

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВІ ПК

Гринько С.С., Урсов В.М.

Херсонський національний технічний університет

PC-BASED MEASURING COMPLEX

Grinko S.S., Ursov V.M.

Kherson national technical university

Анотація. Розглянуті питання по розробці двоканального осцилографу на основі універсальної шини USB. Описаний принцип роботи пристрою. Представлені результати вимірювання.

Ключові слова: USB осцилограф, мікроконтролер, АЦП.

Abstract. The issues of the development two-channel oscilloscope based on universal bus USB are shown. The principles of operation are described. The results of testing the device are given.

Keywords: USB oscilloscope, microcontroller, ADC.

Вступ. У наш час комп'ютерна техніка посідає велике місце. Її швидкий безперервний розвиток набирає все більшого розмаху. Велика доступність та дешевизна призвела до того, що комп'ютери стали використовуватися не тільки у сферах обслуговування та на виробництві для полегшення виконання роботи, але й для створення комфорту.

Зараз широко почались використовуватися комп'ютери, як основа для підключення різних пристроїв сполучення (маються на увазі нестандартні пристрої), які можуть бути як зовнішніми, так і внутрішніми. Зовнішні пристрої сполучення можуть бути віддалені від комп'ютера на відстань від декількох метрів (відеокамера для спостережень, радіопристрої з бездротовим з'єднанням тощо) до декількох кілометрів (різноманітні датчики вимірювань, які під'єднуються до комп'ютера за допомогою оптоволоконних ліній зв'язку). Внутрішні пристрої сполучення виготовляються у вигляді плат розширення, які

вмонтовуються всередину комп'ютера, під'єднуючись до роз'ємів материнської плати (COM, LPT, PCI, mini-PCI, VGA, USB та ін.).

У вигляді плати розширення або пристрою сполучення з персональним комп'ютером (ПК) можна виготовити будь-який нестандартний пристрій, який міг би виконувати найрізноманітніші функції. Таким чином, віртуальний пристрій представляє собою програмне забезпечення, встановлене на комп'ютер та інтерфейсний пристрій, що дозволяє ПК отримати доступ до тих фізичних величин та процесів, які він повинен буде обробляти [1].

Як правило, в якості такого інтерфейсу виступає аналогово-цифровий перетворювач з одним або декількома входами або мікроконтролер. Можна також розраховувати на те, що віртуальний пристрій надасть своєму власнику найбільш широкі можливості, причому за ціною він буде порівняний з класичним вимірювальним пристроєм, який має такий же рівень технічних характеристик. Такий підхід дозволяє обмежитися мінімальними затратами, якщо вимоги до вимірювального комплексу не дуже жорсткі. Крім того це також дає можливість повернути до активної та корисної роботи навіть застарілі із IBM-сумісних ПК, які начебто здавались приречені, дякуючи запаморочливій еволюції обчислюваної техніки [2].

Мета та задачі. Метою даної роботи є проектування та виготовлення вимірювального комплексу на основі ПК – USB осцилографу.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- 1) підібрати найзручніший для проектування та виготовлення пристрою інтерфейс комп'ютера;
- 2) виготовити універсальний вимірювальний пристрій;
- 3) перевірити на практиці працездатність пристрою за допомогою зовнішнього джерела сигналів.

Такий вимірювальний комплекс можна буде використовувати не тільки для вимірювання, але й для візуального спостереження електричних сигналів.

Матеріали та методи. Для виконання поставленої задачі за основу було взято послідовну шину USB. В порівнянні з іншими зовнішніми портами USB

має багато переваг, що дозволяє безперешкодно створити будь-який вимірювальний пристрій з високою пропускнуою спроможністю [3].

Серед головних переваг шини USB є: кількість самих портів на ПК, що дозволяє вільно використовувати їх призначення на свій розсуд; висока швидкість передачі даних; автоматичне виявлення пристрою при підключенні; живлення для будь-якого пристрою (+5 В), навіть без використання у багатьох випадках гальванічної розв'язки по напрузі; можливість «гарячого» відключення пристроїв – без вимикання комп'ютера. Виходячи з цих положень, можна побачити, що шина USB має дуже багато можливостей для того, щоб можна було використовувати її не тільки для роботи зі стандартною заводською периферією, а й використовувати на власний розсуд, наприклад для створення будь-якого нестандартного пристрою сполучення [4].

