

УДК 621.396.4

С.Г. Рассомахін, А.Г. Снісаренко, В.В. Романенко, В.Б. Бзот

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ КАНАЛУ УПРАВЛІННЯ І ТЕЛЕМЕТРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНОГО КАНАЛУ МАЛОГАБАРИТНИХ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Проаналізовані вимоги та обґрунтовані принципи реалізації каналу управління і телеметрії малогабаритних безпілотних авіаційних комплексів. Проведений аналіз можливостей і вибір принципу реалізації інформаційного каналу, а також розроблені практичні рекомендації щодо реалізації цифрового інформаційного каналу передачі даних.

Ключові слова: *малогабаритний безпілотний авіаційний комплекс, системи зв'язку.*

Вступ

Система прийому і передачі даних малогабаритного безпілотного авіаційного комплексу (БпАК) призначена для виконання двох основних груп функцій:

- забезпечення функціонування радіоканалу управління і телеметрії для дистанційного автоматизованого керування безпілотним авіаційним літальним апаратом (БпЛА) (канал управління);
- передача (прийом) і обробка розвідувальних даних системи оптико-електронної розвідки БпЛА (інформаційний канал).

Основним чинником, що обмежує функціональні можливості обох каналів, є достатньо жорсткі габаритно-вагові обмеження, оскільки передбачуваний БпЛА відноситься до класу "міні". Обмеження на загальну вагу БпЛА становить $1 \div 4$ кг, при максимально досяжному коефіцієнті корисної дії спеціального обладнання означають, що загальна вага бортової підсистеми оптичної розвідки і передачі даних не повинна перевищувати $0,15 \div 1$ кг.

За функціональним призначенням інформаційний канал і канал управління передбачають застосування різних вимог до їх реалізації. До каналу

управління, який призначений для передачі і прийому коротких повідомлень, які передаються з значними часовими інтервалами, пред'являються вимоги щодо досягнення високої скритності і завадозахищеності радіоканалу. До інформаційного каналу переважно пред'являються вимоги максимізації кількості передавання інформації при допустимому рівні якості, що накладає достатньо жорсткі вимоги до показників енергетичної і частотної ефективності протоколів передачі даних.

Метою статті є розробка принципів побудови каналу управління і телеметрії та інформаційного каналу системи прийому і передачі даних малогабаритного БпАК.

Аналіз вимог і обґрунтування принципу реалізації каналу управління і телеметрії

Основними вимогами до радіолінії управління і телеметрії є забезпечення високої скритності і завадозахищеності передачі даних. Це є наслідком функціонального призначення підсистеми системи прийому і передачі даних (СПД), оскільки дана система безпосередньо визначає живучість комплексу оптичної розвідки та його здатність функціонувати в

умовах інтенсивної радіоелектронної протидії і спроб перехоплення (подавлення) управління.

Відомо [1 – 3], що найбільш ефективним способом досягнення високої живучості радіоканалів управління є застосування систем широкопasmового зв'язку, які використовують шумоподібні (псевдошумові) сигнали. Основною перевагою систем з широкопasmовими сигналами є їх завадостійкість і скритність роботи, тобто завадозахищеність, а також, при необхідності, велика пропускна спроможність. Перехід до широкопasmових сигналів при створенні систем зв'язку різного призначення йде шляхом освоєння цифрових методів передачі інформації. Тому переважна більшість використовуваних в системах зв'язку (СЗ) широкопasmових сигналів, тобто сигналів, смуга частот яких істотно перевищує смугу передаваних повідомлень, мають аналогову (гармонійну) і дискретну (цифрову) розширюючу несучу послідовність.

Існуючі методи отримання і використання широкопasmових сигналів в завадозахищених системах з певними допущеннями можна розбити на два класи: по-перше, це застосування кодових розширюючих послідовностей, що приводять до заміни елементарних символів послідовностями великої довжини і певної структури, а, по-друге – використання періодичних стрибків несучої частоти згідно із законом, близьким до випадкового – режим псевдовипадкової перестройки робочої частоти (ППРЧ). В обох випадках використання ключових послідовностей управляючих символів мають "майже" випадкову, невідому противнику структуру, що дозволяє одночасно з підвищенням завадостійкості СПД добитися певної криптографічної (структурної) стійкості радіоліній.

