

ВАРІАНТ СТРУКТУРНОЇ БУДОВИ ШИРОКОСМУГОВОЇ АНАЛОГОВОЇ СИСТЕМИ ПРИХОВАНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ СИГНАЛІВ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ

Розглянута можливість застосування сигналів детермінованого хаосу в якості підносівних для подальшого використання у надширокопasmових системах аналогового прихованого зв'язку. Запропоновано варіант структурної будови системи прихованого зв'язку придатної для практичної реалізації.

Ключові слова: нелінійна динамічна система, детермінований хаос, хаотична синхронізація, система прихованого зв'язку.

О. PYVOVAR

Khmelnitsky National University

A VARIANT OF STRUCTURAL ORGANIZATION OF AN ANALOG SYSTEM IN SECRET BROADBAND BASED ON THE USE OF DETERMINISTIC CHAOS SIGNALS

The use of nonlinear models for a more adequate description and understanding of reality has led to the discovery of a new class of signals - a deterministic chaos. Characteristics of the form and spectrum of deterministic chaos signals have become extremely suitable for use in secret broadband communication systems. The possibility of chaotic synchronization of the receiving and transmitting part of the transmission system as well as the discovery of the phenomenon of chaotic synchronous response allowed proceeding to the practical implementation of the systems. The majority of the proposed variants of implementation of secret communication systems based on deterministic chaos signals are based on the use of digital signals as informational in direct-chaotic information transmission systems. This research includes the classification of well-known ways of processing signals of deterministic chaos in the aspects of broadband, modulation, and synchronization. The advantages, disadvantages, peculiarities and limitations of using these processes are indicated in terms of practical application in complex circuit design solutions for the construction of high security communication channels which are protected from unauthorized access. In such channels, firstly encryption is carried out by selecting the generator type and its initial parameters of development. Secondly, the high degree of variation in the configuration parameters of the generators of deterministic chaos signals allows obtaining a large number of encryption keys. Thirdly, the result of encryption is purely noise-like, which provides a high degree of security. It is proposed to regard an informational and chaotic signal as ones with approximately the same frequency resource. The introduction of an informational signal into a signal of a deterministic chaos is being implemented by the means of the previous use of one-band modulation without suppression or with partial suppression of carrier frequency. In the case of a single-sideband modulation, it is advisable to remove the upper sideband, and the carrier frequency must be located in the upper part of the spectrum area of the chaotic signal which not occupied by the spectral components. Additional classical modulation improves the practical implementation of uniting the synchronization channel and the informational channel in one physical communication line, as well as allows them to be separated by means of the phenomenon of chaotic synchronous response provided certain correlations of the amplitudes. In accordance with the proposed principle, a structural scheme for the practical implementation of the system was developed based on the use of chaotic synchronous response phenomenon, and the requirements for the construction of the structural elements of the circuit and the communication channel are specified.

Key words: nonlinear dynamical system, deterministic chaos, chaotic synchronization, system of secret communication.

Постановка проблеми

На межі останніх століть увагу фахівців все більше і більше пригортають явища, що виникають в нелінійних динамічних системах (НДС), моделі яких краще відображають дійсність за широковідомі квазілінійні та лінійні класичні моделі реальних процесів. Одним із таких явищ є поява у замкненій НДС хаотичної поведінки. Сигнали, що описують динаміку розвитку НДС із хаотичною поведінкою суттєво відрізняються як від детермінованих так і від стохастичних. За подібними сигналами закріпився термін – детермінований хаос (ДХ), що відображає як наявність детермінованої природи так і деякі риси випадкових процесів, в першу чергу неперіодичність. Більш того, класичні детерміновані сигнали можливо вважати частинним випадком сигналів детермінованого хаосу для певного режиму роботи НДС.