Так як даний осцилограф підключатиметься до USB шини, то дуже зручно буде, якщо живлення для пристрою взяти безпосередньо з комп'ютера, а не використовувати зовнішнє джерело. Напруги 5 В, яка виводиться на шину, буде достатньо для живлення всієї схеми.

В якості АЦП, як основного елементу пристрою було взято мікроконтролер C8051F320 компанії Cygnal Integrated (Silicon Laboratories). [5]

Мікроконтролер C8051F320 має дуже великий набір периферії, а також підтримку високошвидкісного каналу обміну даними з комп'ютером (USB), що не потребує додаткових джерел живлення. Даний мікроконтролер містить в собі (рис. 1):

- 10-розрядний АЦП з комутатором на 17 каналів, з продуктивністю 200 тисяч перетворень в секунду;
- джерело опорної напруги 3 В зі струмом навантаження до 100 мА, що дозволяє живити мікроконтролер безпосередньо від шини USB;
- можливість роботи з інтерфейсами: SMBus/I2C, SPI, UART, USB;
- вбудований USB контролер;
- вбудовану оперативну та FLASH пам'ять;
- лічильник реального часу; датчик температури.

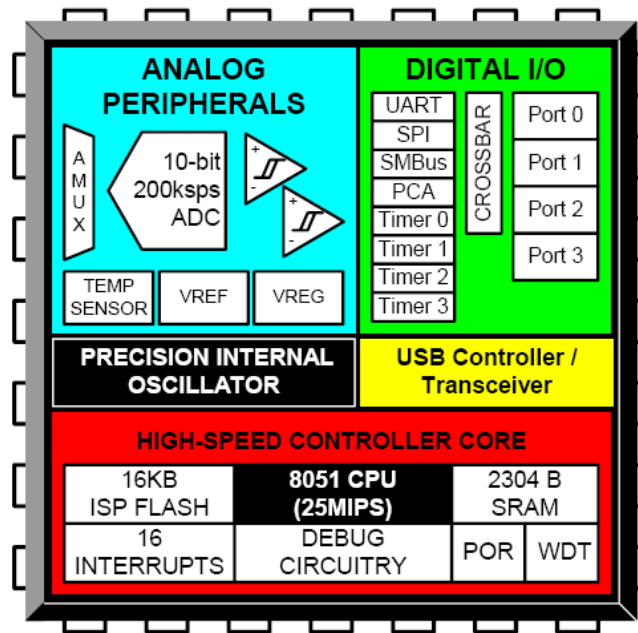


Рис. 1. Структура мікроконтролера C8051F320

Функціонально АЦП мікроконтролера містить два вбудовані аналогові мультиплексори і може працювати як в диференціальному, так і інтегральному режимі перетворень. Опорна напруга АЦП може задаватися внутрішнім джерелом, напругою живлення мікроконтролера або зовнішнім джерелом живлення. Ще одна перевага мікроконтролера C8051F320 – мініатюрність та мала споживана потужність. Напруга живлення ядра мікроконтролера від 2,7 до 3,6 В; струми споживання для різних режимів роботи складають величини від менш ніж 0,1 мкА до 25 мА.

Великий перелік можливостей, а також дешевизна дозволяють створити компактний та недорогий пристрій, що допоможе реєструвати, обчислювати та відображати досліджувані сигнали, а також буде мати дуже багато додаткових функцій. Завдяки тому, що даний мікроконтролер має у своєму складі і джерело опорної напруги, і АЦП, схему пристрою можна спростити до декількох блоків (рис .2).

