мкс, 50 мкс, 100 мкс; период следования импульсов 10 мс. Результаты эксперимента приведены в табл. 1–4.

Таблица 1

Излучатель: КР-3216F3С; Приемник: ТЕМТ1000

$\tau_{и}, \text{мкс}$	$I_{ср \text{ диод}}, \text{ мкА (Тн = 10 мс)}$	$I_{ср \text{ транзистор}}, \text{ мкА (Тн = 10 мс)}$
10	23,6842	5,1
50	23,9362	11,0
100	46,3918	22,0

Таблица 2

Излучатель: КМ2520SF4С03; Приемник: ТЕМТ1000

$\tau_{и}, \text{мкс}$	$I_{ср \text{ диод}}, \text{ мкА (Тн = 10 мс)}$	$I_{ср \text{ транзистор}}, \text{ мкА (Тн = 10 мс)}$
10	2,9032	4,4
50	10,0000	11,0
100	20,0000	22,0

Таблица 3

Излучатель: SFH4200; Приемник: КР3216P3С

$\tau_{и}, \text{мкс}$	$I_{ср \text{ диод}}, \text{ мкА (Тн = 10 мс)}$	$I_{ср \text{ транзистор}}, \text{ мкА (Тн = 10 мс)}$
10	6,9231	6,5
50	11,3924	11,0
100	22,5000	22,0

Таблица 4

Излучатель: SFH4200; Приемник: BPW17N

τ_{10} , мкс	$I_{ср\ диод}$, мкА (Т _и = 10 мс)	$I_{ср\ транзистор}$, мкА (Т _и = 10 мс)
10	4,5	5,6
50	13,8462	11,0
100	27,6923	22,0

На основании проведенных результатов можно сделать выводы, что наиболее подходящим излучателем с точки зрения энергопотребления является KM2520SF4C03 (или аналогичный по характеристикам излучатель GL100MN1MPx). Данный компонент обеспечивает удовлетворительный уровень сигнала на выходе фотоприемника при меньшем токе, по сравнению с другими излучателями. Кроме того как было описано выше он имеет узкую диаграмму направленности излучателя, что позволяет весь световой поток сконцентрировать в узком луче и не дает засветки для соседних излучателей.

Эксперименты с оптической парой GL100MN1MPx и TEMT1000 дали аналогичные результаты по форме импульса и потреблению, что и пара KM2520SF4C03 / TEMT1000.

Фотоприемники имеют примерно одинаковое энергопотребление, так как оно определяется в основном резистором в цепи эмиттера фототранзистора. Наиболее подходящими являются BPW17N, TEMT1000, так как имеют узкую диаграмму направленности по сравнению с другими фототранзисторами. Из приведенной пары TEMT1000 имеет преимущество, поскольку имеет большее быстродействие по сравнению с BPW17N.

Рассмотрим возможные варианты снижения энергопотребления выбранной оптимальной пары излучатель/приемник. Первое, что вызывает увеличение энергопотребления это затянутый задний фронт прямоугольного импульса наблюдаемый на резисторе в цепи эмиттера фотоприемника рис. 7.

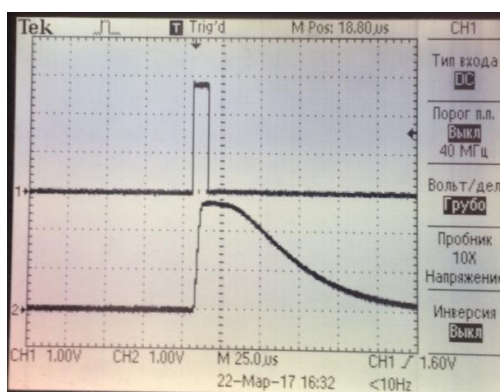


Рис. 7. Затянутый задний фронт импульса на выходе фототранзистора

В данной ситуации энергопотребление оптической пары можно сократить с помощью управления питанием фототранзистора. Данную схему можно реализовать на полевых транзисторах, либо, в целях сокращения количества компонентов, можно использовать выводы МК, поскольку они обеспечивают достаточный ток питания оптопары. Тем самым длительность заднего фронта можно «обрезать» путем выключения питания фототранзистора рис. 8.

