

УДК 621.372 (043.2)

Сабадаш С. С.

Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, Житомир

ЦИФРОВИЙ ДЕМОДУЛЯТОР РАДІОПРИЙМАЧА СТАНЦІЇ ПРИЙОМУ КОСМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

У статті представлено можливий варіант побудови цифрового демодулятора фазоманіпульованих сигналів із залишком носійного коливання ШСЗ NOAA L діапазону. Подаються результати моделювання демодулятора з використанням програмного комплексу «LabVIEW 2011».

Вступ. Сучасні дистанційні методи зондування об'єктів, особливо космічні, відкрили якісно новий етап в інформаційному забезпеченні досліджень і розробок в науках про Землю, під час вирішення завдань прогнозу погоди, природоохоронного моніторингу тощо. В наш час велику частину даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) отримують з штучних супутників Землі (ШСЗ). Дані ДЗЗ на сьогодні — це аерокосмічні знімки, які представляються в цифровій формі, як растрові зображення, тому проблематика інтерпретації даних ДЗЗ тісно пов'язана з цифровою обробкою інформації. На сьогоднішній день відомо багато ШСЗ, що передають інформацію ДЗЗ у режимі відкритого доступу, зокрема для отримання метеорологічних даних (відповідно до концепції Всесвітньої метеорологічної організації). Серед них відомі супутники погоди з полярною орбітою: NOAA (США), Meteor (Росія), Fengyun-1 (Китай) тощо [1]. Тому проблематика, що стосується розробки окремих структурних елементів або приймальних пристроїв інформації ДДЗ в цілому є досить актуальною на сьогоднішній день.

Аналіз основних досліджень та публікацій. Сучасні системи ДЗЗ передбачають сумісне функціонування двох сегментів: космічного (орбітального) та наземного [2]. До орбітального сегменту входять: базова платформа з встановленою на ній цільовою апаратурою та бортові засоби передачі інформації на Землю по радіоканалах. Наземний сегмент забезпечує управління польотами космічних апаратів, регулювання режимів роботи цільової апаратури, приймання результатів ДЗЗ, первинну і тематичну обробку тощо.

На сьогоднішній день відомо багато розробок цільової апаратури для приймання та обробки даних ДЗЗ. Серед них можна відмітити спроектовані російськими інженерами

приймальні станції «Аліса-СК», «УниСкан», «КосмЭк-АРТ», «Гиацинт», «Байкал» та інші, головним чином комерційного спрямування [3-6]. Відомі також розробки персональних приймальних станцій серед аматорів, зокрема приймач даних ДЗЗ американського метеосупутника NOAA в L діапазоні, приймач діапазону (137...141) МГц для роботи із супутниками NOAA, METEOSAT, WEFAX, Meteor тощо [7,8].

Відомо, що дані ШСЗ NOAA в L діапазоні передаються з використанням фазоманіпульованого сигналу з залишком носійного коливання (зсув фаз: $\Delta\varphi = \pm 68^\circ$) [9]. Демодулятор для прийому такого сигналу можна побудувати за відомою схемою аналогового когерентного демодулятора [10]. Такий підхід використаний авторами приймальних станцій, описаних в [4,7,8]. Але під час прийому радіосигналу з ШСЗ у міських умовах (тобто присутня негативна дія явища багатопроменевості, наявні адитивні та мультиплікативні перешкоди тощо) найбільш доцільно для демодуляції прийнятого сигналу застосовувати цифрову обробку. Цифрові приймачі мають істотні переваги над аналоговими, зокрема гнучкі можливості перебудови алгоритмів роботи без зміни апаратної частини. Крім того, цифрова реалізація дозволить ефективно боротись з перешкодами, зокрема використовуючи цифрові режекторні фільтри та сучасні перспективні адаптивні методи подавлення перешкод [11-13].

Викладення основного матеріалу. Розглянемо структурну схему цифрового демодулятора (ЦД) фазоманіпульованих сигналів. Можливий варіант побудови демодулятора станції прийому даних ДЗЗ показаний на рис. 1.

Обробка, прийнятого станцією сигналу (з виходу антенного пристрою), розпочинається в

аналоговій частині приймального тракту (АЧПТ). В аналоговому тракті виконується попереднє підсилення, частотна селекція та перенесення інформаційного спектра на другу проміжну частоту (АЧПТ побудована за відомою супергетеродинною схемою з подвійним перетворенням частоти). Отже, сигнал на вхід демодулятора потрапляє на проміжній частоті, що значно засобів ЦД.

