

УДК 621.317

Ю.О. КРИХТІН

*Військова частина А0785, Україна***КАЛІБРАТОР БІНАРНИХ СИГНАЛІВ З НОРМОВАНИМ СПЕКТРОМ:
ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Проаналізовано можливі принципи побудови калібраторів сигналів з нормованим спектром (СНС). Розроблено макет калібратора бінарних СНС, основною складовою якого є мікроконтролер (МК) від компанії Microchip, проведено його експериментальні дослідження та наведені їх результати.

сигнал з нормованим спектром, калібратор, мікроконтролер, експериментальна установка**Вступ**

Постановка задачі. Перспективним напрямком розвитку апаратури для частотної ідентифікації різноманітних лінійних динамічних систем, таких, як селективні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), різні види чотириполюсників тощо, є застосування калібраторів полігармонічних СНС [1]. Такий підхід дозволяє значно зменшити трудомісткість виконання вимірювальних операцій та в ряді випадків суттєво збільшити міжповірочні інтервали для ЗВТ [2].

Особливе місце серед різноманітних видів СНС займають бінарні сигнали, оскільки вони мають найкращі показники завадозахищеності та найпростішу апаратурну реалізацію калібратора. В статті [3] розглянуто декілька цифрових методів синтезу бінарних СНС та наведено теоретичні результати їх моделювання в сучасному математичному пакеті MATLAB. З метою перевірки отриманих результатів необхідно провести експериментальні дослідження, спрямовані на розробку електричних схем, виготовлення макета калібратора бінарних СНС, а також визначення його метрологічних характеристик.

Аналіз літератури. Класичний підхід до побудови калібраторів СНС заснований на так званій жорсткій логіці, що передбачає використання певної низки дискретних елементів, зокрема мікросхем пам'яті, лічильників, цифрових компараторів, цифровоаналогових перетворювачів, модулів логічних

операцій та ін. [4, 5]. Відомі недоліки даного підходу обумовили перехід до нових, більш перспективних принципів побудови калібраторів СНС, в основі яких лежить застосування сучасних МК відомих світових виробників схемотехнічних пристроїв, наприклад, Motorola, Analog Devices, Microchip, Atmel тощо [6]. Калібратори СНС, що побудовані за таким принципом, мають мінімум зовнішніх елементів, до того ж зміна режиму роботи калібратора полягає лише в модифікації програмного забезпечення.

Метою статті є обґрунтування та подання одного з варіантів апаратурної реалізації калібратора бінарних СНС на базі МК, а також проведення й аналіз результатів експериментальних досліджень.

**Калібратор бінарних сигналів
з нормованим спектром**

Серед великої чисельності типів МК значною популярністю користуються так звані PIC-контролери від компанії Microchip Technology Incorporated, до основних переваг яких відносять розвинену периферію, високу надійність, низьку ціну та енергоспоживання, а також велику номенклатуру, що дозволяє вибрати необхідний тип контролера з урахуванням розв'язуваних завдань.

Як приклад розглянемо застосування контролера PIC16F628A-I/P у складі калібратора бінарного СНС з рівномірним амплітудним спектром у певному діапазоні частот [3].

Даний МК є представником середнього сімейства 8-розрядних контролерів, серед головних достоїнств яких виділяють наявність Flash-пам'яті, що допускає електричне перепрограмування, широкий діапазон однополярних напруг живлення, низьке енергоспоживання (нановатна технологія) тощо.

Інші властивості запропонованого МК, його структурна схема та основні характеристики освітлені у фірмовому керівництві на МК [7]. Відзначимо

тільки, що головними периферійними складовими МК PIC16F628A-I/P, які приймають участь у формуванні бінарних сигналів, є 16-розрядний таймер TMR1, Flash-пам'ять програм, а також модуль CCP1 (Capture/ Compare/ Pulse Width Modulation – Захват/ порівняння/ широтно-імпульсна модуляція).

Один з найпростіших варіантів підключення обраного мікроконтролера як формувача бінарних СНС наведений на рис. 1.

