

УДК 326.391

В.І. СЛЮСАР¹, І.В. ТІТОВ², І.І. СЛЮСАР³, Ю.В. УТКІН³¹ *Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки, Україна*² *Харківський університет Повітряних сил ім. Івана Кожедуба, Україна*³ *Полтавський військовий інститут зв'язку, Україна*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДІВ КОРЕКЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕДАВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ЦИФРОВОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ

В статті наводиться опис натурального експерименту щодо підтвердження працездатності (ефективності) розробленого раніше методу корекції амплітудно-частотних характеристик передавальних каналів цифрової антенної решітки (ЦАР). Експеримент проводився з використанням модулів цифрової обробки сигналів (ЦОС) – ADC100AS2.

цифрова антенна решітка, експеримент, цифрова обробка сигналів, корекція

Вступ

При використанні технології цифрового діаграмоутворення в системах зв'язку для підвищення надійності та правильності передачі даних виникає потреба в корегуванні амплітудно-частотних характеристик каналів ЦАР (рис. 1) не тільки на прийом, а й на передачу.

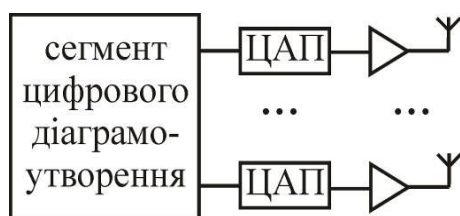


Рис. 1. Функціональна схема ЦАР

В [1] був запропонований метод корекції амплітудно-частотних характеристик передавальних каналів ЦАР, проаналізовані загальні підходи щодо вимірювання амплітуд сигналів, що випромінюються та визначення коефіцієнтів корекції. При цьому було проведено моделювання розроблених методів корекції амплітудно-частотних характеристик каналів ЦАР в спеціалізованому пакеті Mathcad. Однак, в [1] не були розглянуті можливості щодо їх практичної реалізації в сучасних системах зв'язку на основі технологій ЦДУ або МІМО, та не перевірена ефективність їх застосування.

Тому метою статті є узагальнення результатів перевірки працездатності (ефективності) розроблених методів корекції характеристик передавальних каналів активної ЦАР.

Вирішення задачі

Для вирішення цієї задачі був проведений натурний експеримент з використанням модулів цифрової обробки сигналів (ЦОС) – ADC100AS2 фірми "Пульсар-ЛТД" (м. Дніпропетровськ, Україна) [2]. Даний пристрій (рис. 2) має технічні характеристики, що наведені в табл. 1. Основною особливістю ADC100AS2 є наявність інтерфейсу PCI в режимі "MASTER" (DMA, швидкість передачі даних не менш 100 Мбайт/с) [2], що дозволяє застосовувати їх спільно зі звичайним комп'ютером.

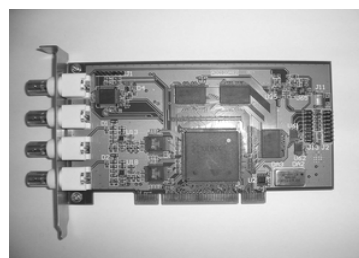


Рис. 2. Модуль ЦОС ADC100AS2

Аналогова частина пристрою зібрана на основі мікросхем АЦП AD9432 (12-Bit, 105 MSPS) фірми Analog Devices (США) [3]. При цьому ADC100AS2

дозволяє виконувати перетворення аналогових сигналів в цифрові коди, зберігання цих кодів і передачу їх по шині PCI, а також синтезувати аналоговий сигнал довільної форми з частотою до 100 МГц.

Використання програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) сімейства Virtex фірми Xilinx [4] дозволяє перепрограмувати пристрій ADC100AS2 для реалізації обробки аналогових і цифрових сигналів у відповідності до необхідних алгоритмів. Як наслідок, центральний процесор не бере участь в передачі даних з модуля ЦОС в пам'ять комп'ютера і може виконувати в цей час інші задачі. Слід звернути увагу, що ADC100AS2 підтримує режим роботи із зовнішньою або внутрішньою синхронізацією запуску процесу дискретизації, а також видачу синхроімпульсу запуску зовнішнього процесу.

Таблиця 1

Технічні характеристики модулю ЦОС ADC100AS2

Тип шини обміну даних	Master - PCI 32/33
Кількість каналів АЦП	2
Розрядність АЦП, біт	12
Максимальна частота дискретизації, МГц	100
Розрядність ЦАП, біт	14
Вхідний опір аналогового входу, Ом	50±1
Діапазон вхідного сигналу, В, не більше	±1
Вхідний опір лінії для цифрових сигналів, Ом	50±1
Максимальний об'єм буферного ЗП, відліків сигналу на канал	256 К
Споживана потужність, Вт, не більше	7
Напруга живлення, В	5, 12

Для проведення експерименту використовувалось 4 модуля ЦОС, з яких 3 шт. застосовувалось для моделювання передавального сегменту лінійної еквідистантної 3-канальної ЦАР. На приймальній стороні використовувався 4-й модуль, який здійснював оцифровку сигнальної суміші. Така схема експерименту дозволяла вимірювати амплітуди сигналів, що випромінювались, аналогічно ідеї, що покладена в основу систем зв'язку типу SIMO (Single-Input – Multiple-Output). Для виконання процедур

ЦОС використовувалось по одному комп'ютеру на приймальній та передавальній стороні. Спрощена схема макету, створеного для експериментальної перевірки синтезованих методів корекції, наведена на рис. 3.