Якщо в минулому явище детермінованого хаосу досліджувалось на основі математичного аналізу НДС, то на даний час створено ряд схем генераторів, що підлягають простій практичній реалізації. На основі їх застосування дослідження НДС перейшли у практичну зону не тільки у радіотехнічній галузі, але й в медицині, біології, механіці, теплотехніці а також в гуманітарних дисциплінах, таких як соціологія, філософія, історія. Це пов'язано із загальними рисами хаотичних процесів що виникають у природі: наявності нелінійності, циклічності, динаміки прогресу та певних параметрів первинного налаштування. Моделі подібних НДС виявляються більш складними за класичні, часто процес дослідження хаотичної поведінки вимагає надзвичайно потужних обчислювальних засобів, що з'явилися в останні 20–30 років, але, вбираючи в себе властивості як детермінованих так і стохастичних сигналів, сигнали детермінованого хаосу теоретично дозволяють забезпечити кращі тактичні характеристики багатьох радіосистем добування та передачі інформації, що є і залишається актуальним на будь-якому етапі розвитку суспільства.

Метою статті є обґрунтування доцільності використання сигналів детермінованого хаосу та способів їх обробки у широкопasmових системах аналогового прихованого зв'язку із високою криптографічною стійкістю та розробка прототипної структурної побудови таких систем на основі застосування явища хаотичного синхронного відгуку.

Аналіз останніх джерел

Із практичної точки зору для побудови систем передавання інформації важливі наступні риси сигналів детермінованого хаосу [1]:

- варіативність, можливість отримання різноманітних сигналів в одному генераторі невеликою зміною його параметрів (висока криптографічна стійкість);
- широкосмуговість, що призводить до великої інформаційної ємності (висока пропускна спроможність каналів);
- неперервність спектру, що обумовлює високі автокореляційні та взаємно кореляційні властивості (завадостійкість, багатоканальність);
- відтворюваність, що означає можливість генерації однакових сигналів на приймальному та передавальному боці;
- можливість повної та часткової синхронізації джерел хаотичного сигналу на основі явища хаотичного синхронного відгуку.

Важливо відмітити, що ці риси сигналів проявляються комплексно, що дозволяє реалізувати такі функції як забезпечення високої пропускної спроможності, захисту від несанкціонованого доступу, багатоканальності тощо, одночасно використовуючи мінімум апаратних витрат [2], що в існуючих системах реалізується послідовно на різних рівнях протоколу обміну (різні функціональні модулі). Але «розплатою» за цей ряд позитивних рис сигналів ДХ є надзвичайно високі вимоги до стабільності та точності виготовлення елементів каналу передачі.

Позитивні якості сигналу ДХ дозволяють застосувати його, в першу чергу, як носівне коливання (рис. 1) у широкосмугових та особливо у надширокосмугових системах, в яких як опорні зазвичай використовуються сигнали, або сигнально-кодові конструкції на основі гармонічних та імпульсних коливань. В першу чергу це відноситься до побудови прямохаотичних систем із цифровою передачею сигналу. Застосування гармонічних сигналів для вказаної мети вимагає використання процедури розширення спектру і найбільш поширеними подібними процедурами є глибока частотна (фазова) модуляція (CSS), пряме розширення спектру (DSSS) та стрибки по частоті (FHSS). Спектр носівних імпульсних сигналів набагато ширше за спектр модульованих гармонічних сигналів, тому у радіосистемах останніх поколінь (4G) використовують комбінацію опорних гармонічного та імпульсного сигналів на різних частотах, граничним випадком якої є сигнали з ортогонально-частотним мультиплексуванням (OFDM). Слід зважити на те, що у системах з OFDM також наявна тенденція комплексного використання функцій багатоканальності, широкосмуговості, квазіхаотичності тощо. В рамках застосування сигналів ДХ як підносівних, до двох класичних опорних підносівних доцільно додати і хаотичні (рис. 1). Останні, так само як і гармонічні та імпульсні коливання, можуть виступати як носівні коливання самостійно, так і в комбінації з класичними сигналами із метою побудови сигнальних конструкцій. Та зважаючи на особливі умови практичної реалізації хаотичних аналогових систем зв'язку [3] для реального втілення найбільш придатна сигнальна конструкція на основі комбінації хаотичного і гармонічного сигналу.

