

В.А. ВОЗНЮК, С.М. ЦИРУЛЬНИК, В.П. ДЕНИСЮК  
Вінницький технічний коледж, Вінницький національний технічний університет

## ГЕНЕРАТОР З ПРЯМИМ ЦИФРОВИМ СИНТЕЗОМ ФОРМИ СИГНАЛУ

*У статті розглядаються практичні аспекти застосування методу прямого цифрового синтезу сигналів для побудови багатофункціонального генератора сигналів. Наводиться таблиця кодів ПЗП для формування сигналів різної форми, основні форми сигналів, що формує генератор та практична схема. Конструктивно генератор є завершеним, тому представлено зовнішній вигляд генератора з прямим цифровим синтезом форми сигналу та особливості роботи з ним.*

*Ключові слова: прямий цифровий синтез, DDS генератор, мікроконтролер.*

V. A. VOZNIUK, S. M. TSYRULNYK, V.P. DENYSIUK  
Vinnitskyi technical college, Vinnitskyi national technical university

### GENERATOR WITH DIRECT DIGITAL SYNTHESIS WAVEFORM

*Abstract – The article deals with the practical aspects of the method of direct digital synthesis signal to build a multi-signal generator. Multi-function generator is based on microcontroller ATMEGA16, which is used as a generator, a frequency divider, counter, ROM. This paper presents the ROM code tables to signal different shapes, basic parameters, which forms generator and practical scheme. Structurally, the generator is complete, as represented by the appearance of the generator with direct digital synthesis waveform and features with it.*

*Keywords: Direct Digital Synthesis, DDS generator, microcontroller.*

### Вступ

Під терміном "синтезатор частоти" розуміють електронний пристрій, здатний формувати з опорної частоти на виході необхідну частоту або набір частот, згідно з сигналами, що управляють. Найбільш поширеними є такі методи синтезу частот [1, 2]:

- прямий аналоговий синтез (Direct Analog Synthesis, DAS) на основі структури змішувач/фільтр/ділник, при якому вихідна частота утворюється безпосередньо з опорної частоти за допомогою операцій змішування, фільтрації, множення і ділення;
- непрямий (indirect) синтез на основі фазового автоматичного підстроювання частоти (Phase Locked Loop, PLL), при якому вихідна частота формується за допомогою додаткового генератора, охопленого петлею ФАПЧ;
- прямий цифровий синтез (Direct Digital Synthesis, DDS), при якому вихідний сигнал синтезується цифровими методами;
- гібридний синтез, що є комбінацією декількох методів, описаних вище.

Прямий цифровий синтез – відносно новий метод синтезу частоти, генерований ним сигнал синтезується з властивою цифровим системам точністю. Частота, амплітуда і фаза сигналу у будь-який момент часу точно відомі і підконтрольні. Високі технічні характеристики стали причиною того, що останнім часом DDS витісняють звичайні аналогові синтезатори частот. Основні переваги DDS :

- дуже високе розділення по частоті і фазі, управління якими здійснюється в цифровому виді;
- швидкий перехід на іншу частоту без спотворення форми сигналу, пов'язаних з часом встановлення;
- архітектура DDS, зважаючи на дуже малий крок перебудови по частоті, виключає необхідність застосування точного підстроювання опорної частоти, а також забезпечує можливість параметричної температурної компенсації;
- цифровий інтерфейс дозволяє легко реалізувати управління на мікроконтролері.

### Актуальність

Ні в кого не викликає сумніву важливість експериментальних досліджень при вивченні дисциплін з циклу професійної та практичної підготовки усіх технічних спеціальностей. Однак організація експериментальних досліджень викликає серйозні ускладнення. Добра навчальна лабораторія повинна мати сучасне вимірювальне обладнання й кваліфікований персонал, здатний його підтримувати в робочому стані. Утримання навчальним закладом такої лабораторії являється складною задачею.

Спеціалізовані лабораторії Вінницького технічного коледжу, Вінницького національного технічного університету вимагають застосування генераторів аналогових та цифрових сигналів різного частотного діапазону під час навчального процесу. Застосування приладів, які є в наявності не задовольняють потреби лабораторій. По-перше, ці прилади знаходяться в експлуатації більше 20 років. Ефективність їх роботи невисока. Частина з них не працює, а ремонту вони не підлягають, так як відсутня елементна база для їх ремонту; друга частина працює, однак, параметри їх за рахунок старіння радіоелементів вийшли за паспортні дані. Покращити ситуацію можна двома способами. По-перше, можна придбати нові прилади, але вартість їх перевищує фінансові можливості навчального закладу. Другим способом є розробка та виготовлення вимірювальних приладів на сучасній елементній базі власними силами.