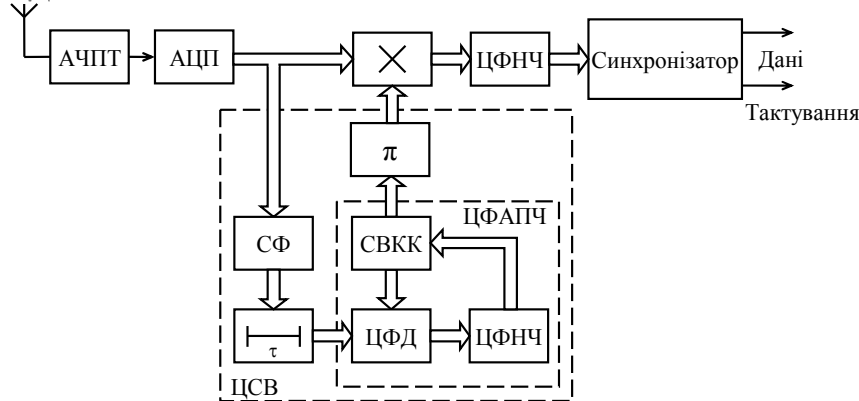


Рис. 1. Структурна схема цифрового демодулятора

Формування опорного колювання відбувається при наявності в спектрі прийнятого сигналу носійного колювання. Як відомо, при використанні класичної фазової маніпуляції (початкові фази $0, \pi$) носійне колювання в спектрі модульованого сигналу відсутнє. У такому разі, як правило, використовують когерентні демодулятори на основі схем Сіфорова, Костаса тощо [10]. У сигналі, що передається з метеосупутника NOAA застосована спліт-фазова маніпуляція із залишком носійної [9]. Наявність носійного колювання пояснюється використанням набору початкових фаз відмінних від «0» та « π ». У даному випадку зсув фаз становить $\pm 68^\circ$. Такий факт дозволяє досить просто вирішити питання добування когерентного опорного колювання, а також забезпечення тактової синхронізації (бітова послідовність).

До складу формувача опорного колювання входять: смуговий фільтр — СФ (фільтр має вузьку смугу пропускання для виділення носійного колювання); коло цифрового фазового автопідстроювання частоти (ЦФАПЧ) та фазообертач на « π ». Коло ЦФАПЧ має цифровий фазовий детектор (ЦФД), синтезатор відліків керований кодом (СВКК) та ЦФНЧ. На виході СФ встановлена схема компенсації затримки ЦФНЧ. Як видно з рис. 1, на вхід помножувача подаються два сигнали: інформаційний (з виходу аналогово-цифрового перетворювача — АЦП) та

Прототипом демодулятора, про який йдеться в статті, є аналоговий кореляційний приймач з фазовим автопідстроюванням частоти [10]. Отже, до складу ЦД входять: помножувач, формувач опорного сигналу на основі фазового автопідстроювання частоти — цифровий синтезатор відліків (ЦСВ) та цифровий фільтр нижніх частот (ЦФНЧ).

відліки опорного колювання « $-\sin(nT_d)$ ». Вибір саме такого опорного колювання пояснюється тим, що в ЦД частково відбувається квадратурна обробка. У даному разі, набір елементів цифрового демодулятора виконує функції квадратурного каналу за відомою схемою квадратурної обробки радіосигналу [14,15]. Синфазний канал не використовується тому, що в ньому не передається корисна інформація. У разі застосування фазової маніпуляції з зсувом фаз $\Delta\phi = \pm 68^\circ$ на виході синфазного каналу буде присутня тільки постійна складова. Даний факт підтвердився під час дослідження моделі ЦД, розробленої в програмному середовищі LabVIEW.

У складі цифрового когерентного демодулятора застосований також пристрій тактової синхронізації (далі — «синхронізатор») на основі оцінки затримки сигналу прямокутної форми за методом максимальної правдоподібності (без застосування фазового перестроювання частоти), запропонований в [16]. Метою використання синхронізатора стала необхідність відновлення переданої бітової послідовності та сигналу тактової синхронізації. При достатньо великих відношеннях сигнал/шум (ВСШ) на вході демодулятора (20-30 дБ) відновлену послідовність символів можна знімати безпосередньо з виходу ЦД. Але при зменшенні ВСШ до 10-15 дБ форма сигналу на виході ЦД починає спотворюватись (виникають

помилкові перепади, зсув фронтів за часом тощо). Тому до виходу ЦД під'єднується синхронізатор. Синхронізатор призначений для відновлення істинної форми демодульованого радіосигналу завдяки його накопиченню та аналізу вздовж N символів, що йдуть один за одним. Відновленню підлягають істинні моменти зміни символів у радіосигналі (тактова синхронізація), а також істинна полярність символів.

