

**В.Г. Душко, Л.В. Леваш, В.С. Лисенко,
Ю.Г. Птушинський, В.С. Радько, О.А. Росновський, В.Б. Самойлов**

Інститут фізики НАН України, Київ

ПІРОЕЛЕКТРИЧНИЙ ДЖОУЛЬМЕТР ІМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ



Описано конструкцію, принцип дії та основні характеристики вимірювача енергетичних параметрів імпульсного когерентного і некогерентного випромінювання нового покоління. Вимірювальна головка приладу перетворює сигнал піроелектричного сенсора і передає його безпосередньо в комп'ютер за допомогою USB-інтерфейсу. Наведені результати Державної метрологічної атестації приладу.

Ключові слова: піроелектричний приймач, джоульметр, лазерне випромінювання, ІЧ-випромінювання.

Створення сенсорних пристроїв і метрологічної бази для вимірювання енергетичних характеристик електромагнітного випромінювання є однією із ключових проблем, які визначають розвиток сучасних наукомістких технологій. Поряд із традиційними сферами застосування вимірювачів некогерентного випромінювання — спектрометрією, радіометрією, пірометрією — особливого значення в останні роки набула проблема вимірювання енергетичних параметрів лазерного випромінювання. Актуальність цієї проблеми зумовлена стрімким зростанням парку лазерних імпульсних випромінювачів, що викликає нагальну потребу в створенні нових робочих засобів для атестації лазерів з розширеними енергетичними характеристиками, до того ж сумісних із сучасними комп'ютерними засобами обробки інформації.

Нижче буде описано розроблений авторами швидкодіючий вимірювач енергії імпульсу лазерного випромінювання. Це — сучасний багатфункціональний програмно-апаратний ви-

мірювальний комплекс на базі піроелектричного приймача випромінювання. Така структура вимірювача дала можливість у повному обсязі реалізувати головні переваги піроелектричного приймача порівняно з іншими тепловими та фотонними приймачами, а саме: неселективність, швидкодію, великий динамічний діапазон вимірювань та високу температурну стабільність. З іншого боку, неперервна цифрова обробка сигналу дала змогу отримувати додатково інформацію про часові параметри цугу випромінювання та їх похідні: частоту (період) повторення імпульсів та середню потужність променя.

СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВИМІРЮВАЧА ЕНЕРГІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Вимірювач енергії призначений для прийому імпульсного лазерного випромінювання, перетворення його в електричні сигнали, а також для попередньої цифрової обробки цих сигналів та передачі інформації в режимі реального часу в персональний комп'ютер (ПК) для її подальшої обробки з метою одержання результатів вимірювання енергії імпульсного лазерного випромінювання.