## Постановка задачі

Розробити багатофункціональний генератор, що формує сигнали: синусоїдальний, прямокутні імпульси, пилкоподібні імпульси, трикутні імпульси, електрокардіограму (ЕКГ), шум в діапазоні частот 0 – 65535 Гц з кроком установки частоти – 1, 10, 100, 1000, 10000 Гц та амплітудою вихідного сигналу 0 – 5 В.

## Розв'язання задачі

DDS генератор дозволяє отримати на виході сигнал спеціальної форми заданої частоти. Оскільки в DDS формування вихідного сигналу відбувається в цифровій формі, то в структуру DDS генератора повинний входити цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) [3–5]. На виході ЦАП встановлюється фільтр нижніх частот (ФНЧ) для подавлення високочастотних складових сигналу. Для отримання синусоїдального сигналу на вхід ЦАП необхідно подати послідовність відліків функції з частотою дискретизації  $F_{CLK}$ . Методом формування відліків функції  $\sin$  є табличний метод [6, 7]. Таблиця перекодування (Look Up Table) найчастіше розміщується в ПЗП. Код, який подається на адресні входи ПЗП, є аргументом функції  $\sin$ , а вихідний код ПЗП дорівнює значенню функції для цього аргументу. Аргумент функції  $\sin$  або фаза, на відміну від значення функції, міняється в часі лінійно. Сформувати послідовність кодів, що лінійно міняється в часі, набагато простіше. Це здатний зробити простий двійковий лічильник. Тому DDS генератор складається з двійкового лічильника, який формує адресу для ПЗП, де записана таблиця одного періоду функції  $\sin$ ; відліки з виходу ПЗП поступають на ЦАП, який формує на виході синусоїдальний сигнал, що піддається фільтрації у ФНЧ. Для зміни вихідної частоти використовується дільник зі змінним коефіцієнтом ділення, на вхід якого поступає тактовий сигнал з опорного генератора. Для отримання сигналів іншої форми можна використати різні підходи, що наводяться в [7], які зводяться до табличного методу, однак їх формування набагато простіше, ніж синусоїдального сигналу. Структурна схема формування синусоїдального сигналу зображена на рисунку 1.

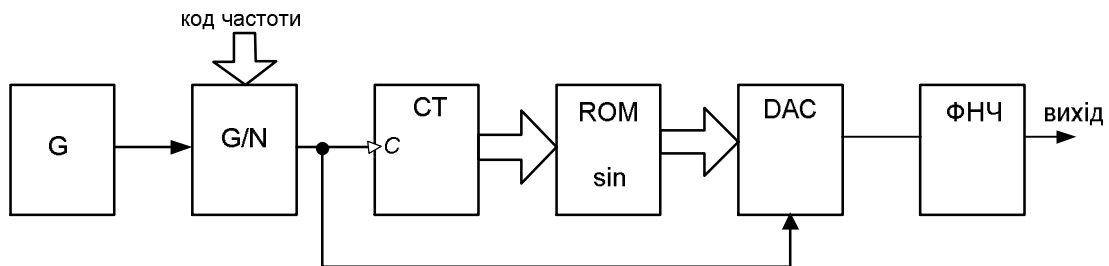


Рис. 1. Структурна схема формування синусоїдального сигналу методом прямого синтезу частоти

Частота вихідного сигналу визначається формулою:

$$F_{OUT} = M \times F_{CLK} / 2^N,$$

де  $F_{OUT}$  – вихідна частота;  $F_{CLK}$  – тактова частота;  $M$  – код частоти;  $N$  – розрядність лічильника.

Крок перестройки частоти дорівнює:

$$\Delta F_{OUT} = F_{CLK} / 2^N.$$

При тактовій частоті мікроконтролера 16 МГц і розрядності лічильника 24, крок перестройки частоти близько 1 Гц.