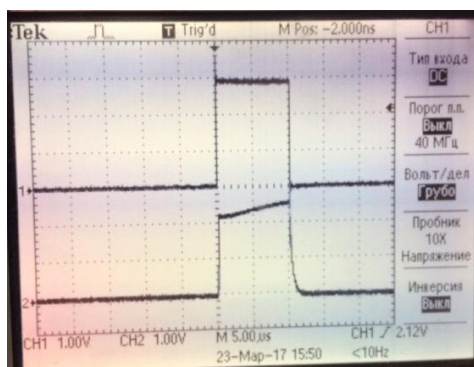


Рис. 8. Сигнал на излучателе и выходе приемника при управлении питанием фототранзистора

Эксперименты выявили проблемы связанные с возникающим переходным процессом в момент подачи питания на фототранзистор. На рис. 8 показан импульс на светодиоде и на выходе приемника демонстрирующий, что можно добиться уменьшения длительности заднего фронта импульса [14, 16, 17]. Однако при включении питания возникает переходной процесс, показанный на рис. 9. Показанный паразитный импульс возникает при подаче питающего напряжения на фототранзистор в отсутствие засветки от светодиода.

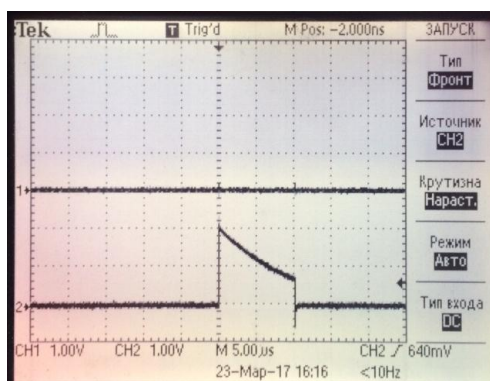


Рис. 9. Сигнал на выходе фототранзистора при коммутировании питания (сигнал излучателя отсутствует)

Данное явление можно объяснить переходным процессом, возникающим в дифференцирующей RC цепочке, которая образуется паразитной емкостью р-п переходов и резистором в цепи эмиттера. В результате данный подход не подходит для практического применения.

Применение усилителя позволяет улучшить отклик фототранзистора и сократить длительность зондирующего импульса. Это позволяет применять резисторы большего номинала в цепи излучателя и приемника [10–13]. На рис. 10 показаны результаты испытаний при длительности импульсов 5 мкс. Основным недостатком данной системы является резкое увеличение энергопотребления усилителей с увеличением полосы пропускания и высоким потреблением около 47 мкА, что полностью нивелирует преимущество.

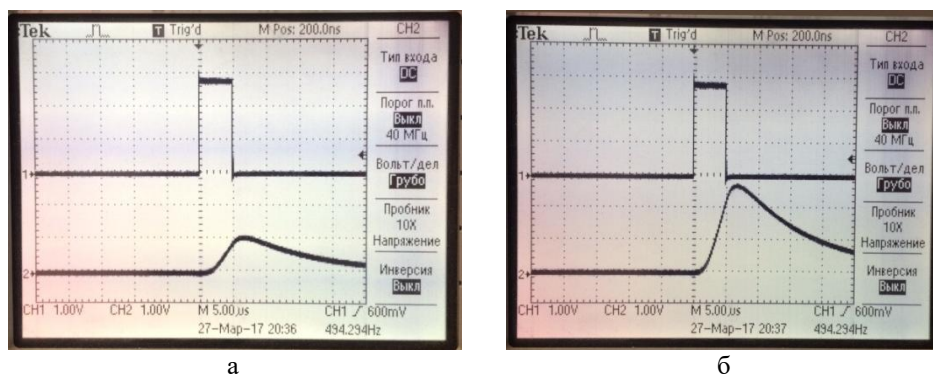


Рис. 10. Отклик фототранзистора при длительности импульса 5 мкс:
а – до усилителя; б – после усиления

Исправить ситуацию могут компараторы с низким энергопотреблением порядка 0,5–10 мкА, с настраиваемым порогом или фиксированным. Это позволяет зафиксировать импульс малой амплитуды, такой как представлен на рис. 10,а. Кроме того возможно применять компараторы входящие в состав микропроцессоров, что упрощает регистрацию импульсов и не приводит к существенному увеличению энергопотребления всего устройства в целом.

Заключение. Рассмотрены основные способы уменьшения энергопотребления оптической системы за счет выбора источников и приемников, уменьшения длительности импульсов, управления питанием фототранзисторов применения усилителей и компараторов. Из рассмотренных вариантов наиболее предпочтительным является использование компараторов, не только из расчетов энергопотребления, но и стоимости малопотребляющих операционных усилителей с требуемой полосой частот. Кроме того можно дополнительно уменьшить энергопотребления излучателей. Для этого их можно соединить последовательно и использовать один источник сигналов для пары излучателей. Удалось добиться среднего потребления измерительной системы 14 мкА.