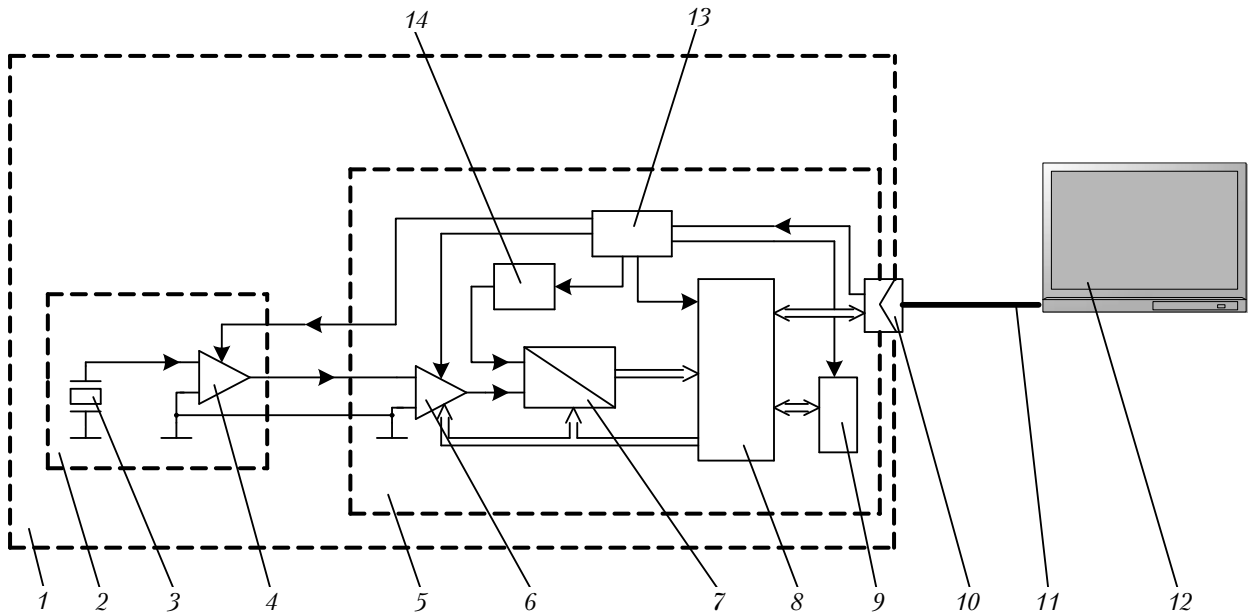


Рис. 1. Структурна схема вимірювача енергії: 1 – вимірювач енергії; 2 – плата узгоджуючого підсилювача; 3 – чутливий елемент; 4 – узгоджуючий підсилювач; 5 – плата аналого-цифрового перетворювача; 6 – підсилювач інструментальний; 7 – аналого-цифровий перетворювач; 8 – мікроконтролер; 9 – інтерфейс RS-232; 10 – з’єднувач інтерфейсу USB; 11 – кабель інтерфейсу USB; 12 – персональний комп’ютер; 13 – схема живлення; 14 – джерело опорної напруги

До складу вимірювача енергії входять:

- ✦ піроелектричний чутливий елемент;
- ✦ плата узгоджуючого підсилювача;
- ✦ плата аналого-цифрового перетворювача (АЦП);
- ✦ корпус;
- ✦ кабель зв’язку з ПК.

Структурна схема вимірювача енергії наведена на рис. 1. Електричний сигнал, який генерується піроелектричним чутливим елементом 3 подається на вхід узгоджуючого підсилювача 4. Підсилений до оптимального рівня імпульсний сигнал через інструментальний підсилювач зі змінним коефіцієнтом підсилення 6 подається на аналоговий вхід АЦП 7, який виконує аналого-цифрове перетворення миттєвих значень сигналу. Під час роботи модуля цифрової обробки сигналів коефіцієнт підсилення встановлюється таким, щоб максимально підсилити сигнал до рівня ± 10 В (діапазон вхідного сигналу АЦП), але не перевищити його (не досягнути режиму насичення АЦП).

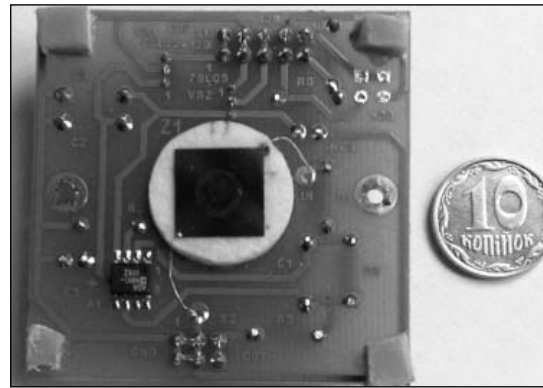


Рис. 2. Зовнішній вигляд плати узгоджуючого підсилювача з піроелектричним чутливим елементом

Сам вимірювач виконано у вигляді двох плат. На платі узгоджуючого підсилювача 2 розміщуються чутливий елемент 3, виконаний на основі монокристалу LiTaO_3 , та сам узгоджуючий підсилювач 4 (див. рис. 2). Всі інші структурні елементи розміщуються на платі аналого-цифрового перетворювача 5, зовнішній вигляд якої наведено на рис. 3.

