

УДК 621.38

РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИЛАД ПОТУЖНОСТІ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ ОПТИКО-ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ZigBee**М. В. Деундяк, О. В. Осадчук**

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна. E-mail: marynadeundiak@gmail.com

У телекомунікаціях, зв'язку, технологічних процесах часто виникає потреба вимірювання потужності оптичного випромінювання від об'єкта. Для задоволення цієї потреби запропоновано новий високочутливий та точний засіб для перетворення оптичного випромінювання в частотний сигнал з подальшою його обробкою і виведенням на екран приладу. Для цього проведено аналіз існуючих безпроводних стандартів з вибором найбільш придатного для побудови вимірювальної мережі на основі оптико-частотного перетворювача. Крім того, спроектований радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання та отримано його основні характеристики в порівнянні з відомими.

Ключові слова: технологія ZigBee, радіовимірювальний прилад, потужність оптичного випромінювання, оптико-частотний перетворювач.

РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР МОЩНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОПТИКО-ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ТЕХНОЛОГИИ ZigBee**М. В. Деундяк, А. В. Осадчук**

Вінницький національний технічний університет

ул. Хмельницькое шоссе, 95, м. Винница, 21021, Украина. E-mail: marynadeundiak@gmail.com

В телекоммуникациях, связи, технологических процессах часто возникает необходимость измерения мощности оптического излучения от объекта. Для удовлетворения этой потребности предложен новый высокочувствительный и точный способ для преобразования оптического излучения в частотный сигнал с последующей его обработкой и выводом на экран прибора. Проведен анализ существующих беспроводных стандартов с выбором наиболее подходящего для построения измерительной сети на основе оптико-частотного преобразователя. Кроме того, спроектирован радиоизмерительный прибор мощности оптического излучения и получены его основные характеристики в сравнении с известными.

Ключевые слова: технология ZigBee, радиоизмерительный прибор, мощность оптического излучения, оптико-частотный преобразователь.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Проблема створення системи уніфікованих радіовимірювальних приладів на основі оптико-частотних перетворювачів з високими метрологічними характеристиками та вихідним сигналом, який можна перетворити у форму коду з незначними похибками, є актуальною.

Мета роботи – підвищення чутливості, точності вимірювання потужності оптичного випромінювання за рахунок розробки і застосування радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання на основі оптико-частотного перетворювача та безпроводної технології. Наукова новизна роботи полягає в новому підході для вимірювання потужності оптичного випромінювання на основі реактивних властивостей транзисторних структур.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Швидке зростання мікропроцесорних технологій, постійне зниження вартості безпроводних рішень і покращення їх експлуатаційних характеристик дозволяє відмовитися від дровових мереж в інформаційно-вимірювальних системах. Бездротові мережі відрізняються більш гнучкою архітектурою, потребують менше витрат під час їх установки та обслуговування. Важливим аспектом є стандартизація протоколу передачі даних, що робить вимірювальну систему відкритою і сумісною з іншими приладами.

З 2004 року для високонадійних, рентабельних, енергоекономічних бездротових систем використовується ZigBee на основі механізму передачі даних IEEE 802.15.4 [1].

Крім вищезгаданої технології, нині поширені такі три види стандартів для побудови бездротових вимірювальних мереж [2]: IEEE 802.11 – Wireless Local Area Network (WLAN – бездротові локальні вимірювальні мережі); IEEE 802.15 – Wireless Personal Area Network (WPAN – бездротові персональні вимірювальні мережі); IEEE 802.16 – Broadband Wireless Local Access (WLAN – бездротовий ширококутний доступ). Проте, деякі WPAN-мережі можуть працювати на дальності до 100 м (ZigBee, Bluetooth).

Першим стандартом, здатним реалізовувати такі задачі, став IEEE 802.15.1. Стандарт базується на специфікації Bluetooth v1.x і визначає фізичний рівень (PHY layer) і рівень доступу до середовища (MAC layer). Далі було створено стандарт, який забезпечує взаємодію пристроїв класів 802.11 і 802.15. Коли виникла потреба в створенні стандарту, який би дозволив створити бездротовий канал даних з пропусковим здатністю в десятки і сотні Мбіт/с, був розроблений IEEE 802.15.3 [4].