На користь вибору широкопasmового принципу організації зв'язку в управляючому каналі свідчить аналіз досвіду аналогічних розробок безпілотних авіаційних розвідувальних комплексів в країнах НАТО і Росії.

Широкопasmові сигнали відрізняються тим, що їх смуга частот F набагато більша, ніж інформаційна швидкість біт/с (де T – тривалість елементарного сигналу). Це означає, що показник розширення спектру (база сигналу) $B = F/R = F \cdot T_C$ для широкопasmових сигналів набагато більше одиниці. Велика надмірність, властива широкопasmовим сигналам, потрібна для подолання високих рівнів взаємної інтерференції, що виникає при передачі цифрової інформації по радіоканалам.

Оскільки кодований сигнал також характеризується показником розширення спектру більшим одиниці, а кодування є ефективним методом введення надмірності, тому можна зробити висновок про те, що кодування – важливий елемент при синтезі широкопasmових сигналів.

Другий важливий елемент, який використовується при синтезі широкопasmових сигналів, це – псевдовипадковість, яка робить сигнали схожими на випадковий шум і складними для демодуляції приймачами противника. Цей чинник зумовлює переваги використання таких сигналів в підсистемі управління БпЛА. При цьому досягається:

- зменшення шкідливого впливу завадових сигналів, що виникають в результаті застосування противником засобів протидії і багатопроменевого розповсюдження електромагнітних хвиль;

- забезпечення скритності корисного сигналу шляхом його передачі з малою потужністю, що ускладнює його детектування засобами радіоелектронної розвідки у присутності природного шуму;

- підвищення захисту повідомлення від перехоплення і розшифровки противником.

Для боротьби з навмисними завадами важливо, щоб у постановника завад, які можуть негативно впливати на якість зв'язку, не було апріорної інформації про характеристики корисного сигналу та значення загальної смуги частот і типу модуляції (ФМ, ЧМ і так далі), що використовуються. В разі, якщо цифрова інформація не закодована, постановник завад може з легкістю імітувати корисний сигнал, що випромінюється передавачем, і, таким чином, спотворити розвідувальну інформацію. Для виключення цього факту необхідно, щоб передавач вводив елемент випадковості (псевдовипадковості) в кожному з передаваних цифрових сигналів, який відомий одержувачеві, але невідомий постановнику завад.

Для характеристики достовірності зв'язку в управляючому каналі можна використовувати два показники: коефіцієнт похибок (вірогідність похибки при передачі одиниці інформації) та відношення сигнал-шум h_n (відношення енергії символу (біта) до спектральної щільності шуму) на виході кореляційного (узгодженого) приймача:

$$h_n = P_{C_1} / (P_{\text{ш0}} + P_{\text{ш1}} + P_{Z_1}), \quad (1)$$

де P_{C_1} – потужність сигналу на виході приймача; $P_{\text{ш0}}$ – потужність внутрішніх шумів на виході приймача; $P_{\text{ш1}}$ – потужність зовнішніх широкопasmових завад; P_{Z_1} – потужність вузькопasmових завад.

З аналізу виразу (1) можна зробити висновок про те, що потужність сигналу і смуга частот (база сигналу B) є основними ресурсами системи зв'язку. Ці ресурси витрачаються на передачу інформації. Ефективність витрати ресурсів характеризується показниками енергетичної і частотної ефективності [4, 5, 10]:

$$\beta = \frac{R \cdot N_0}{P_c}, \left(\gamma = \frac{R}{F} \right). \quad (2)$$

При цьому гранична залежність, що визначає взаємозв'язок параметрів ефективності, має вигляд:

$$\beta = \gamma / (2^\gamma - 1). \quad (3)$$

Будь-який реальний радіоканал матиме гірші характеристики енергетичної і частотної ефективності. Аналіз виразів (1) – (3) показує, що якщо швидкість передачі інформації R задана, то при роботі з низьким відношенням сигнал/шум для завадозахищеної системи зв'язку необхідно зменшувати частоту та енергетичну ефективність.

