

## **ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ РОЗРОБКИ ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**УДК 621.382.2/.3**

*Пушак А. С.,*

*andriy.pushak@gmail.com, ORCID ID:0000-0003-4235-9639,*

*к. фіз.-мат. н., доц., доцент кафедри природничих наук та захисту навколишнього середовища, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів, доцент кафедри прикладної математики і фізики, Українська академія друкарства, м. Львів*

*Вістовський В. В.,*

*vistvv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2257-8834, Researcher ID: F-6388-2019,*

*д. фіз.-мат. н., доц., професор кафедри експериментальної фізики, Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів*

*Жишкович А. В.,*

*andrew-lviv@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-5087-4871, Researcher ID: L-8586-2019,*

*к. фіз.-мат. н., старший науковий співробітник кафедри експериментальної фізики, Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів*

### **ЧАСТОТОМІР ЕЛЕКТРИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНОГО МІКРОКОНТРОЛЕРА**

**Анотація.** Сучасні електронні пристрої, які використовуються у різних галузях науки і техніки, здебільшого містять інтегральні схеми, що підвищує надійність приладу та знижує його вартість порівняно з використанням дискретних напівпровідникових елементів. Окрім цього, зменшення розмірів і ваги пристрою розширює межі його практичного застосування. Різноманітні інтегральні схеми на сьогодні випускаються такими компаніями, як Microchip, On Semiconductor, Texas Instrument, Analog Device, Linear Technology, та багатьма іншими, які є лідерами на світовому ринку. Одними з інтегральних мікросхем, які здатні виконувати різноманітні функції, є мікроконтролери. Сьогодні стрімко розвиваються інформаційні і комп'ютерні технології, що дозволяє створювати автоматизовані технологічні лінії, якими можна керувати з допомогою комп'ютера. Одним з вузлів, що забезпечує взаємозв'язок комп'ютера з периферійним пристроєм, є мікроконтролер. Для використання мікроконтролера у вузлах електроніки необхідно написати програмний код для реалізації тієї чи іншої задачі. Програмне налаштування параметрів мікроконтролера дозволяє керувати функцією відповідного пристрою без зміни параметрів електричної схеми, що є важливим фактором надійності пристрою в цілому. Одним із можливих застосувань мікроконтролерів є автоматизація фізичного експерименту, що дозволяє проводити вимірювання фізичних величин і передавати дані на комп'ютер. Як приклад, галузь оптичної спектроскопії потребує великої кількості вимірювань інтенсивності світла у відповідній спектральній області з одночасною передачею даних на комп'ютер. Тобто вимірювання інтенсивності світла супроводжується вимірюванням кількості квантів світла на певній довжині хвилі за одиницю часу. В даній роботі розроблено схему частотоміра електричних імпульсів на базі мікроконтролера PIC16F876A для спектроскопічних вимірювань. Для написання програмного коду використано середовище MPLAB 4.1, розроблене компанією Microchip. Для реалізації алгоритму роботи частотоміра використано два модулі timer0 і timer1 мікроконтролера PIC16F876A. Максимальна частота імпульсів, яка може бути коректно виміряна даним частотоміром, - 4МГц.

**Ключові слова:** мікроконтролер, таймер, частотомір, переривання, регістр керування, програмування мікроконтролерів.

*Pushak A. S.,*

*andriy.pushak@gmail.com, ORCID ID:0000-0003-4235-9639,*

*Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of Department of Natural Sciences and Environmental Protection, Lviv University of Trade and Economics, Lviv, Associate Professor of Department of Applied Mathematics and Physics, Ukrainian Academy of Printing, Lviv*

Vistovsky V. V.,

vistvv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2257-8834, Researcher ID: F-6388-2019,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Experimental Physics, Ivan Franko National University of Lviv, Lviv

Zhyshkovych A. V.,

andrew-lviv@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-5087-4871, Researcher ID: L-8586-2019,

Ph.D., Senior Researcher, Department of Experimental Physics, Ivan Franko National University of Lviv, Lviv