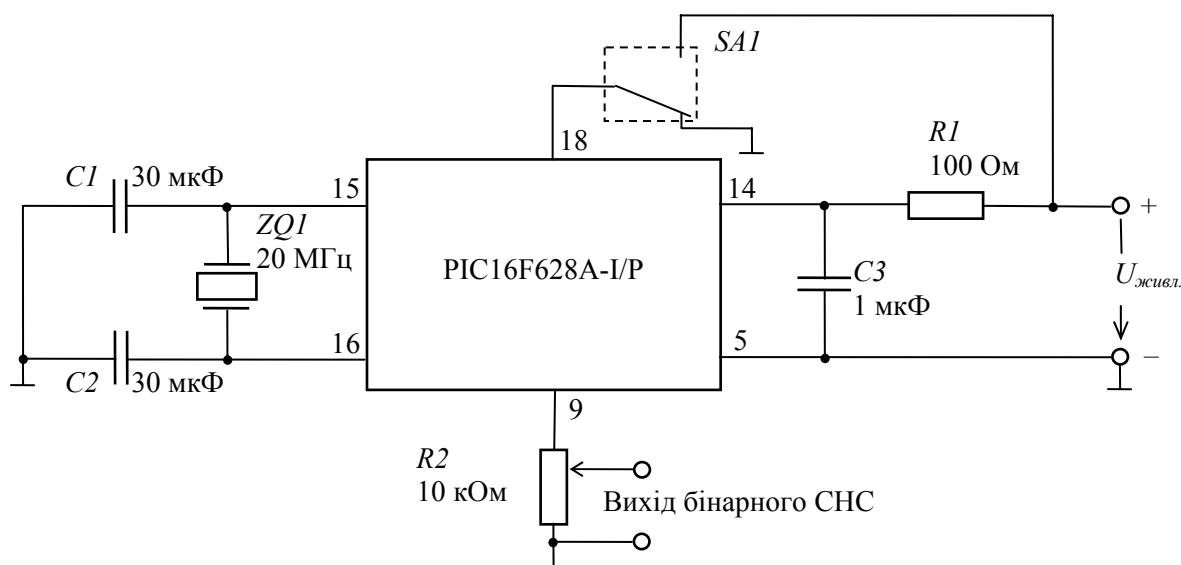


Рис. 1. Калібратор бінарного СНС на базі мікроконтролера PIC16F628A-I/P

Подамо призначення виводів МК, задіяних в роботі калібратора:

- 14 (V_{DD}) додатна напруга живлення;
- 5 (V_{SS}) загальний вивід;
- 16 (PORTA<OSC1>) вхід тактового генератора;
- 15 (PORTA<OSC2>) вихід тактового генератора;
- 9 (PORTB<CCP1>) модуль широтно-імпульсної модуляції;
- 18 (PORTA<RA1>) 1-й біт двонаправленого порту А в режимі входу.

Варто зазначити, що мінімальна кількість виводів МК, задіяних для синтезу бінарного СНС, може складати не 6, як зображено на схемі, а лише 3. По-перше, оскільки МК має у своєму складі внутрішній тактовий генератор частотою 4 МГц, то зовнішнє тактування, зокрема з частотою 20 МГц від кварцового резонатора ZQ1, не є обов'язковим. Проте ви-

бір зовнішнього тактового генератора обумовлений переважно меншою похибкою відтворення сигналу за рахунок дискретизації. Крім того, вхід 18 є також опційним, адже він призначений для генерації одного з двох сигналів, коди яких знаходяться в пам'яті калібратора. Наприклад, коли на вході PORTA<RA1> присутній постійний сигнал високого рівня, то відтворюється СНС, оптимальний за одним критерієм, а за умови присутності на вході PORTA<RA1> сигналу низького рівня, синтезу підлягає СНС, оптимальний за іншим критерієм. Амплітуда бінарного СНС регулюється за допомогою потенціометра R2.

Основна ідея методики синтезу бінарних СНС за допомогою МК PIC16F628A-I/P полягає в ітераційному порівнянні 16-розрядного коду, пропорційного тривалості конкретного імпульсу, зі значенням вбу-

дованого таймера TMR1 у режимі реального часу. В тому разі, коли відбувся збіг кодів, на виході PORTB<CCP1> контролера залежно від значень інших додаткових параметрів встановлюється або низький або високий рівень. Таким чином здійснюється перебір усіх кодів, що відповідають тривалостям імпульсів на інтервалі одного періоду, перемінно змінюючи рівень на виході PORTB<CCP1>. Аналогічно відтворюються другий, третій та наступні періоди бінарного СНС.

Написання програми роботи МК виконується на мові асемблера MPASM з використанням набору інструкцій, які підтримує обраний контролер. Набір програми можна здійснити в будь-якому текстовому редакторі, а після цього надати вихідному файлу розширення "asm".

Налагодження та компіляція програми реалізуються у фірмовому інтегрованому середовищі розробки для PIC-контролерів MPLAB IDE. Вбудований в дане середовище засіб для налагодження (симулятор) MPLAB SIM дозволяє зручно провести покрокову або неперервну імітацію роботи МК за розробленою програмою з одночасним показом поточних значень регістрів, стану портів та інших периферійних пристроїв контролера. Результатом успішної компіляції програми є файл з розширенням "hex", який містить 16-річний машинний код, придатний для подальшого його занесення до Flash-пам'яті програм МК.