Таким чином, основним фізичним показником якості широкопasmового каналу є відношення сигнал/шум на виході кореляційного приймача, а для зменшення цього відношення необхідно знижувати частоту або енергетичну ефективність системи зв'язку за рахунок штучного розширення бази сигналів.

До системи з ППРЧ, як правило, пред'являються більш жорсткі вимоги до точності загальносистемної синхронізації передавача і приймача. Крім того, на роботу даних систем в значній мірі впливає диференціація умов проходження електромагнітних коливань з різними довжинами хвиль. Тому в якості висновку з аналізу СПД широкопasmових шумоподібних сигналів (ШШС) слід вказати, що найдоцільніше для організації дуплексного каналу управління і телеметрії "борт-земля-борт" використовувати сигнали з прямим розширенням спектру за рахунок заміни примітивних елементарних сигналів переносниками з псевдошумовою структурою. Алгоритми побудови таких систем детально розглянуті в літературі [1 – 7].

Аналіз можливостей і вибір принципу реалізації інформаційного каналу

При розгляді каналу управління зроблений висновок щодо можливості його реалізації за рахунок максимального "жертвування" показниками ефективності використання фізичного ресурсу (що виправдане, в основному, низькою інтенсивністю інформаційних потоків). Однак інформаційний канал, навпаки, не можливо реалізувати без досягнення надзвичайно високих показників питомих частотних і енергетичних витрат. Це викликано великим об'ємом даних, передаваних в умовах жорсткого частотно-часового і енергетичного ресурсів системи розвідки.

Принциповим питанням даного аналізу є вибір аналогового або цифрового способу передачі даних відеоінформації. При цьому під терміном "відеоінформація" слід розуміти дані, отримані в результаті ведення оптико-електронної розвідки, оскільки у будь-якому випадку результат спостережень формується у вигляді масиву (растру) даних статичного (фотографічного) або динамічного (телевізійного)

типу. Природним прагненням будь-якого розробника системи дистанційної розвідки є отримання динамічного способу отримання і представлення спостережень в масштабі часу, найбільш близькому до реального. Проте на практиці ідеального результату досягти неможливо внаслідок наступних причин:

- обмеження ваги і габаритів апаратури, що впливають в частотно-енергетичні обмеження;
- функціонування комплексу в умовах інтенсивної протидії і обмеженого польотного (часового) ресурсу.

В БпАК теоретично можливе застосування принципів як аналогового, так і цифрового телебачення або передачі фотознімків. Кожен з цих способів характеризується набором аргументів "за і проти".

Проте покажемо, що зважений аналіз переваг і недоліків все ж таки робить доцільнішим цифровий варіант реалізації системи.

Аналоговий спосіб. Головна перевага цього варіанту – можливість отримання телевізійного зображення об'єктів розвідки в динаміці реального часу (не менше 25 кадрів в секунду). До недоліків слід віднести надзвичайно низьку перешкодостійкість інформаційного каналу в умовах труднощів створення бортових вузьконаправлених орієнтованих передавальних антен і малої потужності передавача, а також високі питомі витрати на передачу даних. Перешкода навіть малої інтенсивності може привести до непоправних інформаційних втрат внаслідок високої чутливості аналогових зображень до спотворень, особливо при вирішенні завдань точного розпізнавання замаскованих об'єктів на місцевості. При цьому для створення оперативних баз даних зображень (з можливістю збереження і повторного масштабованого відтворення) на основі аналогових форм відеоданих необхідно здійснювати "оцифрування" сигналу, спотвореного завадами, що приведе до зниження роздільної здатності. Випромінюваний аналоговий телевізійний сигнал є доступним в повному об'ємі для всіх одержувачів, розташованих в зоні упевненого прийому, зокрема для високоточних засобів вогневого ураження противника. Це може мінімізувати ефективність результатів розвідки або привести до знищення БпЛА.

Традиційним видом модуляції при використанні аналогового телебачення є частотна модуляція (ЧМ). При використанні ЧМ вибору підлягає девіація частоти (відхилення модульованої частоти від несучої), із зростанням якої поліпшується енергетика лінії, але необхідне використання ширшої смуги частот.