Вхідний каскад має два канали: А і В, які можна використовувати як одночасно для дослідження, спостереження та порівняння одразу двох сигналів,

так і окремо – для вимірювання одного окремого сигналу. Вхідний каскад містить у своєму складі елементи узгодження вхідного сигналу із АЦП (мікроконтролером). Сигнал, піддавшись обробці та підсиленню вхідного каскаду, потрапляє на мікроконтролер, де відбувається його подальша обробка. Після всіх розрахунків та перетворень із мікроконтролера сигнал потрапляє безпосередньо на шину USB. Далі, за допомогою спеціального програмного забезпечення виводиться на екран.



Рис. 2. Функціональна схема пристрою

Схема живиться від самої шини USB, що також спрощує проектування та виготовлення пристрою, так як не потрібно буде використовувати зовнішнє джерело та стабілізатор напруги. Ще одна перевага цього – те, що не потрібно використовувати окремий кабель для живлення схеми, що не буде призводити до створення додаткових шумів та виникнення різноманітних перешкод при проходженні струму живлення через з'єднувальні провідники. Простота та мала кількість складових частин дозволяють створити компактний та недорогий пристрій, що матиме дуже широкі можливості.

Для узгодження мікроконтролера із вимірюваним сигналом встановлюється вхідний каскад, побудований на основі операційних підсилювачів. Для встановлення меж вимірювання було взято два операційних підсилювача.

З розрахунком простоти схеми був розроблений найпростіший підсилювач, головний компонент схеми якого – широко розповсюджений здвоєний операційний підсилювач. Такі підсилювачі можуть також працювати з

напругами, дуже близькими до нуля, навіть без двополярного живлення [7]. Для вимірювання не потрібні також ні широка смуга частот (достатньо навіть декількох кілогерців), ні висока точність (достатньо 1 %), ні зміщення нуля на рівні мікрівольтів. Аналогова частина USB осцилографа (вхідні ланцюги одного каналу) показана на рис. 3.

Тут V_{dd} виступає в якості як напруги живлення операційного підсилювача, так і в якості опорної напруги, призначеної порівняння та співставлення із вхідним сигналом для обчислення значення останнього.

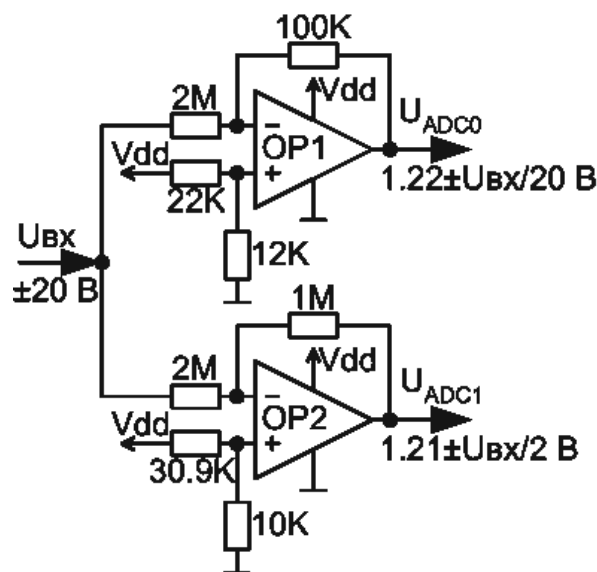


Рис. 3. Вхідна аналогова частина одного із каналів осцилографа

Як опорна напруга АЦП використовується внутрішнє високостабільне джерело опорної напруги на $V_{ref} = 2.44$ В. З чого витікає, що для аналізу вхідних сигналів в діапазоні ± 20 В, їх необхідно зменшити в 20 разів і змістити на половину опорної напруги. Якщо використовувати для двох каналів осцилографа 4 канали АЦП то можна апаратно розбити вхідний діапазон напруги на два піддіапазони $0 \dots 2$ і $2 \dots 20$ В, причому на нижньому діапазоні дільник повинен бути $1/2$.

Вибір одного з двох піддіапазонів здійснюється вибором розмаху шкали напруги для відповідного каналу. Дільник і зсув для піддіапазону $2 \dots 20$ В

реалізовані на операційному підсилювачі ОР1, а для піддіапазону 0...2 В на ОР2. Напруга зміщення формується за допомогою двох дільників з не стабільної напруги живлення Vdd.