З метою одночасного початку синтезу аналогових сигналів на передавальній стороні та процесу оцифровки на приймальній стороні використовувався сигнал з LPT-порту комп'ютера.

При проведенні експерименту вводились наступні обмеження:

- приймальний сегмент знаходився у дальній зоні, що дозволяло вважати фронт хвилі прийнятого сигналу плоским;
- рівні сигналів узгоджені з динамічним діапазоном ЦАП та АЦП;
- відсутні зсув частот прийнятих сигналів та вплив зовнішніх завад.

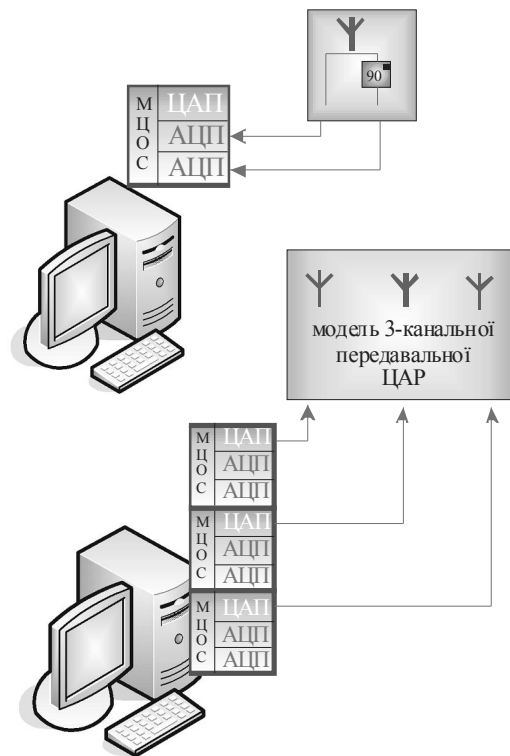


Рис. 3. Експериментальний макет

Згідно [1], для підвищення точності оцінювання квадратурних складових амплітуд в передавальних каналах, що тестуються, використовувались сигнали з ортогональною частотною дискретною модуляці-

єю (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM). При цьому для всіх передавальних модулів задавалась однакова тривалість кадрів OFDM, а допустиме число сигналів в кожному із них визначалось відношенням числа точок швидкого перетворення Фур'є, що використовувались для формування на приймальній стороні сітки частотних фільтрів, до числа передавальних каналів.

Для проведення корекції (1), (2) [1] номінали частот сигналів в каналах передавальної ЦАР вибирались таким чином, щоб уникнути їх повторень. Дотримання цих вимог дозволяє здійснювати роздільне вимірювання на приймальній стороні квадратурних складових амплітуд сигналів, сформованих парціальними випромінювачами активної решітки, що тестується.

Виходячи із зазначених вище умов, а також враховуючи технічні можливості модулів ЦОС ADC100AS2, була обрана частота дискретизації – 25 МГц, довжина кадрів OFDM – 20,48 мкс, кількість несучих частот сигналу в кожному передавальному каналі – 6 (рознесення за частотою між ними дорівнювало 48,9 кГц).

Визначення величини відліків ЦАП кожного передавального каналу ЦАР виконувалось в окремій програмі пакету Mathcad. При проведенні першого вимірювання вважалось, що передавальні канали ідентичні, тому операції корегування їх характеристик не проводились. Надалі сформовані масиви відліків записувались через вбудовані функції Mathcad до текстових файлів. За допомогою програмного забезпечення, що поставлялось разом з модулями ЦОС, здійснювався запис визначених масивів до буферів ЦАП модулів ЦОС. Після цього починався синтез сигнальної суміші в передавальному сегменті ЦАР в циклічному режимі. Для розрахунку коефіцієнтів корекції на ЦАП подавались однакові за амплітудою та фазою сигнали. Однією із умов експерименту було те, що частоти несучих OFDM-сигналів, що випромінювались передавальним сегментом

ЦАР, на приймальній стороні були відомі.

На приймальній стороні в аналоговому сегменті формувались квадратурні складові сигнальної суміші, які оцифровувались двома АЦП модуля ЦОС.

В ході експерименту контролювались амплітуди сигналів на приймальній та передавальній стороні (рис. 4, 5, 6). Вимірювання амплітуд виконувалось в спеціалізованому пакеті Mathcad.

