

Олег Пушкарев | o.pushkarev@compel.ru

# Контроль и управление освещением

## при помощи радиомодуля XBee

Разработчики современных светодиодных светильников сталкиваются с необходимостью дистанционной регулировки яркости системы освещения. Одним из простейших вариантов управления светильником является использование готового диммируемого источника питания. В качестве беспроводного канала для удаленного управления можно применить радиомодули XBee, которые способны не только доставлять команды управления, но и объединять множество светильников в сеть для контроля из единого центра. В статье рассматривается практический пример построения управляемого светильника на базе широко распространенных компонентов.

Радиомодули XBee (рис. 1) позволяют реализовать беспроводной канал управления светильником [1] без проведения долгой разработки, связанной с проектированием высокочастотных схем или написанием сложного радиочастотного и сетевого протокола. В настоящий момент устройства доступны в вариантах 2400 МГц с про-

токолами ZigBee, Wi-Fi, 802.15.4 и с протоколом DigiMesh для диапазона 868 МГц. Применение готового XBee-модуля с уже загруженным программным обеспечением позволяет сократить время разработки с 6–12 месяцев до нескольких недель. Разработка ведется большей частью на системном и конструкторском уровнях,

поскольку модуль представляет собой аппаратно законченный и настроенный продукт. Встроенное в радиомодуль XBee программное обеспечение позволяет в автоматическом режиме объединить в ZigBee-сеть сотни светильников, каждый из которых при этом будет иметь индивидуальный адрес. Модули с протоколами ZigBee или DigiMesh дополнительно могут выступать ретрансляторами радиопакетов для тех узлов, которые в силу удаленности и/или препятствий не имеют прямой связи с центральным пультом управления. Встроенные в XBee-модуль интерфейсы GPIO, ADC и PWM можно задействовать для непосредственного подключения к цепям управления светодиодного светильника.

Блок-схема минимальной системы управления приведена на рис. 2а. Этот вариант не требует применения дополнительного микроконтроллера. Плавное регулирование яркости можно осуществлять с помощью встроенного в модуль PWM-интерфейса. Модуль XBee Series 1 содержит два независимых PWM-канала. Ступенчатое регулирование яркости можно производить с помощью цифровых выходов. К устройству можно также подключить аналоговые и цифровые датчики для контроля температуры и других параметров светильника. Данные для управления яркостью должны отправляться с ПК в виде API-пакетов с упорядоченной структурой. Пакет включает в себя 10-битное значение для управления яркостью через PWM-интерфейс модуля и дополнительные бинарные данные для установки цифровых выходов. Управляющий API-пакет отправляется конкретному светильнику по заводскому 64-битному адресу модуля-получателя. Можно также формировать широковещательную рассылку, которая позволяет одной командой производить групповое изменение яркости всех объединенных в сеть светильников. Для считывания каких-либо параметров со светильника формируется адресный запрос (API-пакет), в ответ на который модуль-получатель возвращает состояние цифровых входов, значение АЦП, напряжение питания или собственную температуру. Расшифровку и правила формирования API-пакетов можно найти в документации на модули XBee [2]. Даже при такой простой схеме включения можно получить надежно работающую систему с защищенным каналом связи (AES-128) и хорошим набором сервисных функций, например с удаленным тестированием качества радиосвязи