Якщо врахувати що типові значення $V_{dd} = 3,3$ В, напруга на виході дільників рівна, для першої межі вимірювання:

$$U_{д1} = 1,165 \text{ В},$$

для другої межі вимірювання:

$$U_{д2} = 0,807 \text{ В}.$$

Напруга зміщення на виході кожного з ОУ визначається виходячи за допомогою виразу:

$$U_{зм} = U_{д} + U_{д} \cdot K,$$

де K – коефіцієнт передачі підсилювача ($K = 1/20$ для ОР1 і $K = 1/2$ для ОР2).

З чого виходить, що напруга зміщення на виході ОР1 буде:

$$U_{зм1} = 1,165 \cdot 1,05 = 1,22 \text{ В},$$

а на виході ОР2 буде:

$$U_{зм2} = 0,807 \cdot 1,5 = 1,21 \text{ В}.$$

Тобто, близьке до половини опорної напруги. Якщо ж врахувати, що V_{dd} може змінюватися в залежності мікроконтролера (але не "пливе" з часом) в межах від 3 до 3,6 В, то виходить, що напруга зсуву буде змінюватися для ОР1:

$$U_{зм1} = 1,11...1,33 \text{ В},$$

а для ОР2:

$$U_{зм2} = 1,1 \dots 1,32 \text{ В.}$$

Знаючи що максимальна вхідна напруга ($\pm 20\text{В}$ або $\pm 2\text{В}$) перетвориться в $\pm 1\text{В}$, то з урахуванням зміщення виходить, що напруга на виході ОУ буде для ОР1:

$$U_{вих1} = 0,11 \dots 2,33 \text{ В,}$$

а для ОР2:

$$U_{вих2} = 0,1 \dots 2,32 \text{ В.}$$

Тобто, напруга знаходиться в межах $0 \dots V_{ref}$. З чого виходить, що при будь-якому значенні нестабільного V_{dd} на виході АЦП ніколи не буде переповнення. Нестабільність V_{dd} елементарно компенсується калібруванням кожного піддіапазону обох каналів, що забезпечує точність вимірювання напруги не гіршу за 1-2%. Калібрувальні коефіцієнти розраховуються для кожного пристрою окремо і зберігаються в енергозалежній пам'яті мікроконтролера.

Плата пристрою розміщена в корпусі розміром $60 \times 80 \times 20$ мм (рис. 4). Для з'єднання пристрою з комп'ютером використовується USB кабель, а для вимірювання сигналу – з'єднувальний щуп з екранованого кабелю.



Рис. 4. Зовнішній вигляд пристрою

Для відображення отриманого сигналу, а також для ведення статистики вимірювань для даного пристрою використовується програмне забезпечення USB_Oscillograph.

Розроблялося дане програмне забезпечення у середовищі LabVIEW. В LabVIEW знаходяться вбудовані шаблони, що містять віртуальні пристрої, функції, структури та об'єкти лицьової панелі, які можуть знадобитися при створенні базових додатків для виконання різноманітних вимірювань [8].

Зовнішній інтерфейс програми зображений на рис. 5.