Результаты исследований, изложенные в данной статье, получены 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 09.04.2010г. Исследования проводились в ФГАОУ ВО ЮФУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жоголко А. Повышение эффективности использования энергоресурсов путем внедрения систем интеллектуального учета. – 2007.
2. Трасов В.В., Якушенков Ю.Г. Тенденции совершенствования элементной базы инфракрасных систем 3-го поколения // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2012. – Т. 55, № 5.
3. Infrared emitting diode KP-3216F3C. – URL: <http://lib.chipdip.ru/195/doc000195243.pdf> (дата обращения 18.04.2017).
4. Infrared emitting diode KM2520SF4C03. – URL: <http://www.mouser.com/ds/2/216/-2323.pdf> (дата обращения 18.04.2017).
5. Leistungsstarke IR-Lumineszenzdiode High Power Infrared Emitter SFH 4200. – URL: http://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Osram%20PDFs/SFH_4200,05.pdf (дата обращения 18.04.2017).

6. Silicon NPN Phototransistor, RoHS Compliant TEMT1000. – URL: <http://www.vishay.com/docs/81554/temt1000.pdf> (дата обращения 18.04.2017).
7. Silicon NPN Phototransistor KP-3216P3C. – URL: <http://lib.chipdip.ru/199/doc000195289.pdf> (дата обращения 18.04.2017).
8. Infrared emitting diode KP256SF4C03. – URL: <http://www.mouser.com/ds/2/216/-2359.pdf> (дата обращения 18.04.2017).
9. Silicon NPN Phototransistor, RoHS Compliant BPW17N. – URL: <http://www.vishay.com/docs/814578/bpw17n.pdf> (дата обращения 18.04.2017).
10. Silicon NPN Phototransistor, GL100MN1MP. – URL: <http://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Sharp%20PDFs/GL100MN1MPx.pdf> (дата обращения 18.04.2017).
11. *Lei B., Hofmann H.* Energy consumption and low power design of optical equipment // *Bell Labs Technical Journal*. – 2010. – Vol. 15, No. 2. – P. 169-174.
12. *Пескин А.* Обзор схем включения и управления современными светодиодами // *Полупроводниковая светотехника*. – 2010. – № 3. – С. 22-24.
13. *Иванов Д.* Операционные усилители с низким энергопотреблением // *Компоненты и технологии*. – 2009. – № 100.
14. *Резников С. и др.* Операционные усилители для экономичных применений // *Компоненты и технологии*. – 2005. – № 49.
15. *Шинкаренко В.Г.* Фототранзистор. Сигнальные и пороговые характеристики // *Электромагнитные волны и электронные системы*. – 2009. – Т. 14, № 7. – С. 40-65.
16. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники: В 2-х томах. – 2010. – № 3. – С. 22-24.
17. *Данилова Т.Н. и др.* Светодиоды на основе твердых растворов GaSb для средней инфракрасной области спектра 1.6–4.4 мкм. Обзор // *Физика и техника полупроводников*. – 2005. – Т. 39, № 11. – С. 1281.
18. *Rogalski A.* Infrared detectors: status and trends // *Progress in quantum electronics*. – 2003. – Vol. 27, No. 2. – P. 59-210.
19. *Бородулин А.* STM8 и STM32—объединенное пространство 8-и 32-разрядных микроконтроллеров // *Компоненты и технологии*. – 2009. – № 99.
20. *Кириченко В.В., Синютин Е.С.* Обзор методов тестирования энергоэффективности микроконтроллеров с ультранизким потреблением для медицинского оборудования // *Ползуновский вестник*. – 2014. – № 2. – С. 212.