Всі вищезазначені стандарти дуже добре підходять для передачі великих об'ємів інформації (голоси, дані, відео) з великою швидкістю (від 1 до 200 Мбіт/с). Прилади на їх основі можуть працювати в автономному режимі (від батарей і акумуляторів) на дальності від 10 до 100 м. Ці стандарти дозволяють замінити дровові з'єднання в приладах, з якими ми працюємо кожен день (комп'ютери, вимірювальні мережі).

Однак існує велика кількість специфічних систем (різні давачі, системи збору інформації та ін.) в яких неможливо зі стовідсотковою ефективністю використовувати вищезгадані технології. Саме для реалізації таких задач був створений IEEE 802.15.4 (ZigBee) для низькошвидкісних WPAN-мереж. Вочевидь, що бездротові мережі короткого радіуса дії будуть взаємодіяти між собою.

Порівняльні характеристики стандартів класу 802.15 та 802.11b наведено в табл. 1 [5], з яких видно, що близькими є технології ZigBee і Bluetooth. Відповідно до області їхнього застосування також є подібними бездротові прилади домашнього та промислового призначення, включаючи системи дистанційного управління і комп'ютерну периферію та ін. Однак, на відміну від Bluetooth, ZigBee розроблено для приладів, ключовою вимогою до яких є низьке енергоспоживання. Періоди активності приладів, виконаних за технологією ZigBee, можуть бути дуже малими, що забезпечує тривалий термін служби батарей. Крім того, стандарти Wi-Fi і Bluetooth значно дорожчі для організації на їхній основі великих мереж різних приладів у масштабах підприємства, а стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) дозволяє розробляти бездротові інтерфейси з мінімальними затратами, що забезпечується простотою схемотехніки, мінімальною кількістю зовнішніх пасивних елементів, програмним забезпеченням стека, що високоефективно використовує відведений під нього об'єм пам'яті (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння стандартів бездротових технологій

Стандарт	802.15.4 ZigBee		802.15.1 Bluetooth	802.11b Wi-Fi
Застосування	Моніторинг, управління, мережі давачів, домашня, промислова автоматика		Голос, дані, заміна дротів	Дані, відео, LAN
Переваги	Ціна, енергозбереження, розміри мережі	глобальний діапазон	Ціна, енергозбереження, передача голосу, перескоки частоти	Швидкість, гнучкість
	менш завантажені діапазони			
Частота, ГГц	0,868	0,915	2,4	2,4; 5
Макс. швидкість	20 Кбіт/с	40 Кбіт/с	250 Кбіт/с	11 Мбіт/с
Вих. потужність, дБм	0		0 (клас 3) 4 (клас 2) 20 (клас 1)	20
Дальність, м	10–100		10 (клас 3) 100 (клас 1)	100
Чутливість, дБм	-92	-85	-70	-76
Строк служби батареї, днів	100–100+		1–7	0,5–5
Розмір мережі	65536 (16-бітні адреси), 2 ⁵⁴ (64-бітні адреси),		мастер +7	32

Стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) дозволяє створювати мережі з багатокомірковою топологією, обслуговуючи ще більшу кількість вузлів – так збільшується дальність зв'язку без додаткових витрат на підсилення потужності.

Технологія ZigBee призначена для передачі великих об'ємів інформації як Wi-Fi чи Bluetooth. Однак

для передачі, наприклад, даних із здавачів, об'єм яких не перевищує десятків байт, не потребує високих швидкостей – в цьому випадку обов'язковими є високі показники за енергоспоживанням, ціною і надійністю. Більшість приладів ZigBee будуть працювати за таким алгоритмом: прилад знаходиться в «сплячому» стані весь час, забезпечуючи оптимальний режим енергоспоживання. Типові часові затримки при цьому складають 30 мс для підключення нового пристрою до мережі, 15 мс для переходу із «сплячого» стану в активний, 15 мс для доступу в канал. Так можна продовжити строк служби батареї до 10 років або більше залежно від типу вимірювальної системи і тривалості робочого циклу, при чому струм при передачі складає приблизно 15–30 мА, а в «сплячому» режимі – 2 мкА.