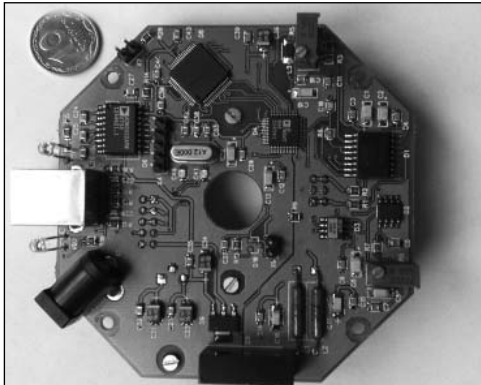


Рис. 3. Зовнішній вигляд плати аналого-цифрового перетворювача

Керуючим елементом модуля цифрової обробки сигналів є мікроконтролер, який в процесі вимірювання енергії лазерного випромінювання виконує такі функції:

- ✦ керування роботою АЦП та підсилювача інструментального;
- ✦ прийом даних від АЦП та їх попередня обробка в режимі реального часу;
- ✦ підтримка інформаційного обміну з ПК по інтерфейсу USB;

- ✦ прийом та виконання команд, що надходять від ПК в режимі реального часу;

- ✦ подача даних в ПК в режимі реального часу.
- Чутливий елемент піроелектричного приймача випромінювання виповнено з пластини танталату літію з розмірами $11 \times 11 \times 0,1$ мм та ємністю 420 пФ. Поглинаючий електрод являє собою суцільний тонкий шар ніхрому з поверхневим опором $R_{\text{пов}} \approx 190$ Ом/квадрат. Нерівномірність спектральної характеристики компенсується за допомогою програмного забезпечення.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДУЛЯ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Програмне забезпечення (ПЗ) модуля цифрової обробки сигналів складається із системного та прикладного ПЗ. До складу системного ПЗ модуля входять:

- ✦ операційна система реального часу;
- ✦ драйвер інтерфейсу USB.

До складу прикладного ПЗ модуля входять:

- ✦ процес `task_ep2_rx`;
- ✦ процес `task_ep2_tx`;
- ✦ обробник апаратного переривання `timer1_int_func`.