REFERENCES

1. Zhogolko A. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya energoresursov putem vnedreniya sistem intellektual'nogo ucheta [Improving the efficiency of energy use through the implementation of smart metering systems], 2007.
2. *Trasov V.V., Yakushenkov Yu.G.* Tendentsii sovershenstvovaniya elementnoy bazy infrakrasnykh sistem 3-go pokoleniya [Trends in the improvement of the element base infrared systems of 3-th generation], *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2012, Vol. 55, No. 5.
3. Infrared emitting diode KP-3216F3C. Available at: <http://lib.chipdip.ru/195/doc000195243.pdf> (accessed 18 April 2017).
4. Infrared emitting diode KM2520SF4C03. Available at: <http://www.mouser.com/ds/2/216/-2323.pdf> (accessed 18 April 2017).
5. Leistungsstarke IR-Lumineszenzdiode High Power Infrared Emitter SFH 4200. Available at: http://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Osram%20PDFs/SFH_4200,05.pdf (accessed 18 April 2017).
6. Silicon NPN Phototransistor, RoHS Compliant TEMT1000. Available at: <http://www.vishay.com/docs/81554/temt1000.pdf> (accessed 18 April 2017).
7. Silicon NPN Phototransistor KP-3216P3C. Available at: <http://lib.chipdip.ru/199/doc000195289.pdf> (accessed 18 April 2017).
8. Infrared emitting diode KP256SF4C03. Available at: <http://www.mouser.com/ds/2/216/-2359.pdf> (accessed 18 April 2017).
9. Silicon NPN Phototransistor, RoHS Compliant BPW17N. Available at: <http://www.vishay.com/docs/814578/bpw17n.pdf> (accessed 18 April 2017).
10. Silicon NPN Phototransistor, GL100MN1MP. Available at: <http://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Sharp%20PDFs/GL100MN1MPx.pdf> (accessed 18 April 2017).

11. *Lei B., Hofmann H.* Energy consumption and low power design of optical equipment *Bell Labs Technical Journal*, 2010 *Vol. 15, No. 26* зз. 169-174.
12. *Peskin A.* Obzor skhem vklyucheniya i upravleniya sovremennymi svetodiodami [An overview of the schemes and the inclusion of modern LEDs], *Poluprovodnikovaya svetotekhnika* [Semiconductor lighting technology], 2010, No. 3, pp. 22-24.
13. *Ivanov D.* Operatsionnye usiliteli s nizkim energopotrebleniem [Operational amplifiers with low power consumption], *Komponenty i mekhnologii* [Components and Technologies], 2009, No. 100.
14. *Reznikov S. i dr.* Operatsionnye usiliteli dlya ekonomichnykh primeneniy [Operational amplifiers are designed for economical applications], *Komponenty i tekhnologii* [Components and Technologies], 2005, No. 49.
15. *Shinkarenko V.G.* Fototranzistor. Signal'nye i porogovye kharakteristiki [A phototransistor. Signal and threshold data], *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy* [Electromagnetic Waves and Electronic Systems.], 2009, Vol. 14, No. 7, pp. 40-65.
16. *Khorovits P., Khill U.* Iskusstvo skhemotekhniki [The art circuitry]: In 2 vols., 2010, No. 3, pp. 22-24.
17. *Danilova T.N. i dr.* Svetodiody na osnove tverdykh rastvorov GaSb dlya sredney infrakrasnoy oblasti spektra 1.6–4.4 mkm. Obzor [Led-based solid solutions GaSb for mid-infrared spectral range 1.6–4.4 μm . Revie], *Fizika i tekhnika poluprovodnikov* [Physics and Technics of Semiconductors], 2005, Vol. 39, No. 11, pp. 1281.
18. *Rogalski A.* Infrared detectors: status and trends, *Progress in quantum electronics*, 2003, Vol. 27, No. 2, pp. 59-210.
19. *Borodulin A.* STM8 i STM32–ob"edinennoe prostranstvo 8-i 32-razryadnykh mikrokontrollerov [STM8 and STM32–joint space 8-and 32-bit microcontrollers], *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies], 2009, No. 99.
20. *Kirienko V.V., Sinyutin E.S.* Obzor metodov testirovaniya energoeffektivnosti mikrokontrollerov s ul'tranizkim potrebleniem dlya meditsinskogo oborudovaniya [Review of methods of testing energy efficiency of microcontrollers with ultra low consumption for medical equipment], *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovskii Herald], 2014, No. 2, pp. 212.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Соколов.

Акользин Антон Николаевич – НТЦ "Техноцентр" Южного Федерального университета; e-mail: anton.akolzin@gmail.com; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634371632; инженер сектора разработки методов и устройств цифровой обработки сигналов.

Ковтун Данил Георгиевич – e-mail: dan-kav@ya.ru; кафедра теоретических основ радиотехники; аспирант

Легин Андрей Алексеевич – e-mail: andrey9199@gmail.com; кафедра теоретических основ радиотехники; аспирант.

Akolzin Anton Nikolaevich – Scientific and Technical Center "Technocenter" of the Southern Federal University; e-mail: anton.akolzin@gmail.com; 2, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634371632; engineer.

Kovtun Danil Georgievich – e-mail: dan-kav@ya.ru; the department of fundamental of radioengineering; postgraduate student.

Legin Andrey Alekseevich – e-mail: andrey9199@gmail.com; the department of fundamental of radioengineering; postgraduate student.