Структурна схема цифрового демодулятора фазоманіпульованих сигналів із залишком носійного коливання була покладена в основу розробки комп'ютерної моделі, виконаної в програмному середовищі «LabVIEW 2011». Модель ЦД у середовищі LabVIEW має окремі складові — віртуальні інструменти. Через те, що блок-схема моделі дуже велика повністю розмістити її у статті не є можливим. Тому нижче будуть наведені основні фрагменти блок-схеми моделі цифрового демодулятора.

На рис. 2 наведені: помножувач та цифровий фільтр нижніх частот (з можливістю квадратурної обробки); формувач опорного сигналу (має вузькосмуговий фільтр), схема компенсації затримки, синхронізатор та система цифрового фазового автопідстроювання частоти. У моделі можна змінювати значення параметрів цифрових фільтрів (задавати порядок, частотні параметри тощо), є можливість ввімкнення (вимкнення) системи ЦФАПЧ, а також зміни її параметрів. Також можливо змінювати параметри синхронізатора — задавати значення

N (кількості символів, що йдуть один за одним). Необхідно зауважити, що модель демодулятора в середовищі LabVIEW складається з двох частин: панелі віртуальних приладів (Front Panel) та блок-схеми (Block Diagram). Панель віртуальних приладів дозволяє візуально спостерігати за процесами, що виникають під час роботи ЦД, а також задавати основні параметри роботи схеми. Модель також дозволяє виконати дослідження характеристик перешкодостійкості ЦД.

На основі розробленої моделі проведений експеримент по дослідженню впливу зміни відношення сигнал/шум (на вході ЦД) на значення ймовірності символної (бітової) похибки — $p_{ном}(q)$. Порівняння результату виконувалось за теоретично розрахованою залежністю $p_{ном}(q)$. Така залежність отримана за відомою формулою [17]:

$$p_{ном} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sin i \sqrt{q}), \quad (1)$$

де $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-y^2} dy$ — додаткова функція

похибки; i — значення дискрети фази фазоманіпульованого сигналу, q — відношення сигнал/шум на вході ЦД.

Результати експерименту є середньостатистичними даними, які отримані під час роботи з моделлю ЦД та при сталих значеннях q . На основі отриманих даних побудований відповідний графік (рис. 3).

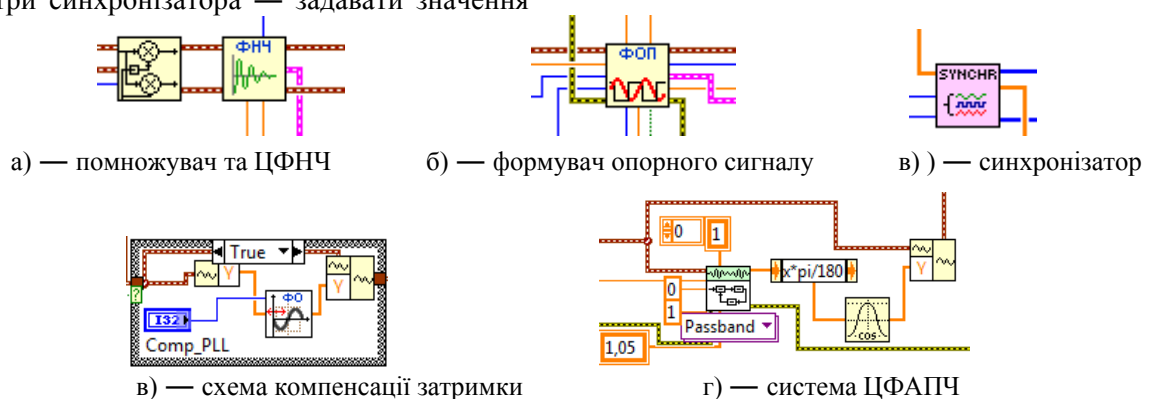


Рис. 2. Фрагменти блок-схеми моделі (основні елементи):