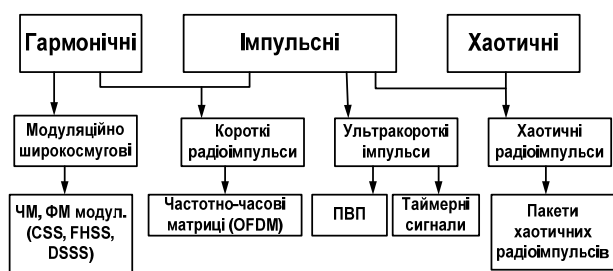


Рис. 1. Класифікація опорних носівних сигналів з точки зору забезпечення широкосмуговості

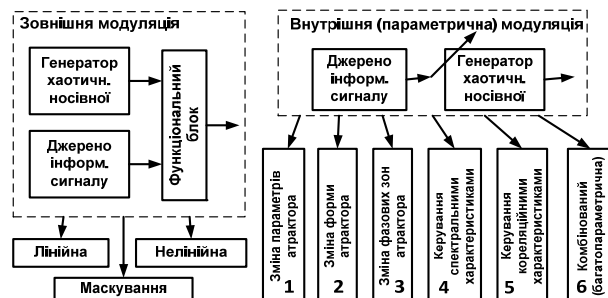


Рис. 2. Класифікація методів введення інформаційного сигналу в хаотичну підносівну

Для цифрових систем передачі, що переважно застосовуються як прототипи систем із застосуванням ДХ, доцільна комбінація сигналів ДХ із імпульсними опорними підносівними (рис. 1) що утворюють сигнальні конструкції із хаотичних імпульсів, або пакетів хаотичних імпульсів. Обвідна спектру потужностей такої комбінації сигналів визначається вихідним спектром неперервного сигналу детермінованого хаосу і, під час виконання певних умов практично не залежить від довжини імпульсів.

Такі параметри сигналів як ширина спектру, база сигналу, і навіть положення центральної частоти може змінюватись в широких межах, залежно від налаштування параметрів та певного режиму генераторів детермінованого хаосу. Як показали дослідження [2], потужність ансамблю каналних підносівних на основі таких комбінацій перевищує потужності таких широко застосовуваних сигналів як М-последовності, що говорить про збільшену кількість ключів шифрування систем із сигналами ДХ.

Тому на даному етапі концепція побудови систем передачі із хаотичними сигналами носить змішаний характер де використовуються як класичні, так і хаотичні сигнали. Хоча тенденція використання суто нелінійних ефектів [4] залишається, це підтверджується розробкою у провідних країнах світу квантових системи передачі, що також вимагають особливо точних та стабільних умов дотримання заданого

квантового стану активного середовища.

Виклад основного матеріалу

Під час формування структури аналогового хаотичного каналу для практичного втілення окремо слід звернути увагу на спосіб введення (рис.2) інформаційного сигналу у хаотичну підносівну за умови, що опорний хаотичний генератор за допомогою встановлення початкових умов та внутрішніх параметрів працює в широкосмуговому режимі утворення складного сигналу ДХ із великою базою. За таких умов застосування поняття «спосіб введення інформаційного сигналу» замість «модуляція» підкреслює той факт, що таке поняття охоплює більш широку зону процесів обробки сигналів, хоча більш загальноживаним є поняття «хаотична модуляція».

У складі хаотичного модулятора може застосовуватись один або декілька генераторів хаотичних сигналів (ГХС). Багатогенераторне технічне рішення спряжено із необхідністю утворення багатьох каналів хаотичної синхронізації, що надто складно та коштовно реалізовувати в межах окремої аналогової лінії зв'язку, тому найбільш придатним є одногенераторна схема вводу інформаційного сигналу в хаотичний, способи реалізації якої запропоновано поділити на зовнішні та внутрішні та їх варіації (рис. 1).