Після вибору девіації на основі наближеної формули Карсона з поправочним коефіцієнтом 1,1, можна визначити необхідну смугу пропускання тракту:

$$\Pi = 1,1 \cdot (2\Delta f_D + 2f_B), \quad (4)$$

де Δf_D – девіація частоти;

f_B – верхня частота в спектрі передаваного сигналу.

З аналізу виразу (4) можна зазначити, що для передачі сигналу з девіацією 6 МГц буде потрібна смуга частот, приблизно рівна 26 МГц.

Потенційні властивості аналогових систем можна прослідкувати на прикладі відомих розробок. Так, наприклад, в Росії розроблені малогабаритні мовні станції аналогового сигналу АЛТ-500 з наступними характеристиками:

- направлені антени типу "хвилевий канал" (розміри 20 x 300 x 1000 мм);
- радіопередавач (розміри 250 x 120 x 40 мм);
- діапазон частот 240 ÷ 430 МГц (телевізійні канали 12 – 38);
- потужність передавача – 0,1 Вт;
- смуга частот випромінювання на зайнятому каналі – 16 МГц;
- дальність в умовах прямої видимості — 500 м.

Якщо, наприклад, припустити, що можна підвищити потужність передавача в 10 разів і розмістити на борту антену з адаптивною спрямованістю, аналогічною "хвилевому каналу", то дальність трансляції в межах прямої видимості підвищиться до 1 – 1,5 км. Приблизно аналогічні характеристики мають і інші відомі аналогові розробки апаратів класу "міні".

Звідси можна зробити висновок про надзвичайну обмеженість функціональних можливостей аналогових телевізійних засобів розвідки малогабаритних БпАК.

Повернемося тепер до єдиної переваги використання аналогового інформаційного сигналу – реального масштабу часу динамічного зображення. Чи можна його вважати пріоритетним? Наступний приклад показує, що, загалом, реальний масштаб є не виправдано надмірним для завдань оперативної розвідки. Наприклад, для БпЛА ТУ-243 "РЕЙС-Д" (Росія) розвідувана площа за один виліт складає близько 2100 кв. км. Тривалість польоту БпЛА складає біля півгодини. Для того, щоб упевнено розпізнавати цілі типу "танк", "автомобіль", площа одного незалежного елемента зображення на місцевості повинна бути близько 0,1 кв. м. Таким чином, за один виліт "РЕЙС-Д" отримує $2,1 \cdot 10^{10}$ незалежних елементів зображення. Для того, щоб проглянути зображення такого об'єму на персональній ЕОМ з екраном (1024 x 768 = 786432 елементів дозволу) треба виконати 26703 перегляди.

Наприклад, при інтенсивності перегляду 1 екран в секунду буде потрібно 7,4 години на перегляд первинної розвідувальної інформації, отриманої

оптико-електронною системою розвідки БпЛА за один політ протягом 30 хвилин.

Звідси можна зробити висновок про неможливість передавати розвідувальну інформацію з борту БпЛА в реальному масштабі часу. В даному випадку тільки надзвичайна необхідність отримувати розвідувальну інформацію до того, як БпЛА буде знищений противником, виправдовує передачу інформації по радіолінії.

Цифровий спосіб. Враховуючи вищезазначене, передача розвідувальної інформації в цифровому форматі має незаперечні переваги, до яких слід віднести:

- висока якість цифрового зображення, що досягається усуненням характерних для аналогових методів завод за допомогою цифрових методів підвищення перешкодостійкості сигналів;
- можливість гнучкої адаптації якості (роздільної здатності) за командами оператора БпЛА;
- велика ефективність використання спектрального діапазону – цифровий сигнал вимагає меншої ширини смуги каналу;
- можливість скритного передавання (скремблювання і засекречування) інформації;
- придатність отриманих кадрів зображень для програмної обробки і архівації в базах даних;
- сучасний стан розвитку інтегральної елементної бази, який дозволяє застосовувати модульний принцип реалізації різних варіантів цифрових телевізійних систем;
- можливість варіювання кількістю передачі даних в одиницю часу на користь підвищення якості (достовірності) передачі та ін.