## **FREQUENCY METER OF ELECTRICAL PULSES BASED ON A PROGRAMMABLE MICROCONTROLLER**

**Abstract.** Modern electronic devices that are used in various fields of science and technology mostly contain integrated circuits, which increases the reliability of the device and reduces its cost compared to the use of discrete semiconductor elements. Besides, reducing the size and weight of the device extends the limits of its practical application. Nowadays the variety of integrated circuits are produced by such companies as Microchip, On Semiconductor, Texas Instrument, Analog Device, Linear Technology and many others that are leaders in the global market. Some of the integrated circuits that can do various functions are microcontrollers. Today the informational and computer technologies are rapidly evolving allowing to create automated production lines, which can be controlled with the help of a computer. One of the nodes that allow connecting the computer to a peripheral device is the microcontroller. To use the microcontroller in the nodes of electronics, it is necessary to write the program code to implement a particular task. Software tuning of the microcontroller parameters allows controlling the function of the corresponding device without changing the parameters of the electrical circuitry, which is an important factor for the reliability of the device as a whole. One possible application of microcontrollers is the automation of a physical experiment, which allows measurements of physical quantities and data transmission to a computer. As an example, the optical spectrometry requires a large number of light intensity measurements in the corresponding in the corresponding spectral range with simultaneous data transfer to a computer. That is, the measurement of light intensity is accompanied by the measurements of the number of light quanta at a certain wavelength per time unit. The circuit of the frequency meter of electric pulses based on the microcontroller PIC16F876A for spectroscopic measurements has been developed and is presented herein. The scheme of electric pulse frequency meter based on PIC16F876A microcontroller for spectroscopic measurements is developed in this work. MPLAB 4.1 environment developed by Microchip was used to write the program code. Two timer0 and timer1 modules of the PIC16F876A microcontroller were used to implement the frequency meter algorithm. The Maximum pulse frequency that can be correctly measured with this frequency meter is 4MHz.

**Key words:** microcontroller, timer, frequency meter, interrupts, control register, programming of microcontrollers.

**JEL Classification:** Z19

**DOI:** <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2020-23-29>

**Постановка проблеми.** Сучасні методи вимірювання оптичних спектрів, наприклад люмінесценції, базуються на вимірюванні кількості випромінених фотонів певної довжини хвилі за одиницю часу, тобто їхньої частоти. Для визначення частоти вимірюють кількість фотонів  $N$  протягом певного часу  $t$  і відтак вираховують частоту  $\nu=N/t$ . На сьогоднішній день є багато функціональних приладів, які дозволяють проводити вимірювання частоти електричних імпульсів, однак такі прилади не дозволяють повністю автоматизувати процес вимірювання і, крім цього, досить дорогі. Оскільки сучасний фізичний експеримент повинен забезпечувати прецизійне вимірювання і швидке отримання даних для подальшого аналізу, необхідно мати відповідні пристрої, які б дозволили автоматизувати експеримент і водночас були економічно легко доступними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні багато компаній виготовляють різні інтегральні мікросхеми, в тому числі і програмовані мікроконтролери, на базі яких можна виготовляти різні пристрої з використанням невеликої кількості додаткових елементів електроніки. Це дозволяє отримати дешеві вузли електроніки для різних приладів функціонального застосування. Використання програмованих мікроконтролерів спрощує виготовлення автоматизованих технологічних ліній на виробництві, а також дає можливість швидкого отримання й опрацювання даних при проведенні наукових досліджень [1, 2, 3]. Актуальною задачею на сьогодні є автоматизація технологічних процесів у поліграфії з використанням програмованих мікроконтролерів [4, 5]. Виготовлення спеціалізованих пристроїв на базі мікроконтролерів дозволяє швидко отримувати та опрацьовувати медичні дані [6]. Широке застосування знайшли мікроконтролери

компанії Microchip серії PIC (Peripheral Interface Controller) [7, 8].

Метою даної роботи є розроблення частотоміра електричних імпульсів на базі мікроконтролера PIC16F876A як одного з вузлів для вимірювання оптичних спектрів. Вимірювання оптичних спектрів базується на вимірюванні кількості квантів певної довжини хвилі за одиницю часу, тобто їх частоти. Дана методика вимірювання спектрів широко використовується у різних міжнародних наукових центрах [9, 10].

