

УДК 623.004.67

О.М. Іванов, Д.С. Горбаньов, А.М. Науменко

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ФОРМУВАННЯ СИНУСОЇДНИХ СИГНАЛІВ ЦИФРОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ

*Аналізуються принципи побудови калібратора фазових зсувів між двома гармонічними напругами на основі цифроаналогових перетворювачів з цифроаналоговим синтезом вимірювальних сигналів та обґрунтована можливість застосування його як вихідного еталону фазових зсувів.*

**Ключові слова:** калібратор, фаза, сигнал, частота.

### Вступ

**Постановка задачі.** Однією з головних характеристик коливального процесу, яка визначає його стан в заданий момент часу, є фаза [3–4]. Питання кількісної оцінки фазових співвідношень напруг і струмів являє собою великий практичний інтерес як з точки зору обліку коефіцієнта потужності ( $\cos \varphi$ ) промислових установок сильного струму, так і при випробуваннях та налаштуванні різноманітних пристроїв, які і використовуються в техніці слабого струмуопору. Точне встановлення фазових співвідношень напруг, діючих в колах зворотнього зв'язку підсилювачів, генераторів та інших пристроях, забезпечує значне покращення вихідних параметрів радіовимірювальної апаратури. Тому аналіз можливих принципів побудови калібраторів фазового зсуву, розробка більш досконалого калібратора фазового зсуву між двома гармонічними сигналами, який за своїми метрологічними характеристиками міг би замінити вихідний еталон фазових зсувів набуває дуже великої актуальності.

**Аналіз літератури** В відомій літературі [1–6] розглядаються принципи побудови калібратора фазових зсувів між двома гармонічними напругами, але в цій літературі не визначаються питання, що пов'язані з дослідженням принципів побудови калібраторів фазових зсувів з використанням ЦАП та методів цифроаналогового синтезу сигналів.

**Метою статті** є дослідження принципів побудови калібраторів фазових зсувів між двома гармонічними напругами на основі цифроаналогових перетворювачів з цифроаналоговим синтезом вимірювальних сигналів та обґрунтування можливості застосування його як вихідного еталону фазових зсувів.

### Основний матеріал

Роль генераторів синусоїдних сигналів у системах контролю різних об'єктів та при метрологічному обслуговуванні вимірювальних засобів безперервно зростає. Разом з тим і вимоги до їх характе-

ристик стають все більш жорсткими. Серед них насаперед слід назвати:

- наближення форми реального сигналу до ідеальної, синусоїдної;
- підвищення точності задання та стабільності параметрів вихідного сигналу;
- зменшення часу перехідних процесів;
- автоматизація керування його режимами;
- забезпечення інформаційного сполучення із засобами обчислювальної техніки та з системними приладами.

Аналогові генератори мають певні резерви для подальшого вдосконалення в указаних напрямках, але ці вдосконалення пов'язані з серйозними технічними труднощами та мають досить обмежені можливості. Природним виходом з цього стану стали цифрові генератори, які ґрунтуються на принципах цифроаналогового перетворення, тобто на заданні кодів миттєвих значень сигналів у визначені дискретні моменти часу та їхнє перетворення в аналоговий сигнал за допомогою цифроаналогового перетворювача. Тим самим, потрібний сигнал  $u(t)$  апроксимується з певною точністю сигналами іншої форми  $u_a(t)$ , наприклад, кусково-східчастої, лінійно-східчастої та лінійної.

У теперішній час випускаються цифрові генератори синусоїдних і спеціальних сигналів, але їх подальший розвиток суттєво обмежується відсутністю розвиненої теорії аналізу основних характеристик вихідних сигналів цифрових генераторів (спектрального) складу та коефіцієнта гармонік. На цей час найбільше розповсюдження в цифрових генераторах знаходить кусково-східчаста апроксимація.

Усі цифрові генератори з кусково-східчастою апроксимацією, незалежно від її виду, можна зобразити узагальненою структурною схемою на рис. 1.

Генератор імпульсів є мірою часових інтервалів  $T_0$ , при накопиченні яких формуються моменти дискретизації  $t_i$  кусково-східчастого сигналу  $u(t)$ , що апроксимує синусоїдний сигнал  $i=1, p$  де  $p$  – число сходинок на період сигналу. Цю функцію виконує блок задання моментів апроксимації  $t_i$ : він формує,

залежно від виду апроксимації, рівномірну або нерівномірну послідовність імпульсів, які потрапляють на вхід реверсивного лічильника. Код поточного числа імпульсів, записаного в реверсивному лічильнику, подається на кодові входи цифроаналогового

перетворювача ЦАП і на його виході виникає кусково-східчаста напруга  $u(t)$ . Значення рівнів цієї напруги задаються реверсивним лічильником і визначаються законом зміни опорів у ЦАП.