Стандарт IEEE 802.15.4 для бездротових низькошвидкісних персональних вимірювальних мереж (WPAN) визначає фізичний рівень РНУ і рівень доступу до середовища MAC [6]. Рівень РНУ забезпечує доступ до фізичного середовища поширення радіосигналу: задає тип модуляції, швидкість та інші параметри сигналу, безпосередньо виконує прийом і передачу. Рівень MAC здійснює додавання і видалення з мережі пристроїв, контролює доставку пакетів даних, забезпечує автоматичне підтвердження прийому даних, реалізує механізми доступу до каналу передачі, підтримує 128-бітне AES-шифрування та інші функції. Специфікація стеку ZigBee визначає мережевий рівень, рівень безпеки і доступу до вимірювальної системи і може використовуватися разом із системами на базі стандарту IEEE 802.15.4 для забезпечення сумісності пристроїв. Ключові функції РНУ рівня включають в себе контроль енергії, якості зв'язку, аналіз каналів [4].

Доступ до середовища здійснюється в частотних діапазонах ISM (Industrial, Scientific and Medical діапазони 900–929 МГц та 2,4–2,4835 ГГц), фізичний рівень використовує двійкову фазову маніпуляцію (BPSK) на частотах 868/915 МГц і офсетну квадратурну фазову маніпуляцію зі зміщенням (O-QPSK) на частоті 2,4 ГГц. Для доступу до каналу використовується механізм множинного доступу до середовища з контролем несучої і попередженням колізій (CSMA-CA). Даний механізм базується на визначенні стану каналу зв'язку перед початком передачі дозволяє суттєво скоротити зіткнення, які викликані передачею даних одночасно декількома пристроями. Стандарт IEEE 802.15.4 заснований на напівдуплексній передачі даних (пристрій може або приймати або передавати дані), що дозволяє використовувати метод CSMA-CA тільки для попередження колізій, а не для їх виявлення.

Дальність поширення сигналу зазвичай складає 30–50 м, однак при використанні зовнішніх підсилювачів потужності, малошумлячих підсилювачів та узгодженої антени дальність може скласти 100 м, без суттєвих втрат в швидкості. Для ZigBee про дальність може становити 1500 м, але це потребує встановлення окремого обладнання, що збільшує вартість приладу. Пропускна здатність напряму залежить від обраної частоти.

Максимальна швидкість передачі, рівна 250 КБіт/с досягається в діапазоні 2,4 ГГц (16 каналів з кроком 5 МГц). Для частот 868 МГц (1 канал) і 902–928 МГц (10 каналів з кроком 2МГц) швидкості передачі рівні відповідно 20 КБіт/с і 40 КБіт/с (рис. 1).

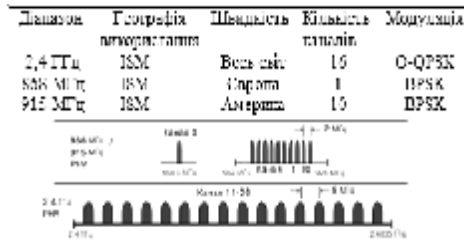


Рисунок 1 – Коротка характеристика стандарту IEEE 802.15.4

Одним з небагатьох недоліків діапазону 2,4 ГГц є певна насиченість його спектру абонентами різного походження (мікрохвильові печі, бездротові телефони на частотах 2,4 ГГц, Bluetooth та 802.lib). Перевага субгігагерцових діапазонів полягає в меншій насиченості і дещо збільшеній довжині передачі при рівних умовах при зіставленні з діапазоном 2,4 ГГц. Однією з основних переваг стандарту IEEE 802.15.4 є простота установки і обслуговування подібних пристроїв. Вартість вимірювальних систем на основі стандарту ZigBee/802.15.4 нижча за вартість Bluetooth починається з 40 грн. і знижується до 16 грн. (до ціни входить мікроконтролер, радіотрансівер, програмний стек). Однак все залежить від переліку елементів схеми.

