

УДК 621.396.96

Піроженко О.О.¹, Онищенко В.Ф.², Даниленко О.С.³

¹ старш. викл. каф. ІТЕЗ НУ «Запорізька політехніка»

² канд. фіз.-мат. наук, доц. каф. ІТЕЗ НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. БК-513м НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА ОПТИМІЗОВАНОГО SDR ПРИЙМАЧА

Виникла проблема ефективного використання наявного частотного ресурсу системами радіодоступу для надання абонентам інфокомунікаційних послуг з високою швидкістю доведення інформації та необхідною якістю.

Цю проблему частково вирішили системи з програмним ядром, що конфігурується, або архітектура програмно-конфігурованого радіо — Software Defined Radio (SDR), в якій функції фізичного рівня виконуються в програмному вигляді. Основні параметри задаються за допомогою програми, а пристрій має невеликий розмір та величезні функціональні можливості, але вміщається на одному кристалі.

Програмне управління апаратурою забезпечує кардинальне підвищення функціональних можливостей системи радіозв'язку шляхом підтримки адаптації (зміна швидкості передачі інформації, схеми кодування, схеми модуляції тощо) до параметрів каналу зв'язку, що змінюються, використання

спектрально-ефективних сигнально-кодових конструкцій, а також можливість переходу на інші дозволені частотні канали.

Завдяки використанню ПЛІС та високошвидкісного АЦП, можна зробити приймач, у якому навіть перенесення частоти «вниз» виробляється цифровим способом. Такий метод називається DDC (Digital Down Conversion). Використовуючи цю методику, можна спростити приймач, в якому єдиною аналоговою частиною стає АЦП.

Його основою є ПЛІС, головне завдання якого - "захопити" цифровий сигнал з АЦП, перенести його в область низьких частот, відфільтрувати та відправити результат на комп'ютер. Структурна схема реалізованого приймача наведена на рис.1.

Вся обробка сигналу після АЦП йде в ПЛІС. Потік даних з АЦП становить 200 Мбіт (10-bit x 20 MSPS). Передати такий потік безпосередньо в комп'ютер, а потім його ще й обробити дуже складно, тому частоту сигналу потрібно спеціально знизити, для цього використовують квадратурне перетворення частоти - сигнал перетворюють на комплексну форму (відбувається поділ на два канали I/Q). Перенесення на більш низьку частоту здійснюється шляхом множення вихідного сигналу на сигнал генератора.

Так як АЦП оцифровує тільки сигнали позитивного рівня, а сигнал з антени біполярний, сигнал доводиться зміщувати на половину опорної напруги. Штучно створена постійна складова потім віднімається вже з цифрового сигналу ПЛІС.

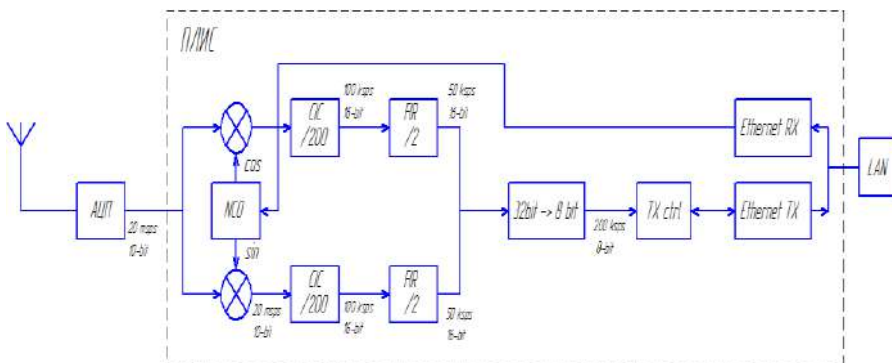


Рисунок 1 – Структурна схема розробленого SDR приймача

Для того, щоб переносити вхідний сигнал на потрібну частоту, її потрібно створити. Для цього використовується готовий компонент Quartus - NCO (numerically controlled oscillator). Подається значення, що визначає частоту, і на його виході формується цифровий синусоїдальний сигнал потрібної частоти, дискретизований з частотою 20 МГц. NCO здатний

паралельно формувати та косинусний сигнал, завдяки чому можна формувати квадратурний сигнал.

Після змішування з сигналом генератора з виходу помножувачів сигнал виходить на більш низьку частоту, але все ще з високою частотою дискретизації (20 MSPS). Сигнал потрібно децимувати, тобто відкинути частину вибірок не можна, оскільки це приведе до спотворення вихідного сигналу. Тому сигнал потрібно пропустити через спеціальний СІС-фільтр. У даному випадку ми отримували на виході приймача частоту дискретизації сигналу 50 кГц.

З цього випливає, що частота повинна бути знижена ($20 \cdot 106 / 50 \cdot 103 = 400$) разів. Децимацію довелося проводити у 2 етапи – спочатку у 200, потім у 2 рази. Перший етап виконує саме СІС-фільтр - було використано 5-каскадний фільтр.