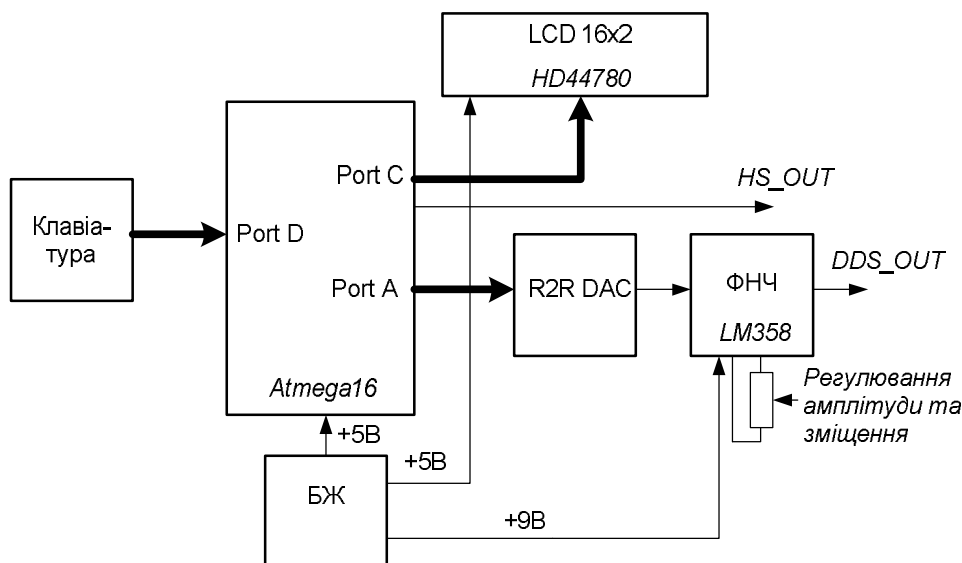


Рис. 2. Блок-схема DDS генератора



Роботою генератора прямого синтезу форми сигналу управляє мікроконтролер DD1. Високочастотний сигнал поступає безпосередньо з мікроконтролера з виводу PD5 (OC1A). DDS сигнал формується мікроконтролером з використанням матриці резисторів R2R (ЦАП); регулювання зміщення (R8) і амплітуди (R22) можливе завдяки використанню операційного підсилювача LM358N (DA2) з низьким споживанням. Вихідний сигнал проходить через пасивний RC фільтр (R27, C10, R29) с частотою зрізу 10 МГц, який покращує спектр сигналу, фільтруючи вищі гармоніки. Усі режими роботи і налаштування відображаються на індикаторі (HG1) на основі контролера HD44780. Управління здійснюється за допомогою п'яти кнопок. Кнопки Up (вгору) і Down (вниз) використовуються для переміщення між пунктами меню, кнопки Left (ліворуч) та Right (праворуч) використовуються для зміни значення частоти. Кнопка Start/Stop – запускає/зупиняє генерацію сигналів. Напруга живлення +9 В використовуються для живлення операційного підсилювача LM358N (DA2) за схемою з одно полярним живленням. Для цього використовуються дільники R7, R9, C6 та R19, R20, C7. Стабілізатор напруги +5 В на DA1 використовується для живлення мікроконтролера DD1 та індикатора HL1. Практична конструкція генератора розроблена та виготовлена у Вінницькому технічному коледжі і наведена на рисунку 3.

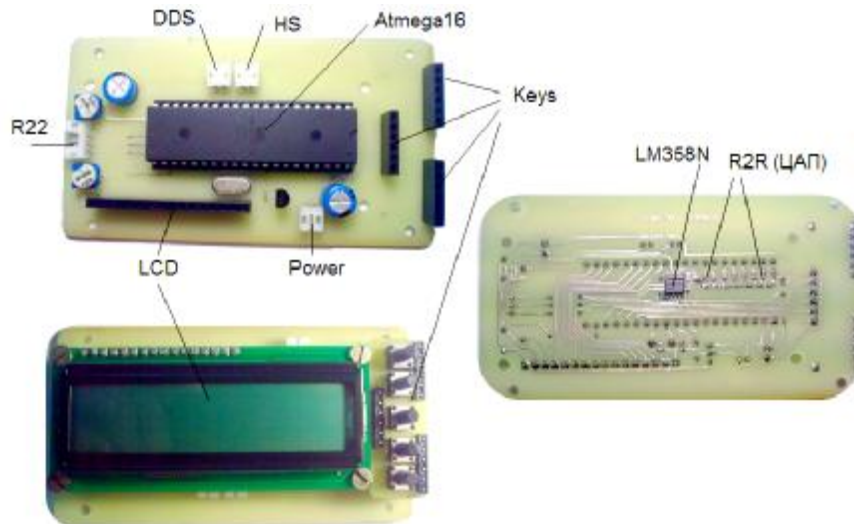


Рис. 3. Практична конструкція генератора з прямим цифровим синтезом форми сигналу

Електрична схема генератора наведена на рисунку 4.

