

**АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ  
СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНИХ ПОЛІГАРМОНІЧНИХ СИГНАЛІВ  
З НОРМОВАНИМ СПЕКТРОМ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО  
СТАНУ  
ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ**

д.т.н., проф. В.М. Чинков, Ю.О. Крихтін

*Проведено аналіз традиційних та перспективних методів формування полігармонічних сигналів (ПГС) з нормованим спектром та узагальнено основні критерії синтезу ПГС для підвищення ефективності проведення заходів метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки.*

Велика кількість контрольованих параметрів та характеристик складних зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) порушують проблему підвищення ефективності вимірювань на всіх етапах їх життєвого циклу. Вирішення цієї проблеми полягає у виконанні комплексних заходів, направлених на вдосконалення системи метрологічного забезпечення військ, підвищення точності та оперативності проведення операцій вимірювального контролю, впровадження у вимірювальний процес нових технічних засобів, створених на принципово інших (нетрадиційних) методах конструювання та вимірювання. Як показано в [1], перспективним та наукоємним напрямком розвитку вимірювальної техніки є застосування калібраторів сигналів (мір фізичних величин), вбудованих у засоби вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВІ), що дозволяє значно підвищити термін безвідмовної роботи приладів за рахунок скорочення операцій повірки (калібрування) та збільшення міжповірочних інтервалів. Крім того, синтезатори сигналів використовуються в системах випробувань та контролю зразків ОВТ (контрольно-перевірочних комплексах, випробувальних стендах тощо). Подання потрібного каліброваного сигналу з певними характеристиками на об'єкт контролю (ОК) підвищує якість та оперативність проведення операцій технічного обслуговування, спрощує процес повірки (калібрування) ЗВТВІ, сприяє створенню універсальних автоматизованих вимірювальних систем.

Переважає більшість зразків ОВТ належить до так званих лінійних динамічних систем, комплексна оцінка технічного стану яких передбачає проведення великої кількості вимірювань із застосуванням калібраторів змінних сигналів різного виду. Проте майже всі вони мають спільну характерну рису: контроль їхнього функціонування здійснюється на сітці дискретних частот, кратних основній частоті. Тому, з метрологічної точки зору, найбільший інтерес мають калібратори сигналів з дискретним характером амплі-

тудно-частотного спектра. Не зупиняючись на спектральних властивостях деяких сигналів, відзначимо, що вищезгаданим вимогам відповідають детерміновані періодичні сигнали, які надалі й будемо розглядати. Останні, у порівнянні з іншими видами сигналів (за класифікацією [2]), мають наступні переваги: по-перше, вся інформація міститься у їх реалізації за період, а по-друге, вони мають більший коефіцієнт використання потужності та позбавлені певних труднощів у формуванні.

Детальний аналіз застосування різних видів таких сигналів, що синтезуються існуючими калібраторами, дозволяє стверджувати, що значне розповсюдження у контрольно-вимірвальній техніці мають сигнали синусоїдної (квазісинусоїдної) форми. До їх основних переваг слід віднести високу точність, завадозахищеність та простоту обробки вимірвальної інформації [3]. Але сигнали подібної форми неоптимальні та неефективні при контролі та дослідженні таких систем, у яких інформативним параметром є форма та спектральний склад вхідного сигналу (аналізatori спектра, аналізatori частотних характеристик, панорамні частотні приймачі, вимірвачі нелінійних викривлень, селективні вольтметри, вимірвальні підсилювачі тощо), оскільки для виконання вимірвальної операції потрібно послідовно задавати контрольні частоти вимірвального сигналу, а це значно знижує оперативність та підвищує працездатність калібрування. Цього суттєвого недоліку можна уникнути, якщо для визначення технічного стану ОК використовувати полігармонічні сигнали, спектральний склад яких охоплює контрольні частоти ОК.

Конкретні методи формування ПГС з нормованим спектром доцільно розглядати з позиції їх практичного застосування. З цією метою зупинимося на особливостях метрологічного обслуговування одного з найскладніших типів ЗВТВП – низькочастотних аналізаторів спектра (АС). Метрологічна практика показує, що перевірка АС за допомогою тільки синусоїдного сигналу не дозволяє виявити похибку, пов'язану з нелінійністю вхідних вузлів приладу, до того ж, точність та стабільність ЗВТВП, які використовуються під час перевірки амплітудних характеристик АС, не завжди відповідають встановленим вимогам [4]. Тому актуальність цього питання полягає в необхідності створення прецизійних калібраторів ПГС – високостабільних джерел (мір) амплітудних та амплітудно-частотних характеристик (АЧХ), що дозволить значно зменшити обсяг повірочних (випробувальних) робіт та збільшити міжповірочний інтервал для АС з одного до трьох років [5].

Відповідно до [6], основними критеріями синтезу ПГС є наступні: мінімальна нерівномірність амплітуд спектральних складових ПГС; переважна концентрація потужності спектра ПГС у діапазоні контрольних частот ОК; підвищена завадозахищеність; простота апаратної реалізації калібатора. Тому за основу аналізу існуючих методів та засобів формування ПГС можна прийняти їх відповідність даним критеріям.

Взагалі всі методи синтезу ПГС умовно поділяються на традиційні (засновані на використанні класичних принципів вимірювань) та нетра-

диційні (в основу яких покладено застосування передових інформаційно-вимірjувальних технологій, наприклад, цифрового синтезу сигналів).