Зовнішня модуляція не змінює структури ГХС, та реалізується у зовнішньому функціональному пристрої, який може бути як лінійним, так і нелінійним, зрозуміло, що під час демодуляції має відбуватись зворотна функціональна операція. У випадку застосування суматора як функціонального елементу процес введення інформаційного повідомлення в хаотичний сигнал називають хаотичним маскуванням (ХМ), де спектри інформаційного повідомлення та сигналу ДХ повністю перекриваються та, за умов певного співвідношення амплітуд, спектральні складові інформаційного сигналу «розчиняються» у спектрі сигналу ДХ що і забезпечує реалізацію каналу прихованого зв'язку.

Усі способи зовнішньої модуляції мають більшу швидкодню за рахунок відсутності перехідних процесів, пов'язаних із переведенням хаотичних траєкторій в іншу зону фазового простору та детектування такого переходу на приймальному кінці, що фактично відбувається у хаотичних модуляторах із внутрішньою модуляцією. Недоліком хаотичного маскування є необхідність забезпечення високого рівня якості хаотичної синхронізації, коли ведений ГХС відтворює опорний сигнал ведучого ГХС, навіть, якщо він «спотворений» хаотичним маскуванням.

Властивість детермінованості хаотичних сигналів вказує на можливість синхронізації двох (або більше) ГХС. Експериментальна можливість еволюції двох різних генераторів хаосу по одним траєкторіям обумовила створення реальних систем із сигналами ДХ як наступний крок розвитку телекомунікаційних систем [3]. Для забезпечення синхронізації між ГХС слід утворити однобічний або двобічний зв'язок із певним рівнем впливу (перекачування енергії). Односпрямований (рис.4) зв'язок більш «передбачуваний» у сенсі встановлення стабільного хаотичного режиму, але потребує застосування незв'язаних елементів наскрізного тракту передачі, що розділяють ГХС на ведучий та ведений, при цьому рівень зв'язку підбирається для кожного типу ГХС окремо.

Найбільш теоретично та практично досліджена узагальнена односпрямована синхронізація [4], що передбачає детерміновану функціональну залежність між векторами станів ведучого та веденого генераторів. Іноді функціональна залежність виявляється достатньо складною, але у найпростішому випадку ці стани співпадають асимптотично та відповідають повній синхронізації, де функція зв'язку перетворюється у тотожність а похибка розсинхронізації прямує до нуля. Для ідентифікації режиму узагальненої синхронізації використовуються наступні методи: метод найменшої взаємної помилки суміжних траєкторій; метод визначення умовних показників Ляпунова, метод додаткової допоміжної системи тощо.

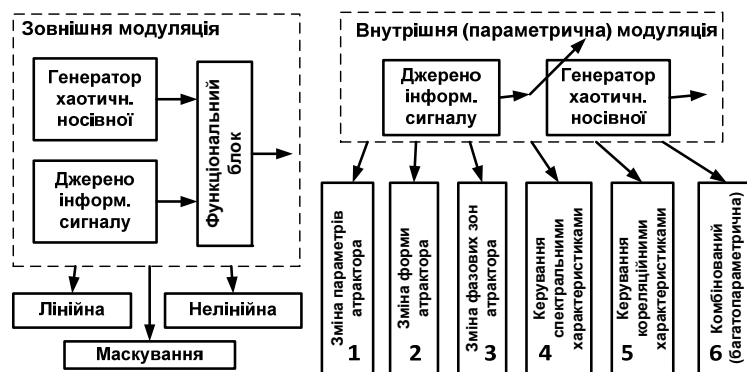


Рис. 3. Класифікація способів одногенераторної хаотичної модуляції

Неповна синхронізація забезпечує наближену відповідність вектору станів ведучої та веденої системи із ненульовою точністю, що в системах зв'язку призводить до погіршення ТТХ. Повна синхронізація проявляється практично в усіх типах генераторів хаосу [3]. Неповна та гранична (рис. 4) синхронізація була знайдена лише у окремих ГХС та й до того ж часто характеризується флюктуючою часовою затримкою, що неприпустимо у телекомунікаційних системах. Завдяки наявності інерційних елементів у складі ГХС хаотична синхронізація може бути не тільки неперервною, але і імпульсною, із

збільшенням шпаруватості імпульсів режим повної синхронізації все більше нагадує режим неповної синхронізації.