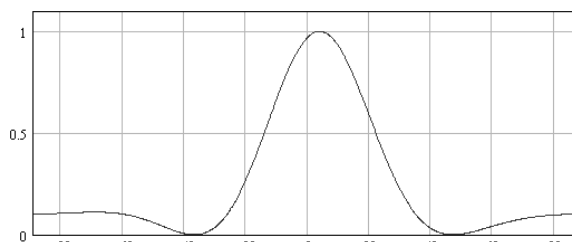


Рис. 4. Просторовий відгук передавальної ЦАР

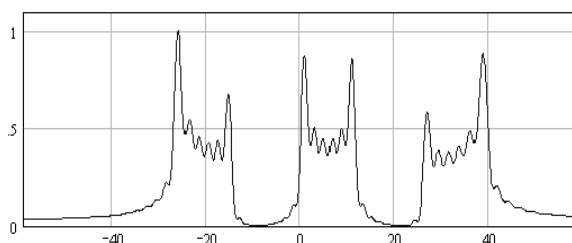


Рис. 5. Групи сигналів після ШПФ-фільтрів на приймальній стороні

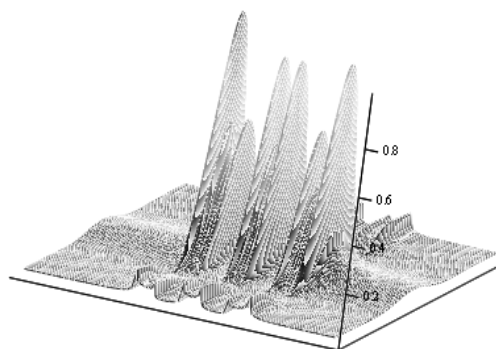


Рис. 6. Результуючий відгук приймальної системи в координатах "кут-частота"

Надалі отримані масиви відліків АЦП записувались до текстових файлів, які використовувались для розрахунку коефіцієнтів корекції при подальшій обробці сигналів в програмі Mathcad.

Отримані значення коефіцієнтів корекції враховувались у подальших циклах формування багато-частотних сигналів в передавальному сегменті лінійної еквідистантної 3-канальної ЦАР. При цьому

оцінки параметрів сигналів, що отримані на приймальній стороні, свідчили про зменшення неідентичностей характеристик передавальних каналів ЦАР.

Для наочного підтвердження ефективності розроблених методів корекції виконувалась передача та прийом повідомлень довжиною 12 буквених знаків без корекції характеристик передавальних каналів ЦАР та з корекцією. В якості інформаційного сигналу використовувались відліки АЦП, які були утворені окремою програмою в пакеті MathCad. Перша частина зазначеної програми здійснювала кодування повідомлення, яке передавалось у вигляді сигнальної суміші і являло собою послідовність всіх закодованих молодших та старших байтів. На приймальній стороні за допомогою модифікованої програми Win_do.exe виконувався запис до файлу образу сигналу, а далі друга частина MathCad-програми здійснювала декодування прийнятого повідомлення. Підтвердженням правильності виконання ЦОС була ідентичність переданого та прийнятого повідомлень, які зображені на рис. 7.

Рис. 7. Передані та прийняті повідомлення:
а – передане повідомлення; б – прийняте повідомлення без виконання процедур корекції; в – прийняте повідомлення з виконанням процедур корекції

Лише в разі застосування корекції, прийняте повідомлення повністю відповідало переданому.

Висновки

Таким чином, в ході проведення експерименту при прийнятих обмеженнях та моделюванні ЦОС за допомогою ADC100AS2 підтвердилась працездатність запропонованих в [1] методів корекції.

Слід враховувати, що використання при проведенні експерименту макету системи зв'язку, побу-

дованого на основі принципу SIMO, має поряд із такою перевагою, як відносна дешевизна, й суттєвий недолік – помилки, що виникають внаслідок неідентичностей різниць ходу сигналів з виходів випромінювачів активної ЦАР по відношенню до фазового центру антенного елементу приймача.

Тому в подальшому, з метою усунення даного недоліку планується провести експериментальне дослідження щодо підтвердження основних властивостей методів корекції характеристик передавальних каналів ЦАР експериментальної установки, в основу якої покладений принцип систем зв'язку типу MIMO. При цьому на приймальній стороні замість одноканального приймача передбачається застосування пасивної ЦАР, в якій буде відбуватись синфазне підсумовування напруг у множині приймальних каналів і формування так званого багатоканального аналізатора.

Література

1. Слюсар В.И., Титов И.В. Метод коррекции характеристик передающих каналов активной ЦАР // Радиоэлектроника. (Изв. высш. учеб. заведений) – 2004. – № 8. – С. 14-20.
2. Офіційний сайт фірми "Пульсар". – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pulsar.org.ua>.
3. Офіційний сайт фірми "Analog devices". – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу <http://www.analog.com/ru/prod>.
4. Офіційний сайт фірми "Xilinx". – [Електрон. ресурс]. – Режим доступа <http://www.xilinx.com/products>.

Надійшла до редакції 10.03.2006

Рецензент: канд. техн. наук, доцент В.В. Варич, Полтавський військовий інститут зв'язку, Полтава.