До першої групи можна віднести методи, які запропоновані у [7, 8]. Характерною особливістю роботи [7] є розробка ряду модифікацій методів повірки АС, до речі, відтворення спектра з каліброваним відносним рівнем спектральних складових, а також формування сигналу з каліброваним і змінюваним в широкому діапазоні абсолютним рівнем однієї з спектральних складових із використанням зразкових джерел модульованих сигналів. В основу цих методів покладені залежності бокових спектральних складових від коефіцієнта амплітудної модуляції та зв'язок амплітуд спектральних складових, пропорційних функціям Бесселя першого роду, з модулюючою напругою.

Основним недоліком даних методів є, по-перше, те, що для отримання відносної похибки відтворення спектра порядку 1 % необхідно використовувати зразкові установки для повірки вимірjувачів амплітудної (К2-34, К2-55) та частотної (К2-38, К2-54) модуляції, що не завжди можливо, особливо під час проведення метрологічного обслуговування ЗВТВП у польових умовах, а по-друге, модульовані сигнали не є оптимальними за критеріями заводозахисності та простоти формування.

Оригінальні методи синтезу ПГС розроблено в [8], де пропонується для повірки АС використовувати різноманітні імпульсні сигнали. Доведено, що такий вид сигналу як послідовність імпульсних серій (довільної форми), період яких є кратним періоду імпульсів в серії, дозволяє отримати зміну амплітуд гармонік у каліброване число разів та каліброване відношення амплітуд двох спектральних складових. Найбільший інтерес в цій роботі має метод визначення параметрів АЧХ тракту АС. Виходячи з необхідності отримання ПГС з широкополосним спектром та однаковими амплітудами гармонік, як найзручнішого сигналу для контролю даного параметра АС, автор досліджує бінарний сигнал (послідовність прямокутних імпульсів), який при певних умовах задовольняє даним вимогам.

Вибір сигналу такої форми цілком обґрунтовано, оскільки основною його перевагою є найбільша за всіх заводозахисність, бо в кожен момент часу бінарні сигнали приймають значення або  $Um$ , або  $-Um$ , забезпечуючи при будь-якому рівні завади високе значення відношення сигнал-завада [6]. Крім того, при виготовленні калібратора не потребується значних апаратурних затрат, що досить суттєво в сучасних умовах. Проте, не зважаючи на це, вищезрозглянутий метод має деякі недоліки, які полягають в неефективному розподілі потужності гармонічних складових в області контрольних частот ОК та призводять до зниження коефіцієнта використання потужності калібратора.

Значне покращення характеристик ПГС досягнуто в [6], де для контролю каналів тональної частоти запропоновано використовувати оптимальний бінарний сигнал з модуляцією тривалості імпульсів, що дозволяє суттєво зменшити відносний розкид амплітуд корисних спектральних складових вимірjувального сигналу відносно їх середнього значення.

Подальше удосконалення методу потребує складного закону модуляції тривалості імпульсів, який можна реалізувати у програмно-алгоритмічних калібраторах, побудованих на сучасній мікросхемотехніці. Процес отримання певного спектрального складу ПГС полягатиме у заданні контрольних точок сигналу у часовій області, якими виступатимуть моменти зміни полярності імпульсів у періодичній послідовності, які будуть попередньо розраховуватися в залежності від необхідних значень параметрів ПГС на обчислювальних пристроях та вводиться відповідним чином у програму роботи калібратора.

Перспективним напрямком розвитку даних методів є вирішення оптимізаційної задачі багатокритеріального синтезу [9], спрощення алгоритмічних процедур обчислення параметрів сигналу, розгляд та можливість застосування у процесі метрологічного обслуговування ОК сигналів довільної форми, які можуть призвести до покращення їх характеристик.

Калібратори складних зразкових сигналів, в тому числі й полігармонічних, застосовуватимуться не тільки у стаціонарних умовах військових метрологічних лабораторій. Актуальність даного напрямку на сучасному етапі пов'язана також із створенням мобільного комплексу еталонів військового призначення, інтенсивним використанням пересувних лабораторій вимірювальної техніки та переходом до методів оцінки технічного стану вбудованих контрольно-вимірювальних засобів безпосередньо на зразках ОБТ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Чинков В.Н. Основные тенденции развития цифровой измерительной техники // *Український метрологічний журнал*. – 1996. – № 2-3. – С.27 – 30.
2. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. – М.: Сов. радио, 1978. – 304 с.
3. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.
4. Измерения в электронике: Справочник / Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 512 с.
5. Павленко Ю.Ф., Славинский С.И. Вопросы метрологического обеспечения анализаторов спектра // *УМЖ*. – 1999. – № 3. – С. 35 – 42, № 4. – С. 23 – 26.
6. Минц М.Я., Чинков В.Н. Оптимизация измерительного сигнала для эксплуатационного контроля систем передачи информации и связи // *Измерительная техника*. – 1994. – № 5. – С. 52 – 55.
7. Славинський С.І. Розробка методів та засобів для метрологічного забезпечення аналізаторів спектра електричних сигналів (послідовної дії): Автореферат дисертації. – Х.: НТУ “ХПИ”, 2000. – 17 с.
8. Бойченко В.Д. Исследование возможности проверки анализаторов спектра по сигналам с нормированным спектром: Автореферат диссертации. – М., 1981. – 15 с.
9. Кириллов С.Н., Бакке А.В. Многокритериальный синтез фазоманипулированных сигналов // *Радиотехника*. – 1997. – № 2. – С. 21 – 24.

Поступила 5.08.2002

**ЧИНКОВ Віктор Миколайович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри ХВУ. У 1962 році закінчив ХПІ. Область наукових інтересів – цифрова обробка інформації та метрологічне забезпечення ОБТ.

**КРИХТІН Юрій Александрович**, молодший науковий співробітник Наукового метрологічного центру (військових еталонів). У 2001 році закінчив ХВУ. Область наукових інтересів – метрологічне забезпечення ОВТ.

---