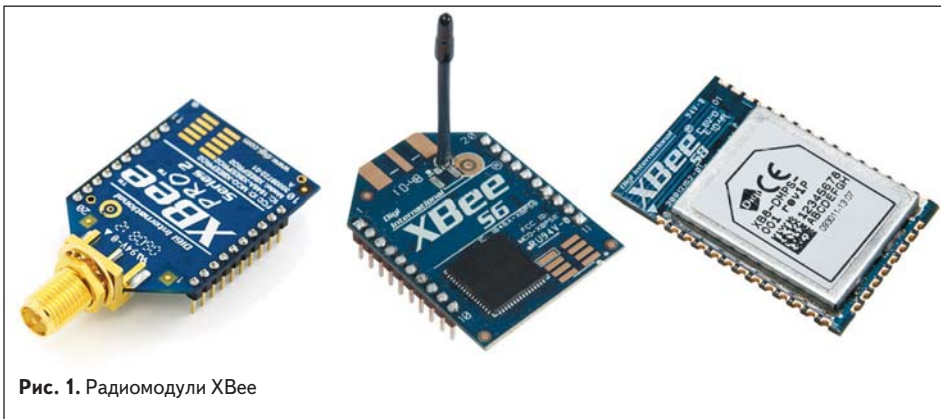


Рис. 1. Радиомодули XBee

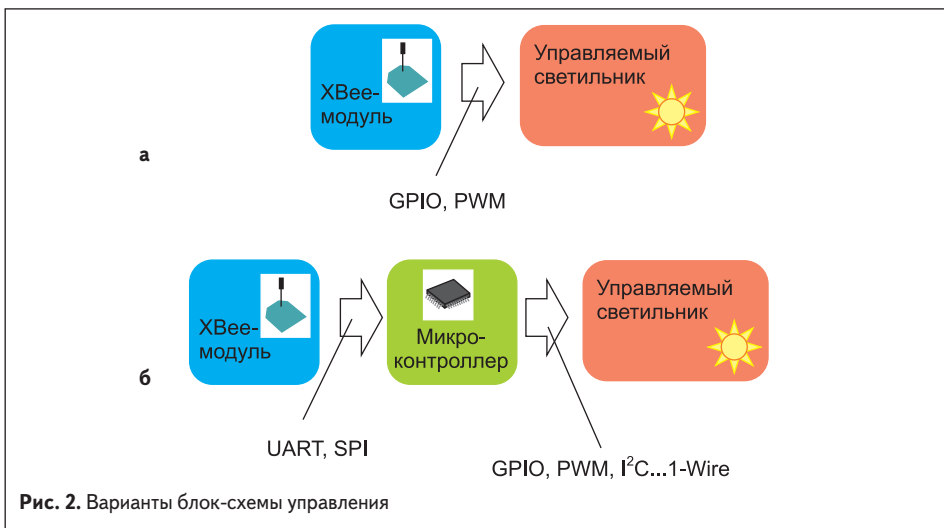


Рис. 2. Варианты блок-схемы управления

и считыванием параметров светильника через имеющиеся на борту модуля АЦП и цифровые входы. Данной системе, однако, присущи и определенные недостатки, а именно:

1. При использовании PWM для управления яркостью необходимым условием является способность блока питания работать с фиксированной частотой ШИМ-модуля (~12 кГц). Многие блоки питания требуют управляющий ШИМ с частотой не более 3 кГц.
2. Ограниченное количество PWM-выходов (максимум два) не позволяет реализовать управление по трем цветовым каналам (RGB).
3. Необходимо учитывать вопросы согласования уровней, так как вся периферия модуля рассчитана на работу с уровнями 3,3 В.
4. Модуль не может напрямую подключаться к широко распространенным цифровым датчикам температуры, работающим по протоколам 1-Wire или I<sup>2</sup>C.

Большее возможностей можно получить, если реализовать блок-схему управления светильником, изображенную на рис. 26. В данной системе дополнительный микроконтроллер (МК) берет на себя функции управления нагрузкой, а XBee выступает только как канал доставки управляющих команд. Объем памяти и количество периферии микроконтроллера можно выбрать, исходя из требований к набору функций конкретной системы освещения. В большинстве случаев будет достаточно ресурсов даже младших моделей из 8–32-битных линеек популярных производителей МК со стоимостью 20–60 руб. (STM, TI, Microchip и др.). В качестве центрального пульта управления выступает ПК с подключенным к нему

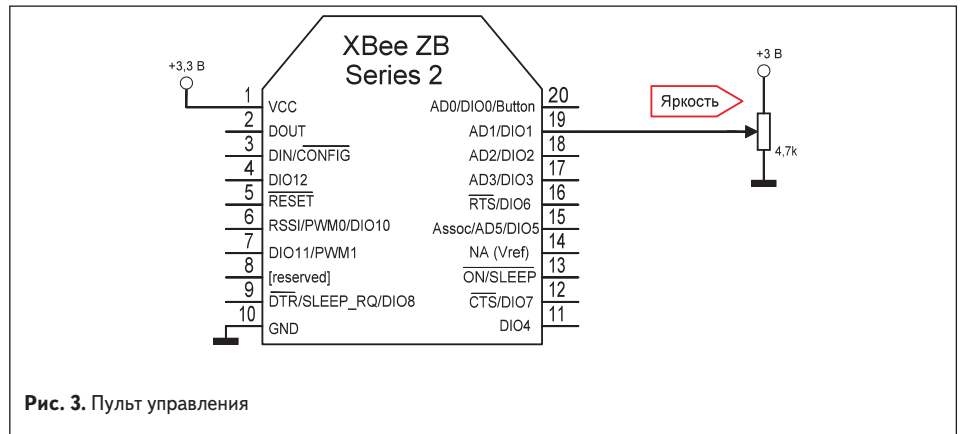


Рис. 3. Пульт управления

XBee-модулем. Подключение осуществляется с помощью переходной платы, которая требуется только для согласования уровней с USB или COM-портом ПК. Можно также использовать готовый ZigBee-адаптер [3].