Враховуючи все вищезгадане доцільно буде спроектувати прилад для вимірювання потужності оптичного випромінювання (рис. 2) з використанням пристроїв стандарту IEEE 802.15.4. Центральні частоти каналів при цьому будуть визначатися за формулою:

$$F_c = (2405 + (k - 11)), \text{ МГц}, \quad (1)$$

де $k = 11, 12 \dots 26$. Так визначимо центральні частоти кожного з шістнадцяти каналів:

$$F_1 = 2405, F_2 = 2410, F_3 = 2415, F_4 = 2420, \\ F_5 = 2425, F_6 = 2430, F_7 = 2435, F_8 = 2440, F_9 = 2445, \\ F_{10} = 2450, F_{11} = 2455, F_{12} = 2460, F_{13} = 2465, \\ F_{14} = 2470, F_{15} = 2475, F_{16} = 2480 \text{ МГц.}$$

Радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання, на сучасному етапі, повинен бути реалізований на основі мікроконтролера. Процес його реалізації складається з таких етапів: апаратне забезпечення; програмування і прошивка мікроконтролера; програмне забезпечення для персонального комп'ютера. Таким чином, основними частинами радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання буде оптико-частотний перетворювач, що складається з піроелектричного чутливого елемента та частотного перетворювача, частотомір на основі мікроконтролера, перетворювач рівня для інтерфейсу RS-232, перетворювач ін-

терфейсу USB-RS232. Основне завдання мікроконтролера – підрахунок імпульсів з оптико-частотного перетворювача по команді ПК і передача їх по інтерфейсу RS232. Робоча частота мікроконтролера задається кварцовим резонатором 8 МГц.

Для підключення мікроконтролера до ПК по послідовному інтерфейсу використовується спеціалізована схема на двох транзисторах. Для передачі даних використовується вбудований в мікроконтролер апаратний USART (універсальний синхронно-асинхронний приймач–передавач).

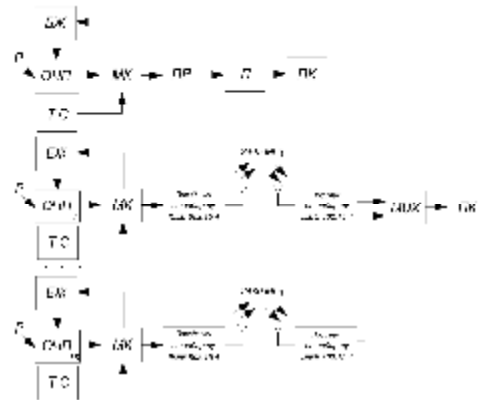


Рисунок 2 – Радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання

На схемі використано такі позначення: Р – потужність оптичного випромінювання; ЧЕ – чутливий елемент у вигляді піроелектричного кристалу, ОЧП – оптико-частотний перетворювач, МК – мікроконтролер, ПР – перетворювач рівня для інтерфейсу RS-232, П – перетворювач інтерфейсу USB-RS232, МУХ – мультиплексор; ПК – персональний комп'ютер. Також в радіовимірювальному приладі для вимірювання потужності оптичного випромінювання використано передавач і приймач стандарту IEEE 802.15.4 на частоті 2,4 ГГц за допомогою яких сигнал передається по радіоканалу і приймається в іншій частині простору, що дозволяє вимірювати потужність оптичного випромінювання в декількох віддалених місцях одночасно і спостерігати її на дисплеї (рис. 3) персонального комп'ютера та зберігати виміряну інформацію у файл.