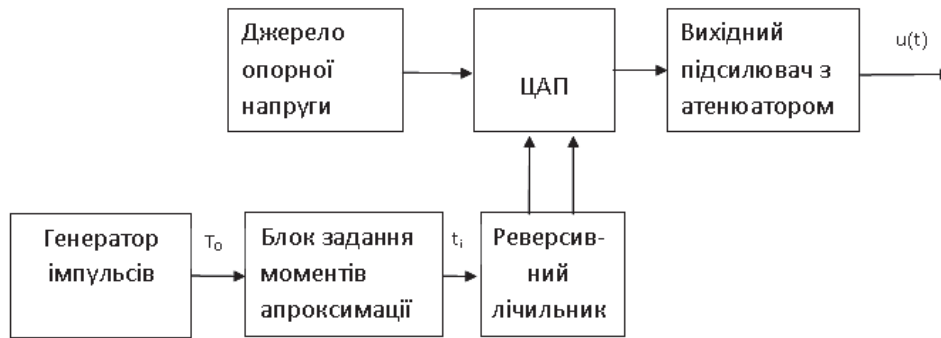


Рис. 1. Узагальнена структурна схема цифрового генератора з кусково-східчастою апроксимацією

Залежно від виду апроксимації цифроаналоговий перетворювач ЦАП підбраний так, що напруга на його виході  $u(t)$  змінюється за тим самим законом. Функціональний ЦАП використовується при рівномірній апроксимації за часом та оптимальній апроксимації. Лінійний ЦАП використовується при рівномірній апроксимації за рівнем, при цьому опорні ЦАП і сходи напруги на його виходах змінюються рівномірно. Функціональний (нелінійний) ЦАП може бути замінений лінійним, якщо між реверсивним лічильником і ЦАП увімкнута постійний запам'ятовуючий пристрій ПЗП, в який записують коди миттєвих значень  $u_i = u(t_i)$ ,  $i=1, p$  сигналу, розраховані при проектуванні генератора. Оскільки синусоїдна функція симетрична, то її можна формувати або за чверть періоду ( $p/4$  моменти апроксимації) або за півперіоду ( $p/2$  моменти апроксимації) з відповідними перемиканням режиму роботи реверсивного лічильника (підсумовування і віднімання) і режиму роботи ЦАП (полярність формованого сигналу). Для покращення якості вихідного сигналу між ЦАП і вихідними підсилювачем може вмикатися ФНЧ (він може входити до складу підсилювача), який заглушує вище гармонічні складові у вихідному сигналі генератора.

Регулювання амплітуди вихідного сигналу цифрових генераторів здійснюється за допомогою подільника напруги або атенюатора, коефіцієнт передачі яких можна змінювати не тільки вручну, як у аналогових генераторів, але й автоматично за певною програмою.

Більш складним виявляється питання перебудови частоти  $f$  вихідного сигналу цифрових генераторів. Найпростіше воно вирішується при рівномірній апроксимації за часом. У таких генераторах функції блока задання моментів дискретизації  $t_i$  виконує подільник частоти, коефіцієнт ділення  $k_d$  якого встановлюється згідно зі співвідношенням:

$$f = f_0 / (pk_d).$$

Його недоліком є невисока стабільність частоти вихідного сигналу, яка ідентична нестабільності генератора імпульсів. Тому в цифрових генераторах, прецизійних за частотою, доцільним є інший принцип її перебудови. Полягає він в одержанні високостабільних коливань шляхом ділення частоти кварцового генератора подільником частоти зі змінним коефіцієнтом ділення.

В цьому разі нестабільність частоти визначається дуже малою нестабільністю частоти кварцового генератора. Проте такий принцип побудови частоти призводить до нелінійної залежності частоти  $f$  від змінного коефіцієнта ділення  $k_d$ , що не дозволяє проградувати частотну шкалу генератора безпосередньо в одиницях частоти.

Цього недоліку можна позбутися, застосувавши мікропроцесор для лінеаризації шкали генератора. Для розширення частотного діапазону сучасних цифрових генераторів, наприклад типу Г4-153, використовується кусково-східчастий метод формування сигналів спільно з двома іншими методами. Спрощена структурна схема таких генераторів приведена на рис. 2. У цих генераторах кожному методу формування відповідає свій частотний канал і діапазон частот. У першому, високочастотному, каналі синусоїдна напруга  $u(t)$  знімається безпосередньо з генератора, керованого напругою, частота якого перестроюється в діапазоні (1,0–11) МГц. У другому частотному каналі, який перебиває діапазон (0,1–1,0) МГц, синусоїдну напругу одержують виділенням основної гармоніки послідовності прямокутних імпульсів типу меандр, що формуються за допомогою подільника частоти 1 з коефіцієнтом ділення  $k_d = 10$ , та блока фільтрів ФНЧ1. Блок ФНЧ1 має п'ять фільтрів з різними смугами пропускання.