З використанням середовища MPLAB IDE можна також здійснити і програмування контролера, проте даний підхід передбачає наявність достатньо коштовного універсального фірмового програматора, наприклад, PICSTART Plus або PRO MATE II. Тому в даній роботі було обрано більш економічний варіант, що потребує лише найпростішого програматора з послідовним інтерфейсом RS232, наприклад, JDM [8] або іншого, та програмного середовища IC-Prog, що підтримує значну кількість різноманітних програматорів та мікроконтролерів.

Експериментальні дослідження

За вищезгаляним принципом було створено макет калібрувальника бінарного СНС, а також програматор для PIC-контролера, які зображено на рис. 2.



Рис. 2. Калібратор бінарних СНС (ліворуч) та програматор МК PIC16F628A-I/P (праворуч)

Для перевірки правильності роботи макету було сформульовано наступну задачу: необхідно отримати рівномірний спектр амплітуд гармонік у діапазоні частот від 100 Гц до 2000 Гц з розділенням 100 Гц. Розмах бінарного сигналу задано 2 В. В результаті розв'язання поставленої задачі оптимізації за методом [3] отримано точки переключення СНС на інтервалі одного періоду. Кодові еквіваленти тривалостей імпульсів СНС разом з програмою роботи контролера за допомогою програматора було внесено до пам'яті програм МК.

Для дослідження метрологічних характеристик калібрувальника СНС зібрано вимірювальну установку, що представлена на рис. 3, 4.

Розглянемо призначення її складових елементів:

- персональний комп'ютер (ПК) фірми Samsung з математичним пакетом MATLAB для оптимізації СНС за точками переключення відповідно до обраної цільової функції, а також для програмування контролера через послідовний порт типу COM;
- осцилограф С1-114/1 для візуального спостереження форми сигналу та вимірювання часових характеристик СНС (тривалостей імпульсів);



Рис. 3. Установка для дослідження метрологічних характеристик калібратора бінарних СНС

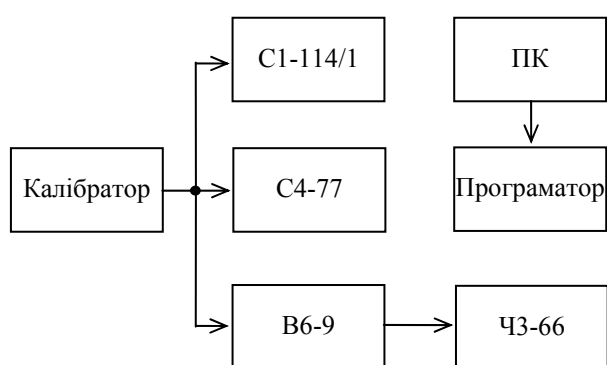


Рис. 4. Структурна схема установки, зображеної на рис. 3

- аналізатор спектра С4-77 для візуального спостереження спектра амплітуд СНС і для вимірювання середньоквадратичних значень (СКЗ) гармонік;
- селективний вольтметр В6-9 для вимірювання СКЗ гармонік;
- частотомір електронно-лічильний ЧЗ-66 для вимірювання частоти спектральних складових СНС.

Оцилограма та спектрограма реального сигналу, отримані з використанням вимірювальної установки, подані на рис. 5.

Під час проведення експерименту були виконані багатократні (по 35 спостережень) прямі вимірювання амплітуди кожної корисної гармонічної складової. Їх результати, зокрема оцінки математичного сподівання та СКВ, подані в табл. 1. Теоретичне середнє значення амплітуд перших 20-ти гармонік бінарного СНС складає 255,057 мВ при відносному розкиді $2,2 \cdot 10^{-4} \%$.

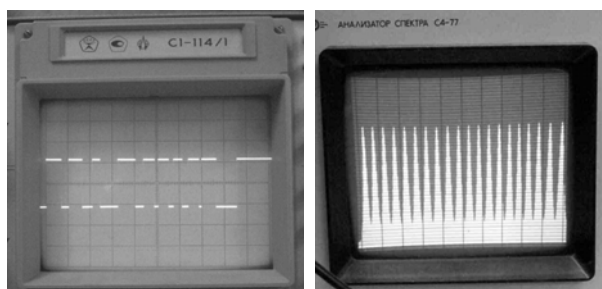


Рис. 5. Оцилограма (ліворуч) та спектрограма (праворуч) бінарного СНС з рівномірним амплітудним спектром в діапазоні частот від 100 Гц до 2000 Гц