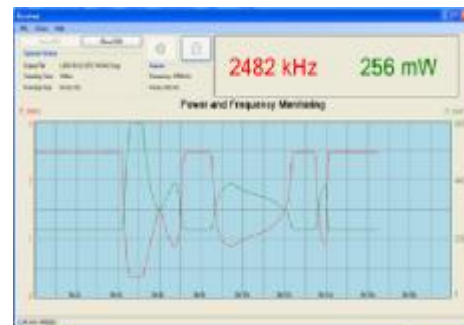


Рисунок 3 – Програмне забезпечення радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання

Програмна частина має такі переваги: можливість налаштування інтервалів читання даних; перегляд в реальному часі графіків; запис, збереження і відкриття даних; режим статичного читання, можливість друку результатів і графіків; можливість ручного управління послідовною передачею даних. В основному циклі програми здійснюється прийом даних від комп'ютера по послідовному порту. Параметри послідовного порту: швидкість передачі даних 19200, 8 байт даних, без перевірки парності, 1 стоп-біт.

Основні особливості радіовимірювального приладу потужності оптичного випромінювання це покращена точність і чутливість за рахунок використання оптико-частотного перетворювача; інтеграція з USB виводом персонального комп'ютера; живлення від ПК; зберігання вимірюваних даних у спеціальний файл баз даних; передача інформативного сигналу на відстань, що дозволяє повністю виключити похибку оператора при вимірюваннях.

Таблиця 2 – Характеристики радіовимірювальних оптичних приладів

Характеристики радіовимірювальних оптичних приладів	Вимірювач оптичної потужності Yokogawa (ANDO) AQ2160-01	Вимірювач потужності Haktronics Photom 591	Мультиметр оптичний Haktronics Photom 230/235	Тестер оптичний «Рубин-021»	Радіовимірювальний прилад потужності оптичного випромінювання
Чутливість, мВ/мВт	-33 дБм	-26 дБм;	-33 дБм	-33 дБм	9,6 кГц/мВт
Діапазон вимірюваних потужностей, мВт	$10^{-7} - 3,2$	$10^{-8} - 10$	$10^{-7} - 3$	$10^{-7} - 2$	$10^{-7} - 10^{-6}$
Діапазон робочих довжин хвиль, нм	750-1700	900-1650	820-1550	1250-1700	1-15 мкм
Границі допустимої похибки, %	5	5	5	10	4,5
Точність, мВт	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-6}
Споживана потужність, мВт	120	150	150	120	10
Робочий діапазон частот, Гц	270, $2 \cdot 10^3$	270, 10^3 , $2 \cdot 10^3$	270, $2 \cdot 10^3$	270, 10^3 , $2 \cdot 10^3$	$10^3 - 10^9$

RADIOMEASURING DEVICE OF OPTICAL POWER BASED ON OPTICAL-FREQUENCY CONVERTER AND ZigBee TECHNOLOGY

M. Deundyak, A. Osadchuk

Vinnitsa National Technical University

vul. Khmelnytsky Shosse, 95, Vinnitsa, 21021, Ukraine. E-mail: marynadeundiak@gmail.com

In the article existing wireless standards are analyzed. It is chosen Zigbee technology for creating an optical power radiomeasuring device, which allows carrying out measurement of optical power in different points simultaneously. The offered optical power radiomeasuring device has better sensitivity, wider range, lower errors, greater accuracy, and wider operating frequency range. The basic elements of this device are: optical-frequency converter, microcontroller, cymometer, transducers RS-232 and USB-RS232. Our device allows for signal distant transmission. That is why we can use it in measuring of the optical power in telecommunications, communications, and industrial processes.

Key words: ZigBee technology, radiomeasuring device, optical radiation power, optical frequency converter.

REFERENCES

1. Access mode: <http://www.zigbee.org/About/AboutAlliance.aspx>.
2. Barash L. *Mnogoobrazie standartov besprovodnykh technologii* // Computer Review. – 2003. – № 10 (379). [in Russian]
3. Standards for technology and (wireless systems) // *Electronic Components*. – 2003. – № 5. – PP. 79–83. [in Russian]

4. Access mode: www.wireless.ru.
5. Access mode: www.instat.com.
6. Access mode: <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG4.html>

Стаття надійшла 29.05.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Гученком М.І.