Рассмотрим практическую реализацию системы управления, построенную с применением микроконтроллера по блок-схеме рис. 26. Устройство состоит из двух частей — пульта управления и радиоуправляемого светильника.

В качестве пульта управления используется модуль, работающий автономно, т. е. не подключенный к ПК или управляющему МК (рис. 3). В XBee встроен функционал автоматической периодической отправки значений АЦП и цифровых входов на заранее запрограммированный 64-битный адрес получателя. Отправляемые значения АЦП (диапазон 0–1023) предназначены для управления яркостью светодиодной лампы. Отправка команд каждые 50 мс позволяет плавно изменять яркость в реальном времени. Это мак-

симальная частота, с которой модули XBee Series 2 в принципе способны отправлять радиопакеты (20 Гц). Используя модули XBee Series 1 (802.15.4) можно повысить частоту отправки примерно до 50 Гц и более, однако в этом случае объединить модули в сеть возможно только по топологии «звезда» (т. е. без ретрансляций).

Схема прототипа беспроводного светодиодного светильника приведена на рис. 4. В качестве объекта управления выбран диммируемый блок питания (БП) HLP-40H-36 [4], который в экспериментальных целях может быть подключен, например, к девяти последовательно соединенным светодиодным лампам C20-AL-1XPE-CW-E03 с суммарной мощностью 27 Вт. Максимальный ток, отдаваемый БП, достигает 750 мА. БП имеет вход управления, на который можно подавать ШИМ-сигнал с частотой не более 3 кГц или постоянное напряжение 1–10 В. Вход управления позволяет регулировать выходной ток в широких пределах, однако

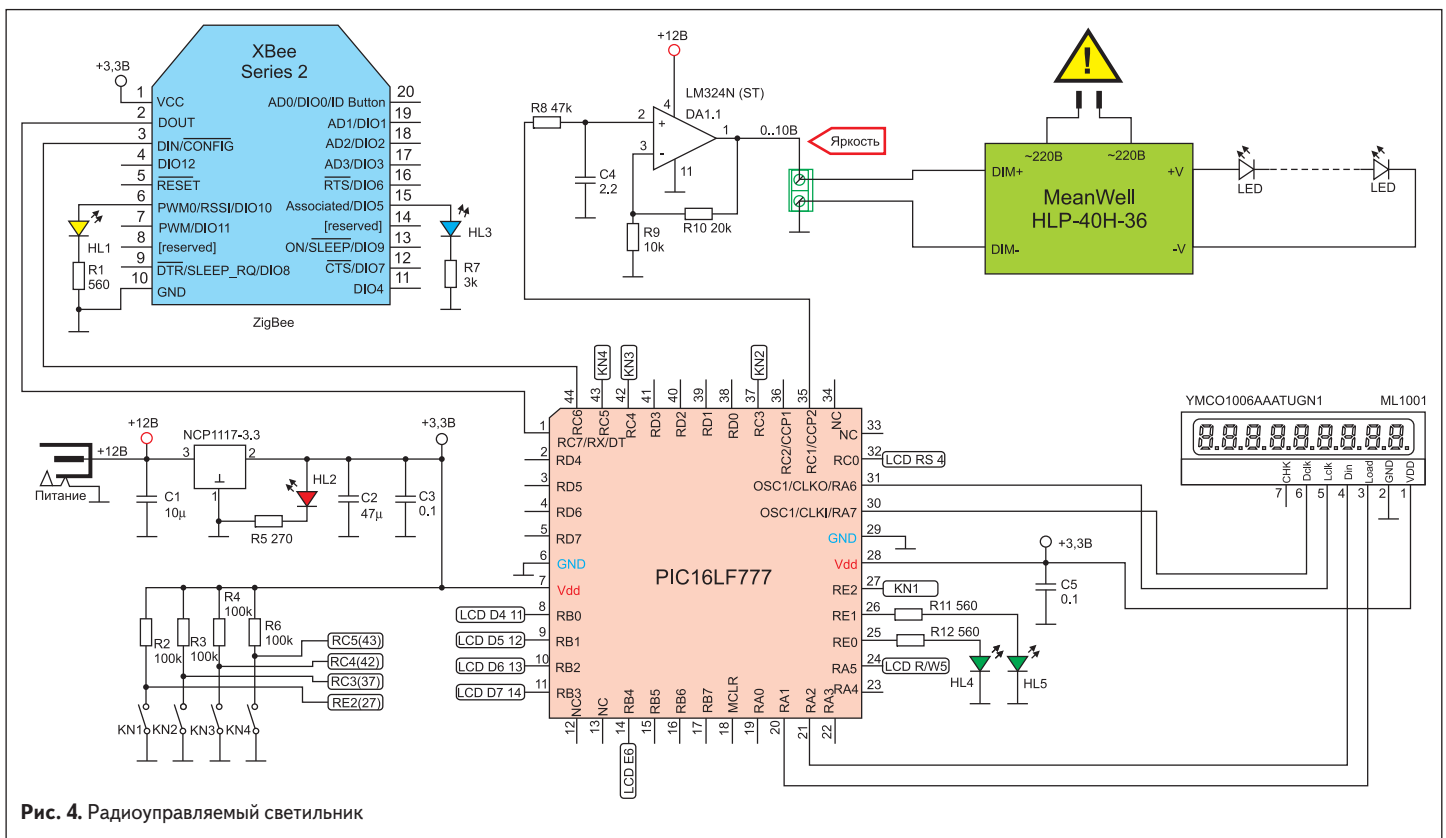
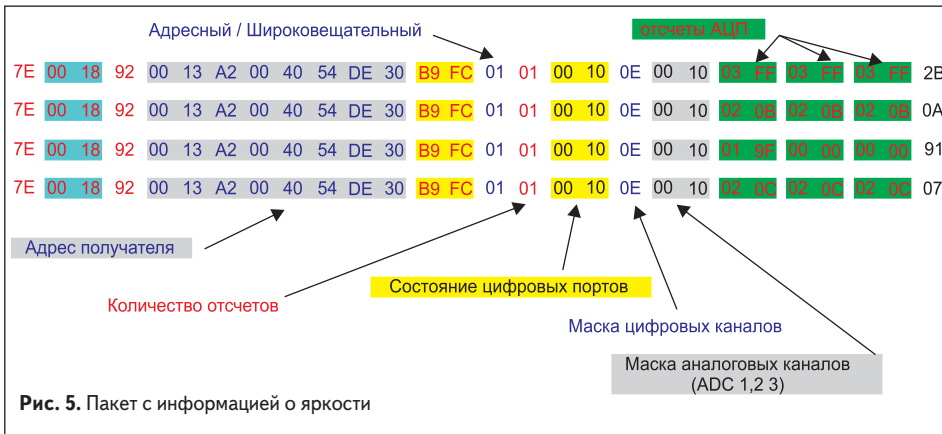