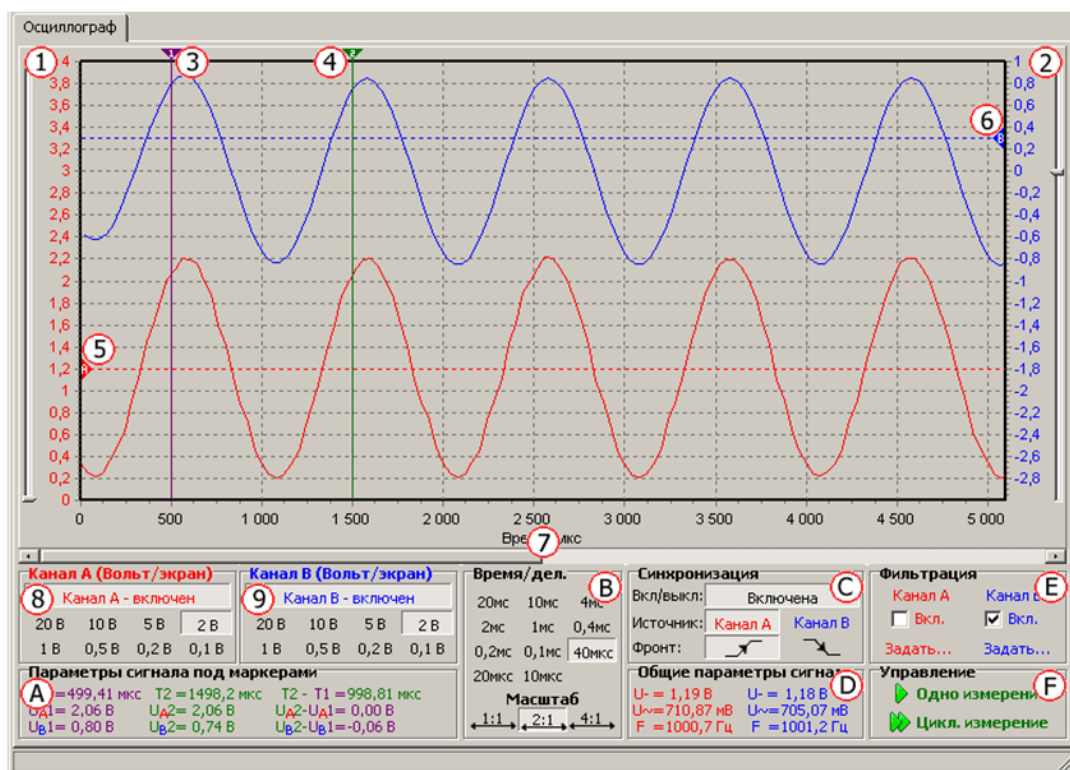


Рис. 5. Зовнішній вигляд програмного середовища USB_Oscillograph

В центрі вікна знаходиться робочий екран на якому відображаються осцилограми, червона осцилограма відповідає каналу А, а синя каналу В. Зліва від рамки робочого екрану розташована шкала по напрузі каналу А (червоний шрифт), праворуч від рамки – шкала по напрузі каналу В (синій шрифт). Розмірність обох шкал по напрузі завжди у вольтах. Знизу робочого екрану розташована вісь часу (розгортка).

Задати розмах шкали напруги каналу А/В можливо на панелі 8/9 "Канал

A/B (Вольт/екран)". Необхідно відзначити, що USB осцилограф апаратно підтримує два діапазони вхідних сигналів 0-2 В і 2-20 В. Із цього витікає, що для того, щоб одержати найдостовірнішу осцилограму, амплітуда якої знаходиться в діапазоні ± 2 В, доцільно вибрати розмах ± 2 Вольт/екран або нижчий. Оскільки помилка квантування при розмаху ± 2 Вольт/екран і нижче буде складати (при розрядності 8 біт):

$$\frac{4B}{256} = 0,015B,$$

тоді як при розмаху ± 5 Вольт/екран і вище похибка квантування буде в 10 разів більша:

$$\frac{40B}{256} = 0,15B.$$

На цих же панелях розташовані кнопки включення/виключення каналів. Якщо при аналізі пристрою не вимагається аналізувати одночасно два аналогові сигнали, то доцільно вимкнути один з каналів, що дозволить збільшити максимальну частоту дискретизації із 100 кГц до 200 кГц.

На панелі "Параметры сигнала под маркерами" А відображаються, положення кожного маркера на осі часу і амплітуда сигналу обох каналів під кожним маркером. Також обчислюється різниця часу маркерів і амплітуд сигналів, при цьому колір результату різниці буде рівний кольору того маркера відповідні значення, якого більші.

Панель "Время/дел." В дозволяє задавати частоту дискретизації (розгортку) з якою відбувається відцифровування вхідного аналогового сигналу. Для більш менш нормального перегляду осцилограм рекомендується, щоб частота дискретизації була хоча б в 5-6 разів вища за максимальну частоту вхідного сигналу. Окрім вибору розгортки на панелі "Время/дел." також можна задавати масштаб відображення осцилограм, тобто можна розтягнути осцилограму до 4 разів по осі часу для більш детального аналізу, наприклад,

будь-яких тимчасових параметрів сигналу.