Практичні рекомендації по реалізації цифрового інформаційного каналу передачі даних

Основою для створення протоколу і технічних засобів цифрової оптико-електронної розвідки з об'єктивних причин (технологія, виробники устаткування) може бути європейський стандарт цифрового телебачення DVB [7 – 12].

Слід зауважити, що зі всіх різновидів стандарту найбільш відповідною основою є його версія DVB-T для наземного (зокрема стільникового) мовлення, оскільки вона розрахована на найбільш жорсткі умови передачі даних.

Крім того, можливі різні модифікації алгоритму цифрової передачі даних відповідно до особливостей застосування системи розвідки.

Схема формування цифрового сигналу представлена на рис. 1.

Початковим блоком для отримання каналного потоку цифрових символів є стандартний пакет MPEG-2 [7, 8].

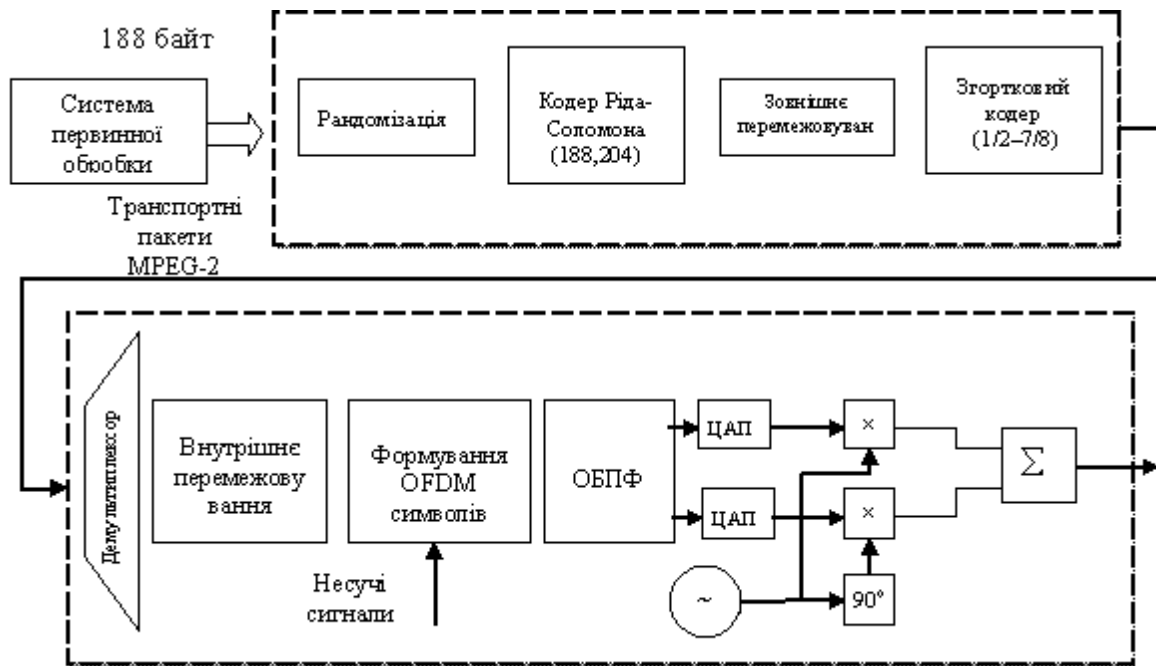


Рис. 1. Формування цифрового сигналу формату DVB-T

Рандомізація даних здійснюється шляхом складання по модулю 2 з псевдовипадковою послідовністю, що має період, співпадаючий з довжиною 8 пакетів. Завадостійкий код Ріда-Соломона додає 16 надмірних символів і дозволяє виправляти до 8 помилкових байтів на довжині 204 символи. Потім байти перемішуються усередині кодованих пакетів і піддаються внутрішньому згортковому кодуванню при довжині кодового обмеження 6 і швидкості коду $R = 1/2$. Далі здійснюються перетворення, пов'язані з модуляцією радіосигналу.