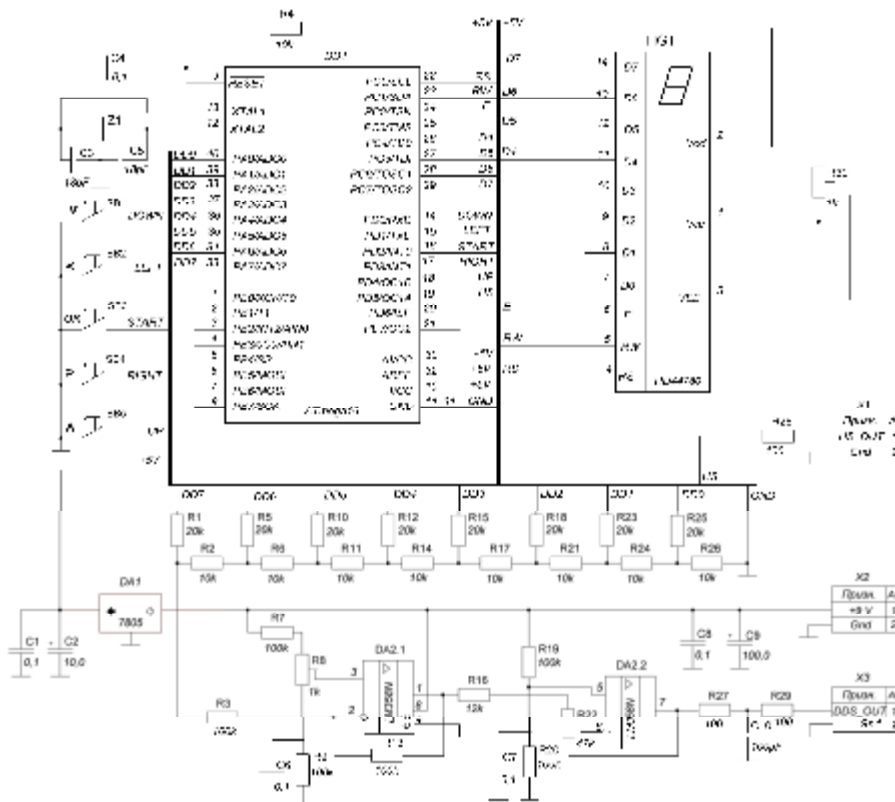


Рис. 4. Електрична схема генератора з прямим цифровим синтезом форми сигналу

Зовнішній вигляд генератора наведений на рисунку 5.

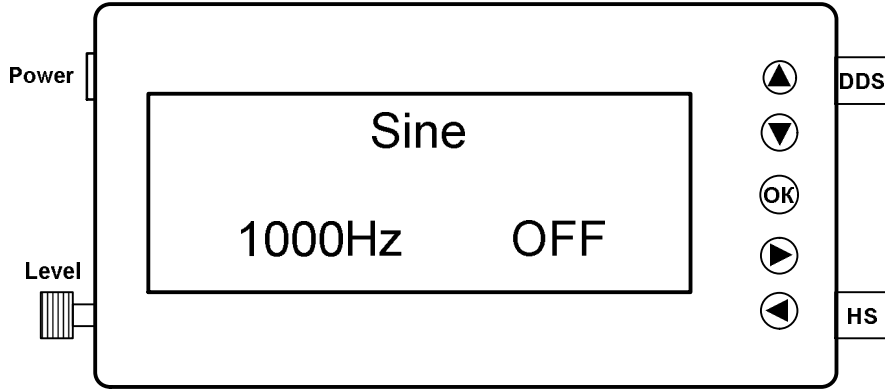


Рис. 5. Зовнішній вигляд генератора з прямим цифровим синтезом форми сигналу

До гнізда «Power» підключається стабілізований блок живлення з напругою +9 В. Режим роботи задається кнопками Up (p) і Down (q), які використовуються для переміщення між пунктами меню (рисунок 5), кнопки Left (t) та Right (u) використовуються для зміни значення частоти. Кнопка Start/Stop (OK) – запускає/зупиняє генерацію сигналів. Вихідний сигнал для режиму «High Speed» знімається з гнізда «HS». Для всіх інших режимів роботи вихідний сигнал знімається з гнізда «DDS». Регулятором «Level» змінюється амплітуда вихідного сигналу.