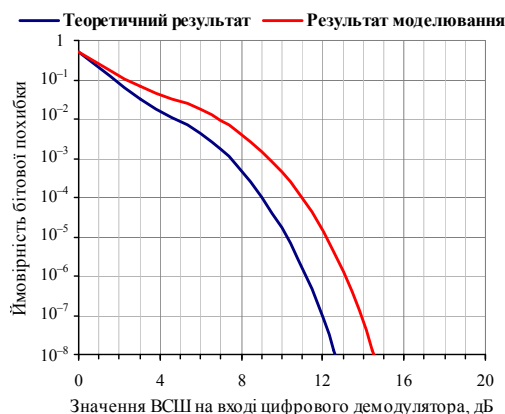


Рис. 3. Графік залежності ймовірності біткової похибки від відношення сигнал/шум на вході демодулятора

З набутого графіка (рис. 3) випливає, що характеристики перешкодостійкості розробленого цифрового демодулятора близькі до потенційних. Тобто при ймовірності біткової похибки на рівні 10^{-6} , енергетичні втрати не перевищують 2 дБ.

Висновки. Отримані результати дозволяють стверджувати, що запропонований в статті варіант цифрового демодулятора фазоманіпульованих сигналів є сенс використовувати в складі діючих зразків радіоприймальних пристроїв ДЗЗ. Отже, можна використати всі переваги цифрової реалізації, зокрема під час побудови засобів для боротьби з різними перешкодами. Мова йде про використання цифрових режекторних фільтрів та алгоритмів адаптивної цифрової фільтрації для ефективної боротьби з перешкодами, що виникають при експлуатації приймальних систем ДЗЗ у міських умовах. У цьому, власне і є актуальність даної роботи. Розроблений цифровий демодулятор передбачається використовувати в складі університетського комплексу прийому та обробки космічної інформації ДЗЗ, який створюється в інституті; в складі цифрових приймачів станції приймання інформації ШСЗ NOAA L діапазону та ШСЗ Terra, Aqua X діапазону. Такий комплекс створюється на заміну діючого аналогового обладнання, що за характеристиками перешкодостійкості виявилось неефективним.

Список літератури

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. — М.: Издательство А и Б, 1997. — 296 с., ил.
2. Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие / О.С. Токарева; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. — 148 с.
3. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), космические снимки и спутниковый мониторинг,

карты. Станция «Унискан»: [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.scanex.ru>.

4. Спутниковая станция «КосмЭк-АРТ»: [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.vfs.org.ua/kosmek.htm>.

5. Станция приема РАДМИР-1,7-М: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.niiri.com.ua/Rus/sp_radmir.htm.

6. Спутниковые приёмные комплексы «Байкал», «Гиацинт»: [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://meteosputnik.ru/item230>.

7. Matjaz Vidmar, S53MV. NOAA HRPT Receiver // VHF COMMUNICATIONS. — 1997, № 3. — С. 130 — 151.

8. Miroslav Gola, OK2UGS. FM Receiver For 137...141MHz (A double conversation superhetrodyne with pll) // VHF COMMUNICATIONS. — 2002, № 3. — С. 130 — 150.

9. National Oceanic and Atmospheric Administration: [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.noaa.gov>.

10. В.М. Коваль. Пристрої приймання та оброблення сигналів, частина I. Навчальний посібник. — Житомир, ЖВІРЕ.

11. Э. Айфичер, Б. Джервис. Цифровая обработка сигналов. Практический подход, 2-е издание, Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 992 с.: ил. Парал. тит. англ.

12. Адаптивные фильтры. /Под ред. К.Ф.Н. Коуэна и П.М. Гранта. — М.: Мир, 1988, 392 с.

13. Цифровая обработка сигналов. Лекции и практикум на ПК. Автор: проф. А.В. Давыдов: [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://prodav.narod.ru/dsp/index.html>.

14. Р. Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. — ООО «Бином-Пресс», 2006 г. — 656 с.: ил.

15. Выделение комплексной огибающей полосового радиосигнала. Квадратурный гетеродин: [Электрон. ресурс]. — Режим доступа: <http://www.dsplib.ru/content/quadosc/quadosc.html>.

16. В.Б. Стешенко. Цифровые разомкнутые схемы демодуляторов сигналов с частотной и фазовой манипуляцией // Цифровая обработка сигналов. — 2003, № 2. — С. 38 — 39.

17. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь. Пер. с англ./ Под ред. В.В. Маркова. — М.: Связь, 1979. — 502 с., ил., — С. 270.