Цифровий метод формування „синусоїдної” кусково-східчастої напруги реалізований у третьому частотному каналі з діапазоном частот від 10 Гц до 100 Гц. Піддіпазони частот у цьому каналі задаються декадним змінюванням коефіцієнта ділення подільника частоти 2, а сигнал  $u(t)$  формується за допомогою ЦАП і одного з фільтрів блока ФНЧ2 з відповідною смугою пропускання. Частотні канали через керований аналоговий комутатор вмикаються до вихідного пристрою. Однією з задач є розширення частотного діапазону сигналів, що формується в цифровому (третьому) каналі.

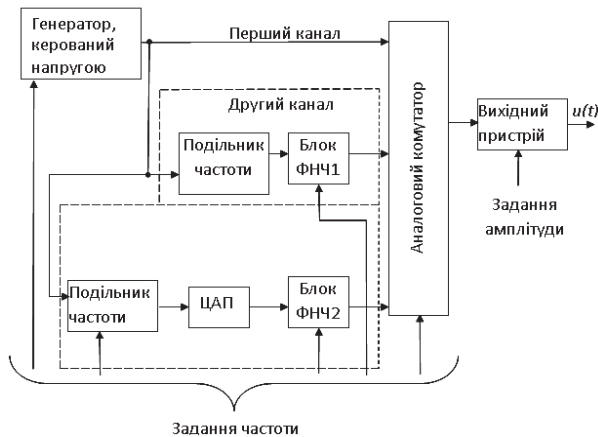


Рис. 2. Структурна схема комбінованого генератора синусоїдних сигналів

## Висновки

1. Використання ЦАП під час побудови калібраторів фазових зсувів дозволяє перейти від класичних методів формування сигналів до цифроаналогового синтезу.

2. Це забезпечує значні переваги. А саме: істотне підвищення метрологічних характеристик калібраторів (точності задання параметрів та їх стабільності); зменшення часу перехідних процесів при перестройці параметрів вихідного вихідного сигналу калібратора; спрощення задання та перестройки параметрів сигналів за будь-яким законом, у тому числі дистанційно; підвищення надійності та контропридатності калібраторів за рахунок використання переважно цифрової мікросхемотехніки; зменшення масогабаритних показників калібраторів; значне зменшення вартості калібраторів.

## Список літератури

1. Закон України „Про метрологію та метрологічну діяльність”. Урядовий кур’єр, №06. – 14.06.2015 р.
2. Чинков В.М. Основи метрології та виміральної техніки: підручн. / В.М. Чинков, – Х.: ХВУ, 2001. – 424 с.
3. Фарсане Н.Г. Технологічні виміри й прилади / Н.Г. Фарсане, Л.В. Ілясов. – Г.: Вища школа, 1999. – 340 с.
4. Чинков В.М. Цифрові засоби виміральної техніки військового призначення: підручн. / В.М. Чинков. Ч. 2. – Х.: ХУПС, 2007. – 275 с.
5. Волович Г.І. Схемотехніка аналогових і аналогово-цифрових електронних пристроїв / Г.І. Волович. – М.: Видавничий дім «Додэка-XXI», 2005. – 528 с.
6. Микросхеми пам’яті, ЦАП і АЦП: справочн. / О.Н. Лебедев, А.К. Марцинкявичюс. – М.: КУБК-а, 1996. – 384 с.

Надійшла до редколегії 18.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ФОРМИРОВАНИЯ СИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ЦИФРОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

А.Н. Иванов, Д.С. Горбанев, А.Н. Науменко

Анализируются принципы построения калибратора фазовых сдвигов между двумя гармоническими напряжениями на основе цифроаналоговых преобразователей с цифроаналоговым синтезом измерительных сигналов и обоснована возможность применения его как исходного эталона фазовых сдвигов.

**Ключевые слова:** калибратор, фаза, сигнал, частота.

## ANALYSIS PRINCIPLES FORMING SINUSOID SIGNALS OF DIGITAL GENERATORS

O. Ivanov, D. Gorbanev, A. Naumenko

Principles of construction of calibrator of phase changes are analysed between two harmonic tensions on the basis of numberanalog transformers with the numberanalog synthesis of measurings signals and possibility of application of him is grounded as an initial standard of phase changes.

**Keywords:** calibrator, phase, signal, frequency.