У меню є окремий пункт, в якому змінюється крок установки частоти (Freq Step). Ця опція дозволяє міняти значення частоти для усіх сигналів в широкому діапазоні з мінімальною кількістю натиснень кнопок і переходів по меню. Крок установки частоти 1, 10, 100, 1000, 10000 Гц вибирається кнопки t та u.

При генерації шуму установка частоти не потрібна – використовується проста функція генерації випадкового числа, результат якої безперервно поступає на вихід DDS.

Значення частоти високочастотного сигналу можна вибрати 1 МГц, 2 МГц, 4 МГц і 8 МГц.

Робота генератора була перевірена за допомогою осцилографа і частотоміра. На рисунку 6 наведені основні форми сигналу, що виробляє генератор.

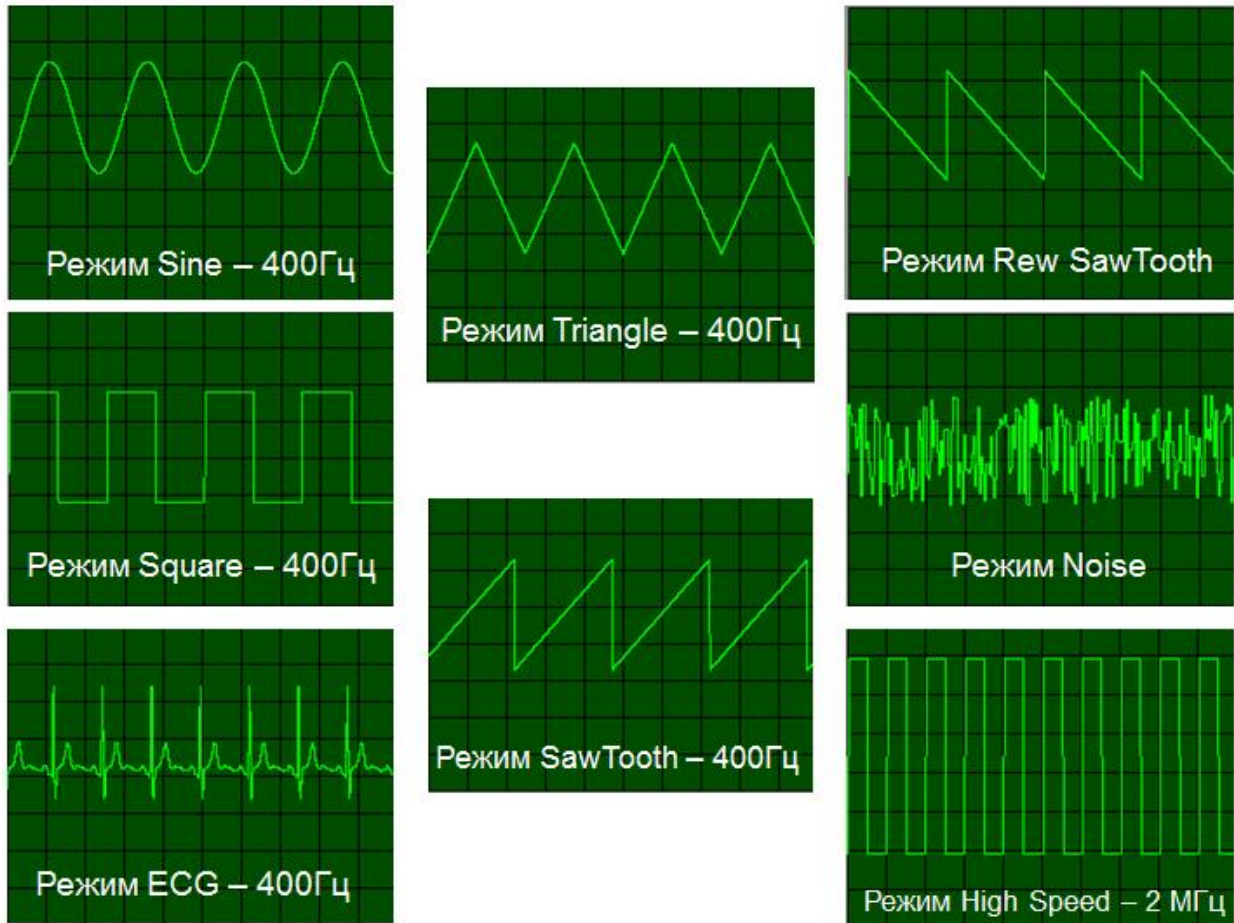


Рис. 6. Основні форми сигналів, що формує генератор з прямим цифровим синтезом форми сигналів

**Висновки**

Підготовка фахівців з радіоелектроніки неможлива без організації й проведення лабораторних практикумів по базових навчальних дисциплінах природничо-наукової, загальної професійної й спеціальної підготовки. У той же час добре відомо, що лабораторні роботи є найбільш дорогим видом навчальних занять, організація якого на сучасному рівні виявляється практично недоступною з економічних причин для більшості навчальних закладів в Україні.