Цікаво відмітити, що під час хаотичної синхронізації можливо реалізувати певний тип функціональної обробки: помноження на -1 (повна інверсна синхронізація); затримка і навіть випередження (!) сигналу (лаг-синхронізація), підсилення (гранична), часове стискання (синхронізація часового масштабування), що є основними функціональними блоками будь-якої радіотехнічної системи, що наштовхує на думку про розгляд обробки сигналів з точки зору елементів теорії хаосу тощо.

Особливо відмінністю у системах на основі детермінованого хаосу є можливість передачі інформаційного повідомлення та сигналу синхронізації одночасно в одному каналі зв'язку із високим рівнем захисту від несанкціонованого доступу за умови використання ГХС на обох боках лінії передачі із високим ступенем ідентичності, а також дотримання певних співвідношень між рівнями сигналів. Саме така особливість хаотичної синхронізації на основі хаотичного синхронного відгуку [4] обумовлює можливість побудови аналогової хаотичної системи передачі прихованого зв'язку, де хаотичний сигнал використовується як маскуючий, а канал синхронізації об'єднаний із каналом передачі даних.

Завдяки необхідності дотримання певного співвідношення амплітуд інформаційного та маскуючого сигналу безпосереднє введення аналогового сигналу в сигнал ДХ є проблематичним. Тому слід застосувати допоміжний детермінований сигнал, яким може виступати гармонічний або полігармонічний сигнал, що утворює сигнальну конструкцію із хаотичним. Для ефективного маскування амплітуда та частота гармонічного сигналу мають бути оптимальними. Найбільш доцільно «приховати» гармонічну складову у спектрі хаотичного сигналу використовуючи той факт, що сигнали детермінованого хаосу багатьох генераторів мають вузькі ділянки спектру не завантажені спектральними складовими. Положення цих ділянок визначається параметрами налаштування генератора, що виступають як ключі шифрування. За умови попадання туди частоти допоміжного гармонічного коливання із певною амплітудою десинхронізація хаотичних генераторів не відбувається [3].

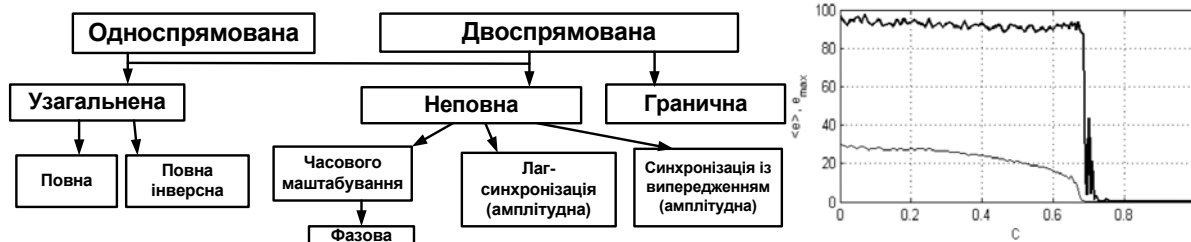


Рис. 4. Методи хаотичної синхронізації (ліворуч) та залежність похибки повної синхронізації від рівня односпрямованого зв'язку

Математичним моделюванням показано, що для генератора Чуа, що формує сигнал детермінованого хаосу у зоні звукових частот, найбільш оптимальним є використання частот допоміжного сигналу, що розташовуються у верхній частині спектру із амплітудою, що не перевищує 20% амплітуди хаотичного сигналу. Таким чином, спираючись на проведений вище аналіз можливо запропонувати повну структурну схему ширококутної хаотичної системи прихованого зв'язку придатну для практичної реалізації.