Частоти піднесучих задаються як

$$f_i = f_0 + i(2\pi)/T,$$

де f_0 – нижня частота діапазону;

i – номер піднесучої ($i = 0 \dots N-1$, N – загальне число піднесучих частот);

T – часовий інтервал передачі одного OFDM символу.

Вхідний потік даних модулятора розбивається на N субпотоків так, що несуча кожного з яких модулюється з набагато меншою швидкістю. Рознесення піднесучих частот становить $1/T$.

Оскільки в окремому субканалі швидкість передачі незначна, то перед кожним символом можна ввести захисний інтервал – тривалістю до $0,25 \cdot T$, протягом якого транслюється фрагмент вже переданого символу, який створює так зване циклічне повторення або префікс (для збереження ортогональності несучих). Основне призначення префіксів – боротьба з міжсимвольними завадами, викликаними нерівномірним запізнюванням піднесучих частот в неоднорідному каналі. Дійсно, оскільки швидкість

символів мала, перевідбитий сигнал в приймачі "накладається" на прямий сигнал в інтервалі одного символу, потрапляючи при цьому в захисний інтервал.

Незалежна (ортогональна) багаточастотна передача із захисними інтервалами дозволяє успішно протистояти методами цифрової обробки як потужним вузькосмуговим навмисним завадам, так і перевідбитим сигналам. У системі передачі з однією несучою частотою при повному придушенні несучої, сигнал в приймачі відновити вже неможливо. При багаточастотній передачі спотворюються тільки сигнали, що потрапили в смугу завади. Оскільки сигнал кодований, то інформацію можна відновити по даним з інших субканалів. У складі одного каналу (при ширині смуги 8 МГц) може бути до 8 тисяч несучих (враховуючи вимоги стандартних алгоритмів обробки зображень – $8 \times 1024 = 8192$ або 8К). Зазвичай реально задіяно тільки 1705 (режим 2К COFDM) або 6817 (режим 8К) несучих. Кожна несуча модулюється за допомогою 4-позиційної квадратурної фазової маніпуляції (ФМ-4) або 16- і 64-позиційної квадратурної амплітудно-фазової модуляції (КАФМ).

Відповідно до цього на кожній несучій один модуляційний символ визначає $n = 2 \div 6$ біт (двійкових символів кодованого потоку).

При квадратурній модуляції вихідний сигнал формується складанням двох зміщених на 90° гармонійних коливань на одній частоті f_i – синфазного

$$S_i(t) = A_s \cos(2\pi f_i t)$$

і квадратурного

$$S_q(t) = -A_q \sin(2\pi f_i t).$$

Їх сума – вихідне коливання з фазовим зміщенням на кут

$$\varphi = \arctg(A_q/A_s).$$

Відповідно до числа рівнів модуляції вихідний потік даних розбивається на n субпотоків – по числу біт в модуляційному символі. Для ФМ-4 таких субпотоків два, для КАФМ-16 – чотири. Демультіплексування відбувається побітно: при модуляції КАФМ-64 ($n = 6$) перший біт потрапляє в перший субпотік, шостий – в шостий, сьомий – знову в перший і так далі. В кожному субпотіці біти переставляються за певним правилом (відповідно до кожного субпотіку) в межах блоку в 126 біт – внутрішнє перемноження. Паралельні виходи пристроїв перемноження формують модуляційний символ: 2-, 4- або 6-розрядний. На одній несучій OFDM передається один символ, тому в режимі 8K одночасно транслюється 48 груп по 126 символів: всього $48 \times 126 = 6048$ інформаційних несучих (або 12 груп по 126 символів на 1512 несучих в режимі 2K). Одночасно передавані символи КАФМ входять в OFDM-символ. Вони розподіляються по субканалах OFDM не послідовно, а знову перемежуються по певному закону.

Тому, якщо OFDM-символ пропадає, його дані можна відновити, оскільки біти одного кодованого пакету виявляються розподіленими по багатьом OFDM-символам.