В результаті роботи СІС-фільтр за рахунок зниження смуги сигналу збільшується розрядність вихідного сигналу. У приймачі було штучно обмежено її 16 бітами.

Оскільки каналів у приймачі два, те й фільтрів знадобиться також два.

Отриманий потік даних $((16+16)\text{bit} \times 50 \text{ KSPS} = 1.6 \text{ Mbit})$ потрібно передати на комп'ютер.

У початковому проєкті ПЛІС посилає на комп'ютер із заданою IP та MAC адресою певний UDP-пакет. Після переробки модуль Ethernet передавача міг передавати 1024 байти, зчитуючи їх із RAM. В результаті на комп'ютер в одному пакеті відправляються 256 пар 16-бітових значень сигналу взятого з виходів фільтрів. Так як дані надходять від АЦП безперервно, а відправляти їх на комп'ютер потрібно пакетами, то довелося реалізувати подвійну буферизацію пам'яті - в той час поки одна RAM заповнюється, дані з іншої RAM передаються по Ethernet. Після того, як перша RAM заповниться, обидві RAM «міняються місцями», за що відповідає досить простий модуль, що управляє.

Так як на виході фільтрів дані передаються потоком з пари 16 бітних величин, а Ethernet передаються окремі байти, то для перетворення потоків в конструкцію введений модуль, який перетворює потік 32 біт 50 KSPS в 8 біт 200 KSPS.

Як виявилось, якщо передавати потік даних зі швидкістю 1.6 Mbit, то пристрій, до якого підключено приймач, навіть не виявляє його (немає лінка). Це пов'язано з тим, що пакети даних при цьому передаються з періодом приблизно 5 мс, а для того, щоб повідомити інший мережний пристрій швидкість підключення (10 Mbit), потрібно кожні 8-24 мс передавати короткий спеціальний імпульс (NLP). Через високу частоту передачі пакетів, модуль Ethernet не встигає передавати ці імпульси, і Autonegotiation не відбувається.

Тому для того, щоб протилежний пристрій все ж таки міг визначити швидкість з'єднання, достатньо при включенні приймача тимчасово зменшити частоту передачі пакетів (у нашому випадку— в 4 рази), завдяки чому модуль Ethernet встигає передати імпульси NLP.

Для того, щоб керувати приймачем (встановлювати частоту налаштування), на нього потрібно передавати певну величину, яка використовуватиметься для визначення частоти NCO.

Для прийому цієї величини використовується компонент бібліотеки ExtIO (формат програми Winrad), модифікований для прийому даних, і видачі їх у вигляді 24 бітного числа. Оскільки модулі приймача і передавача не пов'язані друг з одним, то реалізувати ARP не можна, і це означає, що приймач нічого очікувати мати IP і MAC адреси. Надіслати інформацію на нього можна, якщо відправити в мережу ширококомовний пакет.

Фізично, як і у випадку з передавачем, мережний провід з'єднується з платою налагодження через трансформатор. Однак тут уже не можна підключатися до довільних висновків ПЛІС, оскільки сигнал є досить малим. Потрібно використовувати висновки, що підтримують інтерфейс LVDS, він є диференціальним.

Ресурси, що використовуються програмою ПЛІС:

- 5006 LE;
- 68 9-bit помножувачів (64 з них використовуються у FIR-фільтрі);
- 16,826 bit пам'яті (8 блоків M9K).

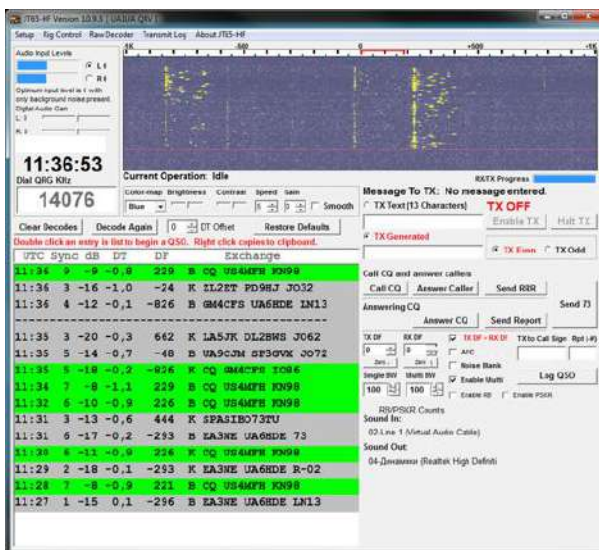


Рисунок 2 – Приклад прийому сигналу

Мінімальний помітний сигнал (MDS) становить приблизно -117 дБм. Типовий приймач зазвичай наближається до числа -120 дБм. Однак на нижніх ВЧ частотах, де домінують атмосферні та техногенні шуми, продуктивність достатня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. J. Machado Fern'andez, "Software Defined Radio: Basic Principles and Applications", «*Revista Facultad de Ingenieria*», vol. 24, 01 2015, pp. 79–96.