Запропонований генератор з прямим цифровим синтезом форми сигналу по силам виготовити власними силами навчальним закладом і дозволяє покращити якісь підготовки фахівців з радіоелектроніки у вищих навчальних закладах України.

**Література**

1. Ридико Л. DDS: прямой цифровой синтез частоты/ Л. Ридико// Компоненты и технологии. – 2001. – № 7. – С. 50–56.
2. Стариков О. Прямой цифровой синтез частоты и его применение / О. Стариков // Инженерная практика. – 2002. – № 3 (66). – С. 5–64.
3. Офіційна web-сторінка TELESYSTEMS [Електронний ресурс] / Низкочастотный синусоидальный генератор с шагом сетки 0,01 Гц. – Режим доступа : <http://www.530.ru/electronics/projects.php?do=p035>, вільний. – Загл. з екрана. – Мова рос.
4. Офіційна web-сторінка фірми ELECTRONICS-LAB [Електронний ресурс] / Функциональный генератор НЧ сигналов на основе DDS с применением контроллера AVR ATmega16. – Режим доступа : <http://electronics-lab.ru/blog/47.html>, вільний.
5. Хлюпин Н. Лабораторный генератор сигналов на DDS / Н. Хлюпин // Радио. – 2009. – № 8. – С. 15.
6. Основи мікропроцесорної техніки: лабораторний практикум / В.Ю. Кучерук, В.О. Поджаренко, О.М. Васілевський., С.М. Цирульник. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 183 с.
7. Трамперт В. Измерение, управление и регулировка с помощью AVR микроконтроллеров/ В. Трамперт; пер. с нем. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 208 с. – ISBN 966-8806-14-X.
8. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров./ Сост. Ю.А. Шпак. – К. : "МК-Пресс", 2006. – 400 с.– ISBN 966-8806-16-6.

**References**

1. Rydyko L. DDS: priamoj tsyfrovoy synteze chastoty/ L. Rydyko// Komponenty y tekhnolohyy. – 2001. – # 7. – S. 50-56.
2. Starykov O. Priamoj tsyfrovoy synteze chastoty y eho prymenenye/ O. Starykov// Ynzhenernaia praktyka . – 2002. – #3(66). – S. 56/
3. Ofitsiina web-storinka TELESYSTEMS [Elektronnyi resurs] / Nyzkochastotnyi synusoidalnyi henerator s shahom setky 0,01 Hts. – Rezhym dostupu: <http://www.530.ru/electronics/projects.php?do=p035>, vilnyi. – Zahl. z ekrana. – Mova ros.
4. Ofitsiina web-storinka firmy ELECTRONICS-LAB [Elektronnyi resurs] / Funktsionalnyi henerator NCh syhnalov na osnove DDS s prymenenyem kontrollera AVR ATmega16. – Rezhym dostupu: <http://electronics-lab.ru/blog/47.html>, vilnyi. – Zahl. z ekrana.
5. Khliupyn N. Laboratornyi henerator syhnalov na DDS / N. Khliupyn // Radyo. – 2009. – # 8. – S. 15.
6. Osnovy mikroprotsesornoj tekhniki: laboratornyi praktykum/ V. Yu. Kucheruk, V. O. Podzharenko, O. M. Vasilevskiy., S. M. Tsyulnyk. – Vinnytsia : VNTU, 2011. – 183 s.
7. Trampert V. Yzmerenye, upravlenye y rehulyrovka s pomoshchiu AVR mykrokontrollerov/ V. Trampert; per. s nem. – K.: «МК-Press», 2006. – 208 s. – ISBN 966-8806-14-X.
8. Prohrammyrovanye na yazyke S dlia AVR y RIS mykrokontrollerov./ Sost. Yu.A. Shpak. – K: "МК-Press", 2006. – 400 s.– ISBN 966-8806-16-6.

Рецензія/Peer review : 25.4.2013 р.                      Надрукована/Printed :18.6.2013 р.  
Рецензент: д.т.н., професор кафедри ТКСТБ, директор інституту радіотехніки, зв'язку та приладобудування Вінницького національного технічного університету, Кичак В. М.