Таблиця 1
Результати обробки експериментальних даних

№ гармоніки	Розрахунок	Експеримент	
	Амплітуда гармоніки, мВ	Оцінка математичного сподівання, мВ	Оцінка СКВ результату вимірювання, мВ
1	255,057	256,140	0,163
2	255,057	255,114	0,149
3	255,057	256,439	0,146
4	255,057	255,004	0,152
5	255,056	253,487	0,149
6	255,057	256,060	0,156
7	255,056	257,471	0,144
8	255,057	256,590	0,138
9	255,056	256,075	0,145
10	255,056	254,982	0,142
11	255,057	253,130	0,156
12	255,056	255,881	0,150
13	255,056	254,384	0,137
14	255,057	253,257	0,140
15	255,056	255,391	0,148
16	255,057	256,672	0,144
17	255,057	255,927	0,137
18	255,057	257,554	0,161
19	255,056	257,365	0,143
20	255,056	252,851	0,165

Висновки

Запропонований калібратор СНС у порівнянні з класичною апаратною реалізацією має значно покращені масогабаритні характеристики, оскільки в одному корпусі МК знаходяться багато периферійних модулів, що замінюють чимало дискретних елементів, причому деякі функції останніх можуть просто виконуватися програмно, що сприяє підвищенню рівня універсалізації калібратора та значному скороченню часу на його розробку. Обраний

PIC-контролер, збудований за нановатною технологією, має дуже низьке енергоспоживання, що може дозволити йому працювати від однієї літієвої батареї приблизно 10 років [9]. Функціональна гнучкість розробленого калібратора забезпечується наявністю серед периферії МК енергонезалежної Flash-пам'яті програм, яка допускає майже необмежену кількість циклів перепрограмування. Крім того, додаванням певної кількості зовнішніх елементів можна значно підвищити функціональні можливості калібратора, зокрема його універсальність та автономність. Так, введення цифроаналогового перетворювача дозволить відтворювати СНС не тільки бінарної, але й довільної форми, зокрема, сигналів типу мультисинус. А застосування спеціальних мікросхем або додаткових контролерів універсальних послідовних інтерфейсів, наприклад, RS232 або USB, забезпечить повне управління роботою калібратора, в тому числі внутрішнє програмування МК, за допомогою персонального комп'ютера.

Результати експериментальних досліджень розробленого макету калібратора бінарних сигналів з нормованим спектром підтверджують близькість теоретичних та практичних характеристик спектра. Похибки експерименту обумовлені переважно похибками ЗВТ (приблизно 10 %), за допомогою яких проводилося вимірювання амплітуд корисних гармонічних складових.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на аналіз складових інструментальної похибки відтворення каліброваного спектра амплітуд та отримання сумарної похибки калібратора сигналів з нормованим спектром.

Література

1. Чинков В.М., Крихтін Ю.О. Застосування сигналів з нормованим спектром для метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки // Збірник наукових праць Одеського ордена Леніна інсти-

туту Сухопутних військ. – Одеса: ООЛІСВ, 2006. – Вип. 12. – С. 132-135.

2. Павленко Ю.Ф., Славинский С.И. Вопросы метрологического обеспечения анализаторов спектра // Український метрологічний журнал. – 1999. – № 3. – С. 35-42; № 4. – С. 23-26.

3. Чинков В.М., Крихтін Ю.О. Цифрові методи синтезу полігармонічних сигналів з нормованим спектром // Український метрологічний журнал. – 2006. – № 2. – С. 23-29.

4. Сикарев А.А., Лебедев О.Н. Микропроцессорные устройства формирования и обработки сложных сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 216 с.

5. Любчик В.Р. Вимірювання частотних характеристик радіосигналами з прямокутною обвідною спектра: Дис...канд. тех. наук: 05.11.08. – Вінниця, 2001. – 174 с.

6. Curtis K. Analog Design in a Digital World Using Mixed Signal Controllers. Microchip Application Notes AN823. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.microchip.com>.

7. PIC16F627A/628A/648A Flash-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology. Note DS40044B. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.microchip.com>.

8. JDM [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.jdm.homepage.dk/newpics.htm>.

9. Оробець І.О. Проблеми забезпечення єдності вимірювань при повірці і атестації засобів обліку енергоносіїв, виконаних на базі мікропроцесорів // Наукові праці 5 Міжнародної науково-технічної конференції „Метрологія та вимірювальна техніка” (Метрологія – 2006). – Х.: Національний науковий центр “Інститут метрології”, 2006. – С. 86-88.

Надійшла до редакції 31.10.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Чинков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.