**Постановка завдання.** Мікроконтролери складаються з різних модулів, які можна включати-виключати, а також задавати різні режими роботи методом програмування. За основу для виготовлення частотоміра було взято мікроконтролер PIC16F876A, який має три модулі різних таймерів, що дозволяє одночасно проводити вимірювання часу і кількості імпульсів, які приходять на відповідний вивід мікроконтролера. Для роботи мікроконтролера взято кварцовий резонатор частотою 16МГц. Для прецизійного вимірювання частоти імпульсів необхідно вибрати проміжок часу, протягом якого відбувається лічба імпульсів, більше рівне 1 секунда, що дозволить реєструвати найменшу частоту імпульсів – 1 Гц. Перед написанням програмного коду алгоритму реалізації частотоміра проведено вибір параметрів модулів timer0 і timer1 мікроконтролера. З технічного опису характеристики мікроконтролера дізнаємося ім'я регістрів, які відповідають за роботу даних модулів: а саме регістр OPTION\_REG задає параметри роботи модуля timer0; регістр T1CON задає параметри роботи модуля timer1; регістр INTCON керує перериваннями, які виникають при переповненні лічильника, а також надає доступ до функції опрацювання переривань. Модуль timer0 вибираємо для задання проміжку часу, а модуль timer1 – для лічби імпульсів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для роботи модуля timer0 вибираємо наступні параметри: внутрішній тактовий генератор (16МГц); коефіцієнт подільника частоти – 256. Модуль timer0 є 8-розрядний, тобто максимальне значення його регістра TMR0, який підраховує тактові імпульси генератора, може бути 255. При наступному тактовому імпульсі регістр TMR0 переповнюється і таким чином генерує переривання, біт TMR0IF регістра INTCON приймає значення “логічна одиниця”. Так можна зафіксувати проміжок часу між послідовними перериваннями. Проміжок часу між двома послідовними перериваннями буде визначатися за формулою:

$$T_0 = \frac{4 \cdot k \cdot 256}{F_{osc}}, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт подільника частоти тактових імпульсів кварцового генератора,

$F_{osc}$  – частота кварцового генератора.

За вибраними параметрами  $k=256$ ,  $F_{osc}=16\text{МГц}$  період  $T_0$  дорівнює 16,384мс. Таким чином, вибираючи програмно певну кількість переривань, можна робити відлік часу для лічби імпульсів модулем timer1.

Для модуля timer1 вибираємо наступні параметри: зовнішній тактовий генератор (в ролі тактового генератора для роботи модуля виступає зовнішнє джерело імпульсів, частоту яких потрібно визначити); коефіцієнт подільника частоти імпульсів  $k=4$ , його можна програмно вибирати з можливих значень 1,2,4,8, що дозволяє працювати з широким діапазоном досліджуваних частот. Оскільки регістр TMR1 модуля timer1 є 16-розрядним, його максимальне значення може бути 65535. За умови періодичного сигналу цього значення регістр TMR1 набуде за час, який визначається за формулою:

$$T_1 = \frac{k \cdot 65536}{F}, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт подільника частоти тактових імпульсів,  $F$  – частота імпульсів зовнішнього генератора.

У випадку частоти імпульсів зовнішнього генератора 1МГц час накопичення регістра TMR1 модуля timer1 з вибраними параметрами складає приблизно 0,26с, тобто протягом 1 секунди 3 рази відбудеться переповнення регістра TMR1. В загальному випадку кількість імпульсів, зареєстрована протягом певного часу, буде визначатися за формулою:

$$N = m \cdot 65536 + N_0, \quad (3)$$

де  $m$  – кількість переривань модуля timer1,  $N_0$  – поточне значення регістра TMR1.

Таким чином, задавши відповідні параметри для модулів timer0 і timer1 мікроконтролера PIC16F876A, можна провести обчислення частоти надходження імпульсів зовнішнього джерела за формулою:

$$n = \frac{N}{n \cdot T_0}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість переривань модуля timer0, вибираємо програмно в залежності від потрібного проміжку часу для лічби імпульсів. Електричну схему частотоміра наведено на рисунку 1.

До виводів 9 (OSC1) і 10 (OSC2) мікроконтролера під'єднано кварцовий резонатор. На вивід 11 (RC0) подається сигнал у вигляді стандартизованих імпульсів прямокутної форми амплітудою від 2,4 до 5В, що визначається вхідними характеристиками даного мікроконтролера.