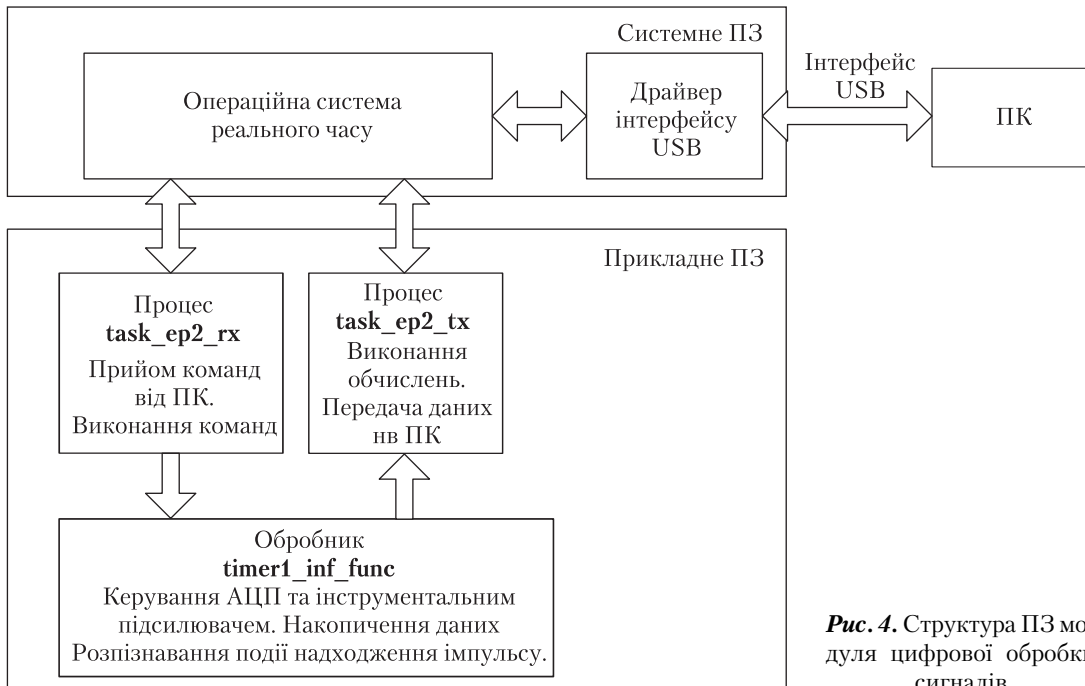


Рис. 4. Структура ПЗ модуля цифрової обробки сигналів

Структура ПЗ модуля цифрової обробки сигналів зображена на рис. 4. Використання операційної системи реального часу надає достатню кількість системних сервісів. Це дає можливість зручно структурувати прикладне ПЗ у вигляді незалежних процесів, що можуть виконуватися паралельно із наперед заданими пріоритетами та взаємодіяти між собою потрібним чином (синхронізувати роботу один одного, обмінюватися даними, приймати та відправляти дані на ПК).

Драйвер послідовного інтерфейсу USB реалізує стандартний комунікаційний інтерфейс USB 2.0, який забезпечує обмін даними між модулем цифрової обробки сигналів та персональним комп'ютером.

Прикладне ПЗ модуля цифрової обробки сигналів використовує сервіси операційної системи та реалізовує такі функції:

- ✦ прийом команд та даних від ПК по інтерфейсу USB;
- ✦ керування виконанням команд;
- ✦ прийом потоку даних від АЦП;
- ✦ проміжне накопичення даних, отриманих від АЦП, виконання розрахунків;

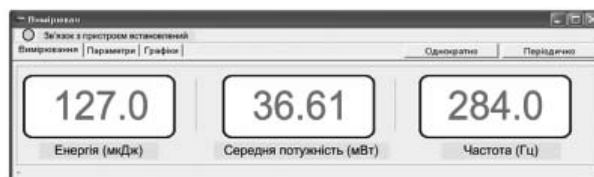


Рис. 5. Вікно «Вимірювання». Загальний вигляд



Рис. 6. Вимірювач ВЕП-1Л з підключеним комп'ютером

- ✦ подача результатів виконаних розрахунків та проміжних даних на ПК по інтерфейсу USB. Процес `task_ep2_rx` виконує прийом та керування виконанням команд, що надходять від ПК.

Технічні характеристики вимірювачів ВЕП-1Л

№ пор.	Найменування параметрів та одиниці вимірювання	
1	Спектральний діапазон імпульсного випромінювання, мкм	0,3÷15
2	Динамічний діапазон вимірювання енергії імпульсного випромінювання, Дж	$3 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-3}$
3	Верхня межа густини енергії (при тривалості імпульсу >45 нсек.), Дж/см ²	$5 \cdot 10^{-3}$
4	Верхня межа середньої густини потужності, Вт/см ²	$2 \cdot 10^{-1}$
5	Частота повторення імпульсів (не більше), Гц	2000
6	Тривалість імпульсу (не більше), с	10^{-5}
7	Діаметр чутливого елемента, мм	10
8	Матеріал чутливого елемента	LiTaO ₃
9	Основна відносна похибка вимірювання енергії, %	10
10	Основна відносна похибка вимірювання середньої потужності, %	10
11	Тип інформаційного інтерфейсу для зв'язку з персональним комп'ютером	USB 2.0
12	Напруга живлення, В	+5
13	Потужність, що споживається по інтерфейсу USB (не більше), Вт	0,5
14	Температура навколишнього повітря під час роботи вимірювача, °С	+5 ÷ +40
15	Відносна вологість навколишнього повітря під час роботи вимірювача (не більше), %	95
16	Габаритні розміри вимірювача (діаметр, висота), мм	∅ 100 × 60
17	Маса вимірювача (не більше), кг	0,4