Схема складається із групи приймальних та передавальних блоків, функціональне призначення яких широковідоме. Приймач та передавач взаємодіють через односпрямовану лінію передачі, тобто зв'язок в даному випадку носить симплексний характер. Двоспрямований зв'язок може бути реалізовано утворенням двох каналів симплексного зв'язку, при цьому шифрування зв'язку в обох напрямках проходить окремо та рівень прихованості дії системи загалом покращується.

Передавальна частина схеми (рис. 5) складається із ряду незв'язаних блоків, тобто таких, в яких передача сигналу носить односпрямований характер, що є принциповим для побудови системи. Інформаційний сигнал генерується в джерелі аналогової інформації, наприклад, звичайне телефонне повідомлення. При цьому, слід зважити не те, що ширина спектру аналогового сигналу має узгоджуватись із шириною спектру сигналу детермінованого хаосу. Наприклад, у випадку генератора Чуа виконаного на інтегральній аналоговій елементній базі ширина спектрів може становити десятки мегагерц, а у випадку використання хаотичних генераторів Колпіца і набагато вище. Вказаний рівень ширококутності забезпечує пропускну здатність на рівні десятків мегабод, що цілком достатньо, наприклад, для передачі аналогового телевізійного повідомлення високої якості.

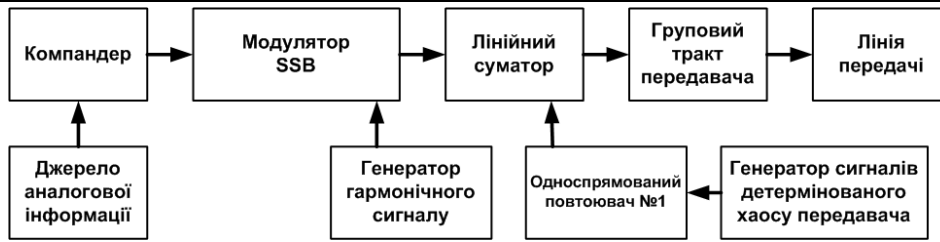


Рис. 5. Структурна схема передавальної частини системи прихованого зв'язку

Завдяки оптимальним умовам, що визначають амплітуду допоміжного сигналу, інформаційний сигнал має підлягати процедурі стиснення динамічного діапазону у компандері (рис. 5). Наявність обмеження динамічного діапазону забезпечує дотримання режиму повної хаотичної синхронізації в системі із одночасною можливістю відокремлення інформаційного сигналу від суміші простими апаратними засобами.

Генератор гармонічного сигналу фактично являє собою синтезатор, параметри якого мають відповідати обраному хаотичному режиму із дотриманням вимог оптимальності генерованої частоти та амплітуди. Якщо частота допоміжного гармонічного сигналу має встановлюватись ближче до верхньої частоти широкопasmового діапазону генератора детермінованого хаосу то для отримання аналогової модуляції більше підходить варіант модуляції із нижньою боковою смугою (SSB) із повним або частковим залишком підносівного колювання. Отже, структура сигналу на виході модулятора є квазігармонічною, та його маскування у лінійному суматорі проходить аналогічно використанню гармонічного сигналу. Використання нелінійних різновидів модуляції підносівної створює сигнали далекі від квазігармонічного, тому в такій структурі прихованого зв'язку недоцільне, крім того, використання додаткової нелінійності під час обробки в каналі передачі із сигналами ДХ непередбачуване за наслідками та потребує більш ретельного вивчення.

Криптографічна стійкість такої системи прихованого зв'язку визначається типом та структурою генератора сигналів детермінованого хаосу, початковими умовами збудження, номінальними значеннями елементів, що входять до складу схеми генератора, розташуванням частоти та амплітуди підносівного колювання, типом схеми модуляції тощо. Крім того, під час односмугової модуляції із нижньою боковою смугою реалізується інверсія спектру, що під час передачі таким каналом прихованого зв'язку телефонних повідомлень є додатковим фактором забезпечення прихованості дії. Різноманітність факторів, що визначають ключ шифрування в такій системі забезпечує надзвичайно велику кількість ключів, а отже і високий рівень прихованості дії. Застосування односпрямованого повторювача (рис. 5) дозволяє провести ізоляцію чутливого до зовнішнього впливу ГХС від зовнішніх факторів та інформаційного повідомлення.