Рис. 4. Радиоуправляемый светильник



он не предназначен для полного отключения нагрузки. При подаче на управляющий вход напряжения 0,5 В выходной ток составляет примерно 50 мА, однако при дальнейшем снижении напряжения происходит скачкообразное падение яркости. При плавном повышении напряжения от 0 В лампа загорается скачком,

когда напряжение на управляющем входе достигает примерно 0,6 В. Управляющий ток не превышает единиц микроампер, однако на висящем в воздухе входе управления присутствует напряжение +10 В. Все это следует учитывать при сопряжении БП со схемой управления.



Принятая XBee-модулем команда управления выдается через UART в виде API-пакета (рис. 5). Из этого пакета МК извлекает два байта уровня яркости и использует их для установки скважности PWM-выхода. Формируемый ШИМ-сигнал имеет установленную программно фиксированную частоту 2 кГц (может варьироваться в широких пределах). В принципе, подключенный БП поддерживает ШИМ-управление, однако с целью охвата большего количества используемых в различных БП интерфейсов применено управление яркостью с помощью интерфейса 0–10 В. Источником изменяемого напряжения является PWM-выход микроконтроллера, поданный через интегрирующий фильтр на вход операционного усилителя. Последний нужен для согласования уровней и представляет собой классический неинвертирующий усилитель с  $K_{uc} = 3$ .

В качестве управляющего микроконтроллера использован PIC16LF777 (только потому, что он оказался под рукой). Никаких специальных требований к микроконтроллеру наша схема не предъявляет, однако наличие аппаратных UART и PWM облегчает работу программисту. Использованный МК имеет три канала PWM, что позволит, при необходимости, реализовать управление полноцветным RGB-светильником для художественной подсветки зданий. В опробованном на практике прототипе (рис. 6) был задействован только один канал управления яркостью. Устройство подтвердило полную работоспособность заложенных идей и потребовало одной недели рабочего времени на все этапы — от зарождения идеи до тестирования прототипа, включая и время на подготовку данной статьи. ●

## Литература

1. Пушкарев О. И. В городе Сочи светлые ночи... // Новости электроники + Светотехника. 2012. № 2.
2. [www.digi.com](http://www.digi.com)
3. Пушкарев О. И. Построение ZigBee-сети на базе готовых устройств компании Digi // Беспроводные технологии. 2011. № 3.
4. [www.compel.ru](http://www.compel.ru)
5. <http://youtu.be/ciseWc6PYuk>.