На панелі "Общие параметры сигнала" D відображаються обчислені значення постійної і змінної складової напруги і якщо можливо, то і значення частоти по кожному каналу.

Експериментальні дані та результати. Для випробування USB осцилографу використовувався генератор низьких частот ГЗ-109.

Мінімальна частота, яку довелося зафіксувати осцилографом у більш-менш нормальному вигляді та розрахувати її значення становить приблизно 50 Гц. Максимальна виміряна частота складає 50 кГц.

Гарний вигляд осцилограми та більш точний розрахунок одержується вже на частоті, більшої від 500 Гц. На рис. 6 зображений отриманий результат вимірювання USB осцилографом сигналу частотою 825 Гц.

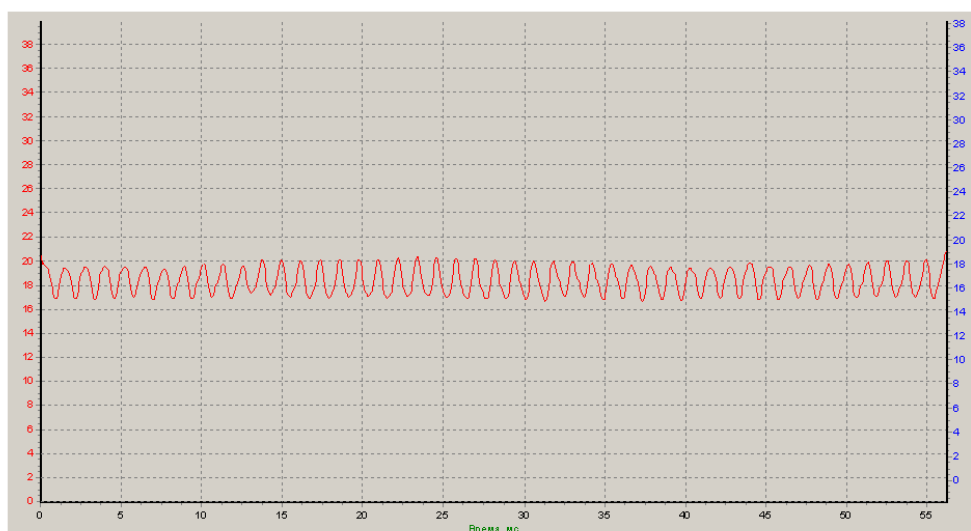


Рис. 6. Одержаний сигнал частотою 825 Гц

Дуже добре одержуються на екрані амплітудно-модульовані сигнали з різним коефіцієнтами модуляції (рис. 7 та рис. 8). Коефіцієнтом або глибиною модуляції m – називається відношення складової модулюючого сигналу V_m до складової несучого сигналу V_n :