Лінійна суміш квазігармонічного та хаотичного сигналів надходить у лінійний груповий тракт передавача (рис. 5). За попередніми оцінками групові приймача та передавача разом із лінією передачі мають мати коефіцієнт нелінійних спотворень менше 0,1% та динамічний діапазон більш як 60 дБ. Також широкопasmовий груповий тракт має мати рівномірну АЧХ та лінійну ФЧХ і забезпечувати компенсацію втрат під час передачі підсиленням. Вимоги до групових трактів хаотичних систем є достатньо жорсткими, але це одночасно може виступати і позитивним фактором, забезпечуючи чутливість до спроб несанкціонованого підключення до лінії передачі та прослуховування каналу. У рамках поставленого завдання перспективним є використання оптичних ліній зв'язку із диференційною обробкою сигналів.

Приймальна частина (рис. 6) структурно виглядає дещо складніше за передавальну в першу чергу за рахунок наявності тракту синхронізації та тракту демаскування односмугового сигналу. На виході широкопasmового групового тракту приймача сигнал, достатньої для подальшої обробки потужності, спрямовується на блок розгалуження, що складається із односпрямованих ідентичних повторювачів. Односпрямовані елементи повторювачів блокують взаємний вплив тракту демодуляції додаткової підносівної та тракту синхронізації. Отже, на виході односпрямованих підсилювачів № 2 та № 3 діють ідентичні сигнали, «ізолювані» один від одного.

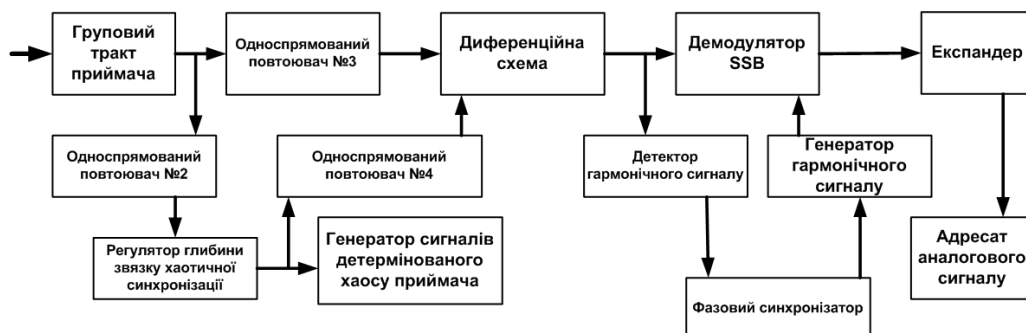


Рис. 6. Структурна схема передавальної частини системи прихованого зв'язку

Регулятором глибини зв'язку хаотичної синхронізації встановлюється закритичний рівень (див. рис. 4) синхронізуючого коливання який «нав'язує» генератору сигналів детермінованого хаосу приймача еволюцію генератора сигналів детермінованого хаосу передавача реалізуючи ефект нелінійного синхронного відгуку [4]. В результаті цього, на виході ГХС приймача встановлюється форма сигналу, яка відповідає формі сигналу на виході ведучого ГХС, тобто усувається вплив квазігармонічного коливання за рахунок повної синхронізації.

Для запобігання впливу з боку тракту демодуляції хаотичний генератор приймача «відгорожено» від диференційної схеми демаскування односпрямованим повторювачем №4. Таким чином у тракці синхронізації, на основі явища нелінійного хаотичного синхронного відгуку реалізується усування сторонніх, штучно нав'язаних лінійних змін сигналу детермінованого хаосу через ідентичність параметрів ведучого та веденого хаотичних генераторів на приймальному та передавальному боці системи. Це дає можливість на основі симетричної диференційної схеми реалізувати віднімання «чистого» хаотичного сигналу від суміші хаотичного та квазігармонічного сигналу, тобто фактично здійснити демаскування інформаційного повідомлення, що неможливо здійснити в класичних системах зв'язку. Зрозуміло, що процес демаскування спряжений із появою апаратних похибок, які не мають перевищувати певного рівня із умови дотримання закритичного рівня під час повної хаотичної синхронізації. Тобто, високий рівень прихованості дії вимагає високої якості апаратної та технологічної реалізації системи в цілому. Але подібні вимоги на даному етапі розвитку техніки зв'язку не є недосяжними.