Формування складного сигналу OFDM проводиться з використанням сучасних методів цифрової обробки і математичного апарату Фур'є, що має досить широку на сьогоднішній день апаратно-програмну реалізацію. Це дозволяє спростити рішення задачі, використовуючи відпрацьовані алгоритми прямого і зворотного швидкого перетворення Фур'є (ШПФ і ЗШПФ).

Розглянемо, для прикладу, векторну діаграму модуляції КАФМ-16 (рис. 2).

Кожна точка на ній відповідає чотирьом бітам і визначає амплітуди синфазного (абсциса) і квадратурного (ордината) коливань. Складаючись, ці коливання формують відповідний даному символу сигнал.

Якщо застосовувати математичний апарат комплексних чисел, вісь квадратурних амплітуд відповідатиме вісі уявних чисел (Im), вісь синфазних амплітуд – вісь дійсних чисел (Re). Тоді будь-який КАФМ-16 символ можна представити як комплексне число $z = A_s + i \cdot A_q$ або, за формулою Ейлера,

$$z = Ae^{i\varphi},$$

$$\text{де } A = \sqrt{A_s^2 + A_q^2}.$$

У сигналі використовуються не самі z , а їх значення, що нормуються відносно середньої амплітуди сумарного коливання.

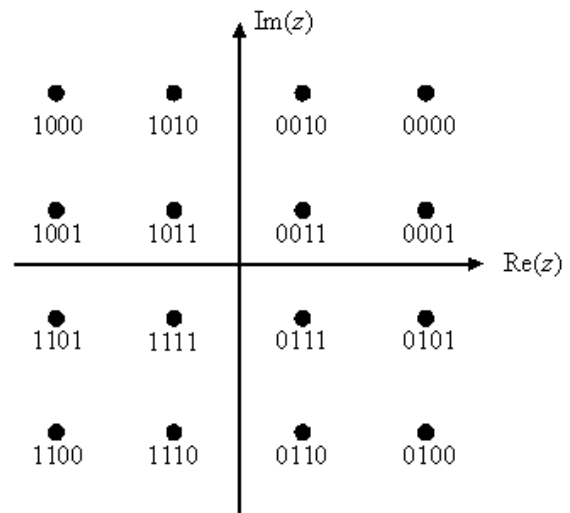


Рис. 2. Векторна діаграма КАФМ-16

Запишемо в комплексному вигляді модульований символ $C_k(t)$ сигнал на k -й несучій (без її перенесення в діапазон випромінювання):

$$S_k = C_k(t) e^{i2\pi kt/T}.$$

Враховуючи, що сигнал змінюється дискретно, можна записати вираз для загального сигналу OFDM символу:

$$S_n = \sum_{k=0}^{N-1} C_k(n \cdot \tau) e^{i2\pi kn\tau/T}, \quad (5)$$

де $\tau \leq 1/(2F)$ – інтервал дискретного представлення, який визначається шириною смуги частот F повного сигналу OFDM.

З математичної точки зору це аналогічно обчисленню дискретних значень функції за дискретними значеннями амплітуд її гармонійних складових. Дану процедуру описує ЗШПФ:

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} a_k e^{i2\pi kn/N}. \quad (6)$$

Алгоритми ШПФ, як прямого, так і зворотного, досить добре відпрацьовані, у тому числі і з погляду їх апаратної реалізації. Вони найбільш ефективні при N , співпадаючих з цілим ступенем числа 2. Тому в 8K-COFDM число несучих умовно прийнято рівним $2^{13} = 8192$, однак, не всі з них використовуються.

Таким чином, за допомогою ЗШПФ з вхідного масиву модуляційних символів чисельно формується вихідний OFDM-символ. Часовий інтервал його передачі складається з часу передачі символу і захисного префіксу.

Після описаного алгоритму синтезу OFDM сигналу відбувається формування радіосигналу в заданій частотній області випромінювання. Перенесення спектру в необхідний діапазон – це його зсув по частоті, що виконується за допомогою балансної

модуляції по квадратурних компонентах сигналу (рис. 1).

Балансний модулятор формує високочастотний сигнал з однією бічною смугою, що не приводить до подвоєння смуги частот, властивого звичайним модуляторам.