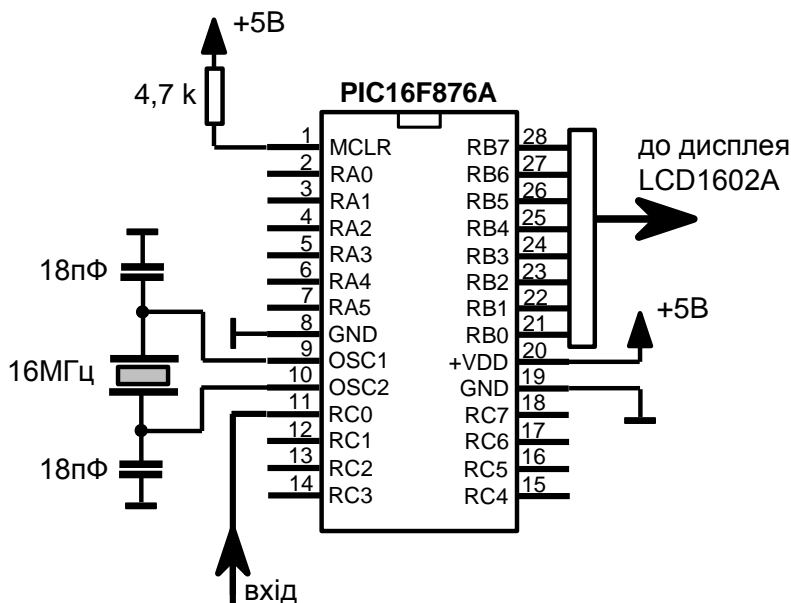


Рис. 1. Принципова схема плати мікроконтролера PIC16F876A для реалізації частотоміра

Нижче наведено код функції опрацювання переривань модулів timer0 і timer1 для визначення частоти імпульсів.

// початок функції опрацювання переривань від модулів таймерів

int interrupt\_isr (void) // функція опрацювання переривань

```
{
    if (TMR1IE&&TMR1IF)
    {
        m=m+1; // кількість переривань таймера1
        TMR1IF=0;
    }
```

```
if (TMR0IE&&TMR0IF)
{
    n=n+1; // кількість переривань таймера0
```

```
if (n==61) // період
{
    x=TMR1L; y=TMR1H;
```

```
nn0=((m*65536)+((TMR1H*256)+TMR1L))/(n*0.016384);
```

```
return nn0;
TMR1H=0; TMR1L=0;
n=0; m=0;
```

```
}
TMR0IF=0;
}
```

// кінець функції опрацювання переривань від модулів таймерів

Код головної функції має вигляд:

// початок головної функції

```
void main (void)
```

```
{
```

```
TRISB=0b00000000; // настройка порту B на цифровий вивід
```

```
TRISC=0b00000001; настройка виводу RC0 на цифровий вхід
```

```
PORTB=0b00000000; // очистка порту B
```

```
ADCON1=0b00000110;
```

```
OPTION_REG=0b11000111; // включення
```

```
модуля timer0
```

```
INTCON=0b10100000; // настройки
```

```
переривань таймерів
```

```
T1CON=0b00100011; включення модуля
```

```
timer1
```

```
PIE1=0b00000001;
```

```
PIR1=0b00000001;
```

```
TMR1=0
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
printLCD (nn0) // виклик функції виводу значення частоти nn0 на дисплей LCD1602A
```

```
// команди користувача
```

```
}
```

```
// кінець головної функції
```

**Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі.** Використання програмованих мікроконтролерів дозволяє створювати різні прилади функціонального застосування. Наведена схема частотоміра характеризується простотою, оскільки в ній використовується мала кількість елементів електроніки, що робить його відносно дешевим і компактним у використанні. Можливість програмного способу задання режимів і параметрів мікроконтролера дозволяє регулювати діапазон вимірюваних частот без зміни параметрів схеми, що підвищує надійність приладу в цілому.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Bengtsson L. 24-channel dual microcontroller-based voltage controller for ion optics remote control / L. Bengtsson // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2018. – Vol. 890. – P. 96-101.
2. Time-domain measurement methods for R, L and C sensors based on a versatile direct sensor-to-microcontroller interface circuit / Z. Czaja // Sensors and Actuators A: Physical. – 2018. – Vol. 274. – P. 199-210.
3. Romano M. A Teensy microcontroller-based interface for optical imaging camera control during behavioral experiments / M. Romano, M. Bucklin, H. Gritton, D. Mehrotra, R. Kessel, X. Han // Journal of Neuroscience Methods. – 2019. – Vol. 320. – P. 107-115.
4. Казьмірович Р. Інформаційно-керуюча система аркушорізальної машини на основі програмованих логічних контролерів / Р. Казьмірович, О. Казьмірович // Комп'ютерні технології друкарства. – 2015. – №1(33). – С. 10-17.
5. Казьмірович Р. Модернізація системи програмного керування ниткошвейної машини БНШ-6А на базі програмованих логічних контролерів / Р. Казьмірович, О. Казьмірович // Комп'ютерні технології друкарства. – 2016. – №2(36). – С. 41-47.
6. Aliya Arsyad N. Breast milk volume using portable double pump microcontroller Arduino Nano / S. Syarif, M. Ahmad, S. As'ad // Enfermería Clínica. – 2020. – Vol. 30. – P. 555-558.
7. Serrano Pérez E., Sequential microcontroller-based control for a chemical vapor deposition process / E. Serrano Pérez, J. Serrano Pérez, F. Martínez Piñón, J. Manuel Juárez García, O. Serrano Pérez, F. Juárez López // Journal of Applied Research and Technology. – 2017. – Vol. 15. – P. 593-598.
8. Acho Zuppa L. Chaotic Logistic Map Implementation in the PIC12F629 Microcontroller Unit / L. Acho Zuppa // IFAC Proceedings Volumes. – 2010. – Vol. 43. – P. 167-170.
9. Pankratov V. Progress in development of a new luminescence setup at the *FinEstBeAMS* beamline of the MAX IV laboratory / V. Pankratov, R. Pärna, M. Kirm, V. Nagirnyi, E. Nömmiste, S. Omelkov, S. Vielhauer, K. Chernenko, L. Reisberg, P. Turunen, A. Kivimäki, E. Kukk, M. Valden, M. Huttula // Radiation measurement. – 2019. – Vol. 121. – P. 91-98.
10. G. Zimmerer, A unique setup for luminescence spectroscopy with synchrotron radiation / Zimmerer G. // Radiation measurement. – 2007. – Vol. 42. – P. 859-864.

**REFERENCES**

1. Bengtsson L. (2018), 24-channel dual microcontroller-based voltage controller for ion optics remote control, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol. 890, p. 96-101.
2. Czaja Z. (2018), Time-domain measurement methods for R, L and C sensors based on a versatile direct sensor-to-microcontroller interface circuit, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 274, p. 199-210.
3. M. Romano, M. Bucklin, H. Gritton, D. Mehrotra, R. Kessel, X. Han (2019), A Teensy microcontroller-based interface for optical imaging camera control during behavioral experiments, Journal of Neuroscience Methods, Vol. 320, p. 107-115.
4. Kazmirovych R. and Kazmirovych O. (2015), Informaciinokeruyucha systema arkushorizalnoi mashyny na osnovi programovanyh logichnyh kontroleriv, Computer technology of printing, Vol. 1(33), p. 10-17.
5. Kazmirovych R. and Kazmirovych O. (2016), Modernization of program control system of sewing machine BNSH-6A based on programmable logic controllers, Computer technology of printing, Vol. 2(36), p. 41-47.
6. S. Syarif, M. Ahmad and S. As'ad (2020), Breast milk volume using portable double pump microcontroller Arduino Nano, Enfermería Clínica, Vol. 30, p. 555-558.
7. E. Serrano Pérez, J. Serrano Pérez, F. Martínez Piñón, J. Manuel Juárez García, O. Serrano Pérez, F. Juárez López (2017), Sequential microcontroller-based control for a chemical vapor deposition process, Journal of Applied Research and Technology, Vol. 15, p. 593-598.
8. Acho Zuppa L. (2010), Chaotic Logistic Map Implementation in the PIC12F629 Microcontroller Unit, IFAC Proceedings Volumes, Vol. 43, p. 167-170.
9. V. Pankratov, R. Pärna, M. Kirm, V. Nagirnyi, E. Nömmiste, S. Omelkov, S. Vielhauer, K. Chernenko, L. Reisberg, P. Turunen, A. Kivimäki, E. Kukk, M. Valden, M. Huttula (2019), Progress in development of a new luminescence setup at the *FinEstBeAMS* beamline of the MAX IV laboratory, Radiation measurement, Vol. 121, p. 91-98.
10. G. Zimmerer (2007), A unique setup for luminescence spectroscopy with synchrotron radiation, Radiation measurement, Vol. 42, p. 859-864.

*Стаття надійшла до редакції 11 квітня 2020 р.*