$$m = \frac{V_n}{V_m}$$

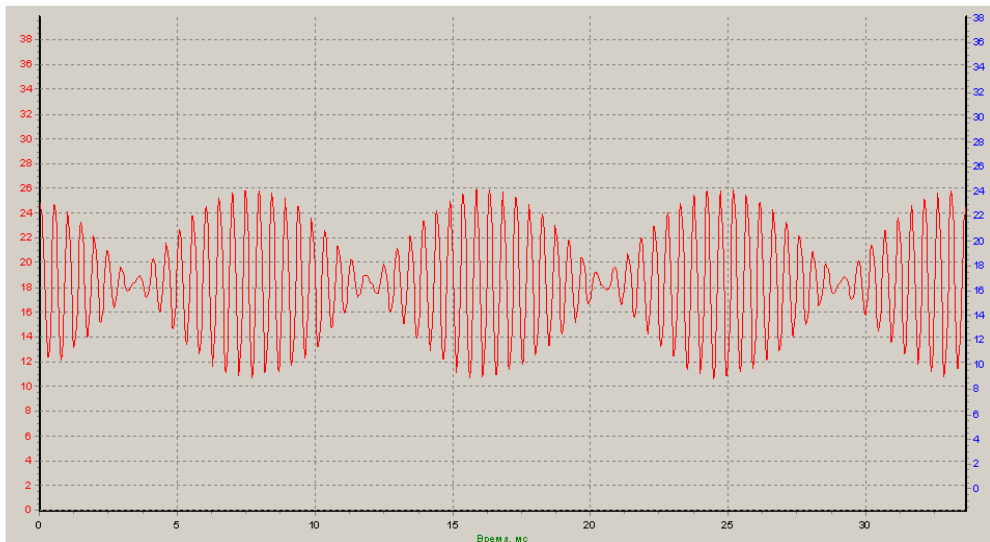


Рис. 7. Одержаний на екрані USB осцилографу амплітудно-модульований сигнал із частотою 2000 Гц та коефіцієнтом модуляції $m = 1$

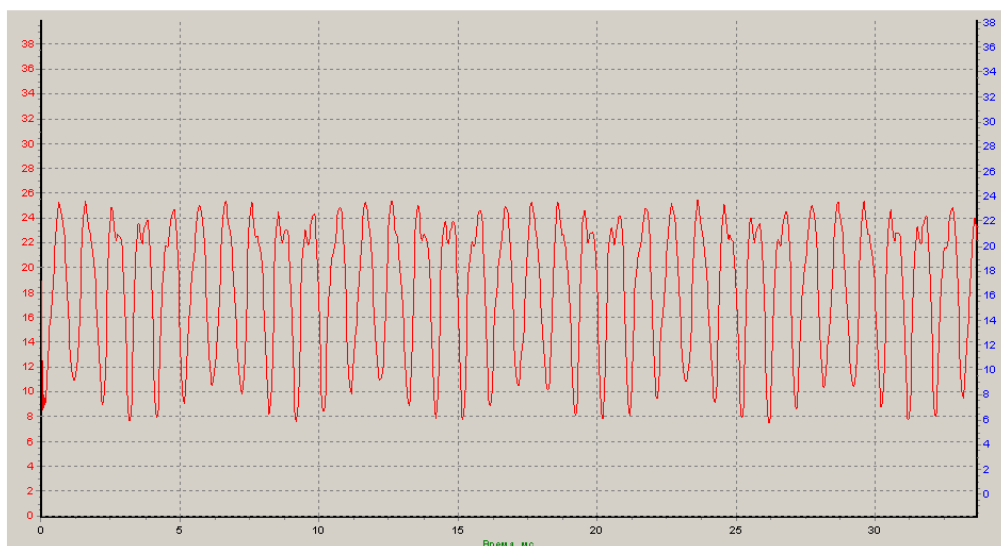


Рис. 8. Одержаний на екрані USB осцилографу амплітудно-модульований сигнал із частотою 1000 Гц та коефіцієнтом модуляції $m = 0,15$

Висновки. Розроблений універсальний вимірювальний пристрій (USB осцилограф) дозволяє вимірювати та спостерігати отримані сигнали частотою від 50 до 50000 Гц. За допомогою даного пристрою також можна:

- проводити статистику обчислень;
- зберігати результати всіх вимірювань у вигляді векторного або

растрового рисунка для імпорту в інші програми або у файли даних для подальшого аналізу;

- роздруковувати результати всіх вимірювань.

Даний вимірювальний комплекс можна також використовувати й для інших різноманітних досліджень та спостережень.

Література

1. Разработка устройств сопряжения. Новиков Ю.В., Калашников О.А., Гуляев С.Э. – М.: Эком, 2000. – 320 с.
2. Гелль П. Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс: Пер. с франц. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК, 1999. – 144 с.
3. Ан П. Сопряжение ПК с внешними устройствами: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 320 с.
4. Агуров П. Практика программирования USB. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 624 с.
5. <http://www.cygnal.com/>
6. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
7. Опадчий Ю. Ф., Глудкин О. П., Гуров А. И. Аналоговая и цифровая электроника. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2000. – 768 с.
8. Н.А.Виноградова, Я.И.Листратов, Е.В.Свиридов. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW: Учебное пособие – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 50 с.