Обробник апаратного переривання timer1_int_func безпосередньо керує роботою АЦП. Процес task_ep2_tx виконує прийом потоку даних, що надходять від АЦП, проміжне накопичення даних, проведення розрахунків та подачу результатів на ПК за допомогою драйвера інтерфейсу USB.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПК

Програмне забезпечення ПК функціонує на апаратній платформі типу IBM PC-AT під керуванням операційної системи Windows XP та виконує такі функції:

- ✦ інформаційна взаємодія із модулем цифрової обробки сигналів, видача команд та параметрів вимірювання, прийом результатів вимірювання;
- ✦ візуалізація результатів вимірювання;
- ✦ зберігання результатів вимірювання;
- ✦ зберігання параметрів вимірювання,
- ✦ введення, редагування та зберігання калібровочної інформації.

Інтерфейс ПЗ ПК складається з трьох вікон: «Вимірювання», «Параметри», «Графіки».

Загальний вигляд вікна «Вимірювання» та призначення елементів керування зображені на рис. 5. Результати вимірювання енергії, середньої потужності та частоти слідування імпульсів випромінювання у цифровому вигляді відображаються в означених місцях вікна. При відображенні розмірності енергії та середньої потужності динамічно відображаються префікси системи одиниць СІ (наприклад, мкДж, кДж, мВт). Загальний вигляд вимірювача енергії ВЕП-1Л з підключеним комп'ютером наведено на рис. 6.

Технічні характеристики створених вимірювачів ВЕП-1Л наведені в таблиці.

Перевірка та підтвердження основних метрологічних характеристик вимірювачів проводилася в Національному науковому центрі «Інститут метрології» Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики. За результатами метроло-

гічної атестації ННЦ «Інститут метрології» 2 грудня 2009 року видав свідоцтво про державну метрологічну атестацію на вимірювач енергії імпульсного лазерного випромінювання ВЕП-1Л. Цим свідоцтвом вимірювачі енергії імпульсного лазерного випромінювання ВЕП-1Л визнано такими, що відповідають вимогам ДСТУ 3539-97 і допускаються до застосування як робочі засоби вимірювальної техніки.

Роботу проведено в рамках проекту Міжвідомчої ради з наукового приладобудування при Президії НАН України «Розробка та виготовлення приладу для вимірювання енергетичних характеристик когерентного та некогерентного випромінювання» згідно з розпорядженням Президії НАН України № 99 від 15.02.2007 р.

В.Г. Душко, Л.В. Леваш, В.С. Лысенко, Ю.Г. Птушинский, В.С. Радько, О.А. Росновский, В.Б. Самойлов

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДЖОУЛЬМЕТР ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Описаны конструкция, принцип действия и основные характеристики измерителя энергетических параметров импульсного когерентного и некогерентного излучения нового поколения. Измерительная головка прибора преобразует сигнал пирозлектрического сенсора и передает его непосредственно в компьютер с помощью USB-интерфейса. Представлены результаты Государственной метрологической аттестации прибора.

Ключевые слова: пирозлектрический приемник, джоульметр, лазерное излучение, ИК-излучение.

V.G. Dushko, L.V. Levash, V.S. Lysenko, Yu.G. Ptushinsky, V.S. Rad'ko, O.A. Rosnovsky, V.B. Samoylov

PYROELECTRIC JOULEMETER OF IMPULSE LASER RADIATION

The general arrangement, principle of operation and basic parameters of new generation of coherent and noncoherent radiation power and energy meters are described. A smart head of the meter converts the signal from the pyroelectric sensor and transfers it immediately to PC using a high-speed USB 2.0 interface. The results of the State metrological testing are presented.

Key words: pyroelectric detector, joulemeter, laser radiation, IR-radiation.

Надійшла до редакції 25.05.10