Надалі обробка в приймачі проходить добре відомим класичним шляхом демодуляції односмугового сигналу за умови якісного демаскування. Відновлення носівної може бути проведено за допомогою синхронного резонансного фільтра або схеми на основі ФАПЧ, а демодулятор SSB та процес експандування відновлюють широкосмугове аналогове інформаційне повідомлення.

Висновки

1. Розглянуто основні варіанти побудови окремих елементів структурної побудови аналогового каналу хаотичного зв'язку в аспектах хаотичної синхронізації, хаотичної модуляції та методів забезпечення широкосмуговості із метою побудови широкосмугової системи із високим ступенем криптографічного захисту.

2. Встановлено, що для практичної реалізації широкосмугового аналогового прихованого каналу зв'язку на основі генераторів детермінованого хаосу найбільш доцільно використовувати процес маскування аналогового повідомлення хаотичним сигналом із подальшим виділенням його на основі явища нелінійного синхронного відгуку під час повної односпрямованої синхронізації ведучого та веденого генератора сигналів детермінованого хаосу.

3. Розроблено структурну схему практичної реалізації системи на основі використання хаотичного маскування із допоміжним гармонічним сигналом, вказано вимоги до побудови структурних елементів схеми та каналу зв'язку.

Література

1. Дмитриев А.С. Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи / А.С. Дмитриев, А.И. Панас. – М. : Изд-во Физматлит, 2002. – 252 с.
2. Бельський Ю.Л. Передача информации с помощью детерминированного хаоса / Ю.Л. Бельський, А.С. Дмитриев // Радиотехника и электроника. – 1993. – Т. 38, № 7. – С. 13100–1315.
3. Короновский А.А. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации / А.А. Короновский, О.И. Москаленко, А.Е. Храмов // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179. – № 12. – С. 1281–1310.
4. Політанський Л. Система передачі інформації з використанням синхронного хаотичного відгуку / Л. Політанський, М. Кушнір, С. Галюк // Комп'ютерні науки та інженерія : матеріали III міжн. конф. молодих вчених CSE-2009, 14–16 травня 2009 р. – 2009. – С. 319–320.

References

1. Dmytryev A.S. Dynamicheskyi khaos. Novyye nosytely ynfformatsyy dlia system svyazy / A.S. Dmytryev, A.Y. Panas. – M.: Yzd-vo Fyzmatlyt, 2002. – 252 S.
2. Belskyi Yu.L., Dmytryev A.S. Peredacha ynfformatsyy s pomoshchiu deternynirovanoho khaosa // Radyotekhnika y elektronika. – 1993. – T. 38, 7. – S. 13100–1315.
3. Koronovskiy A.A. O prymenenyy khaotycheskoj synkhronyzatsyy dlia skrytoi peredachy ynfformatsyy / A.A. Koronovskiy, O.Y. Moskalenko, A.E. Khramov // Uspekhy fizycheskykh nauk. – 2009. – T. 179. – № 12. – S. 1281–1310.
4. Polytanskiy L. Systema peredachi informatsii z vykorystanniam synkhronnoho khaotychnoho vidhuku / L. Polytanskiy, M. Kushnir, S. Haliuk // Kompiuterni nauky ta inzheneriia : materialy III mizhn. konf. molodykh vchenykh CSE-2009, 14–16 travnia 2009 r. – 2009. – S. 319–320.

Рецензія/Peer review : 22.11.2017 р. Надрукована/Printed : 19.11.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Полікаровських О.І.