Розглянутий алгоритм формування повного сигналу описаний дуже лаконічно. Конструктивна реалізація вимагає виконання ще цілого ряду додаткових перетворень.

Зокрема, для боротьби з ефектом "зворотної роботи" при неточному відновленні фази піднесучих коливань із-за похибок синхронізації використовуються не пряма, а відносна фазова маніпуляція. При цьому інформативним параметром значення символу в бітовому потоці є різниця фазових кутів, обчислена для сусідніх інтервалів модуляції. Це дозволяє при демодуляції в якості опорного коливання використовувати піднесуче коливання, прийняте на попередньому інтервалі.

Висновок

Таким чином, в статті розроблено принципи реалізації каналу управління і телеметрії та інформаційного каналу системи прийому і передачі даних малогабаритного безпілотного авіаційного комплексу.

Показано, що для організації каналу управління і телеметрії БпАК необхідно використовувати сигнали з прямим розширенням спектру за рахунок заміни примітивних елементарних сигналів переносниками з псевдошумовою структурою.

Запропоновано практичні шляхи реалізації цифрового інформаційного каналу передачі даних на основі використання алгоритму формування цифрового сигналу формату DVB-T.

Список літератури

1. Урядников Ю.Ф. *Сверхширокополосная связь. Теория и применение* / Ю.Ф. Урядников, С.С. Аджемов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 368 с.
2. Варакин Л.Е. *Системы связи с шумоподобными сигналами* / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 364 с.
3. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, Ю.Ф. Урядников и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
4. Теория электрической связи. / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, В.И. Коржик, М.В. Назаров; под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1999. – 204 с.
5. Кловский Д.Д. *Передача дискретных сообщений по радиоканалам* / Д.Д. Кловский. – М.: Связь, 1969. – 375 с.
6. Ямпольский Э.М. *Вариационные принципы согласования сигналов с каналом связи* / Э.М. Ямпольский. – М.: Радио и связь, 1987. – 136 с.
7. *Методы передачи изображений, сокращение избыточности* / Под ред. У.К. Прэтта; пер. с англ. под ред. Л.С. Виленкина. – М.: Радио и связь, 1983. – 440 с.
8. Артюшенко В.М. *Цифровое сжатие видеoinформации и звука* / В.М. Артюшенко, О.И. Шелухин, М.Ю. Афонин. – М.: "Дашков и Ко", 2004. – 426 с.
9. Григорьев В.А. *Сети и системы радиодоступа* / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 384 с.
10. Скляр Б. *Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер с англ.* / Б. Скляр. – 2-е изд., испр.:– М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1104 с.
11. *Широкополосные беспроводные сети передачи информации* / В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
12. Шахнович И.В. *Современные технологии беспроводной связи* / И.В. Шахнович. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Техносфера, 2006. – 288 с.

Надійшла до редколегії 9.11.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.С. Сорока, Харківський національний університет ім. В.Н. Кожедуба, Харків

ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ И ТЕЛЕМЕТРИИ, А ТАКЖЕ ИНФОРМАЦИОННОГО КАНАЛА МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

С.Г. Рассомахин, А.Г. Снисаренко, В.В. Романенко, В.Б. Бзот

Проанализированы требования и обоснованы принципы реализации канала управления и телеметрии малогабаритных беспилотных авиационных комплексов. Проведен анализ возможностей и выбор принципа реализации информационного канала, а также разработаны практические рекомендации по реализации цифрового информационного канала передачи данных.

Ключевые слова: малогабаритный беспилотный авиационный комплекс, системы связи.

THE JUSTIFICATION OF AUFBAU PRINCIPLES OF CONTROL AND TELEMETRY CHANNEL AND INFORMATION CHANNEL OF SMALL UNMANNED AVIATION SYSTEMS

S.G. Rossomahin, A.G. Snisarenko, V.V. Romanenko, V.B. Bzot

There has been analyzed the requirements and justified the realization principles of control and telemetry channel of small unmanned aviation systems. There has been made an analysis of abilities and choice of the realization principles of information channel and developed practical guidelines as for realization of digital data transmission information channel.

Keywords: small unmanned aviation complex, communication networks.