

УДК 621.391

## ВИКОРИСТАННЯ КВАДРАТУРНИХ ЦИФРОВИХ МОДУЛЯТОРІВ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ З АВТОКОРЕЛЯЦІЙНИМ ПРИЙОМОМ СТОХАСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Ільченко М.Ю., Наритник Т.М., Дідковський Р.М.  
Національний технічний університет України «КПІ»  
E-mail: director@mitris.com

### USING A QUADRATURE DIGITAL UPCONVERTER IN AUTOCORRELATION TRANSMIT SYSTEMS WITH STOCHASTIC SIGNALS

*Abstract — The data transmission method with differential modulation of stochastic signals is proposed. This method based on using Quadrature Digital Upconverter and Gram–Schmidt process for separation of signal components. As a result bit rate is double.*

При побудові мереж передачі конфіденційної інформації можуть успішно використовуватись широкосмугові сигнали переносники з важко передбачуваною формою сигналу. Найбільш стійкими до статистичного аналізу та перехоплення переданої інформації є, безумовно, шумові сигнали [1].

Найбільш відомими методами внесення цифрової інформації до шумового (стохастичного) сигналу є:

- 1) маніпуляція статистичних характеристик реалізації шуму;
- 2) метод з передачею опорного.

У першому випадку прийом сигналу здійснюється з використанням енергетичного методу (або його узагальнення), у другому – автокореляційним методом. Необхідно зауважити, що максимальну структурну скритність сигналу забезпечують системи зв'язку з передачею опорного сигналу та автокореляційним прийомом, а кращу завадостійкість в цьому класі систем має система з фазовою маніпуляцією шумового сигналу (ФМШС) [2].

Ця система має наступні особливості:

- 1) послідовна (з розділенням в часі) передача опорного та інформаційного сигналу;
- 2) фазова маніпуляція інформаційного шумового сигналу.

Повне часове розділення опорного та інформаційного сигналу з одного боку дозволяє позбутися внутрішньосистемних завад та отримати вииграш у завадостійкості, однак з іншого боку веде до подвоєння тривалості бігового інтервалу та втрат у швидкості передачі даних.

Сучасні цифрові засоби формування та обробки сигналів дозволяють запропонувати нові підходи до вирішення вказаної проблеми.

На рис. 1 зображено структурну схему передавача, а на рис. 2 – приймача системи зв'язку, що пропонується. Ключовим вузлом передавача є квадратурний цифровий модулятор (КЦМ), який поєднує в собі функції двоканального цифро-аналогового перетворювача та квадратурного модулятора. Позначимо  $\Delta t$  період роботи КЦМ,  $n$  – кількість тактів цього

пристрою на бітовому інтервалі системи, тоді тривалість бітового інтервалу дорівнює  $T = n \cdot \Delta t$ .

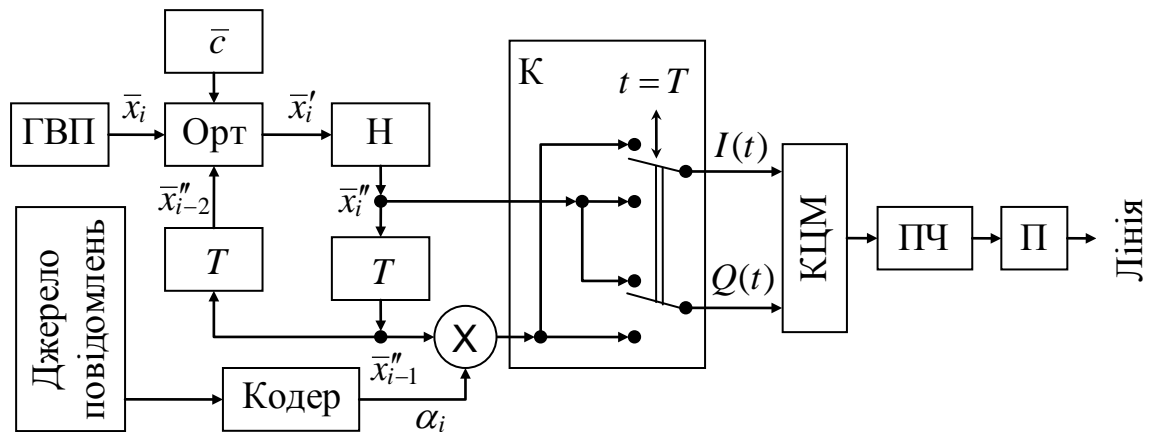


Рис. 1. Структурна схема передавача системи

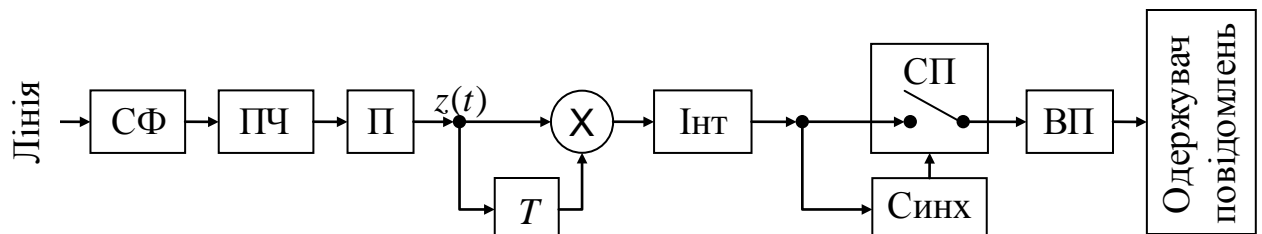


Рис. 2. Структурна схема приймача системи

Алгоритм роботи передавача протягом бітового інтервалу наступний. Генератор випадкової послідовності (ГВП) формує реалізацію номер  $i$  стохастичного вектора  $\bar{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ . Ця реалізація надходить до блоку ортогоналізації (Орт), на інші входи якого надходить вектор  $\bar{x}_{i-2}''$  (сформований на два цикли раніше) та вектор  $\bar{c} = (1, 1, \dots, 1)$ . Ортогоналізатор виконує перетворення (процедуру Грама-Шмідта)

$$\bar{x}'_i = \bar{x}_i - \frac{\langle \bar{x}_i, \bar{x}_{i-2}'' \rangle}{\langle \bar{x}_{i-2}'', \bar{x}_{i-2}'' \rangle} \bar{x}_{i-2}'' - \frac{\langle \bar{x}_i, \bar{c} \rangle}{\langle \bar{c}, \bar{c} \rangle} \bar{c}.$$

Результуючий вектор  $\bar{x}'_i$  буде ортогональним до вектора  $\bar{x}_{i-2}''$  і матиме нульове середнє значення.

Блок нормування (Н) виконує перетворення вектора за формулою

$$\bar{x}''_i = \frac{1}{\sqrt{\langle \bar{x}'_i, \bar{x}'_i \rangle}} \bar{x}'_i$$

та забезпечує фіксовану середню потужність вектора  $\bar{x}''_i$ .

Координати вектора  $\bar{x}''_i$  (опорний сигнал) надходять до першого входу комутатора (К), а через лінію затримки на час  $T$  на другий вхід комутатора надходять координати вектора  $\alpha_i \bar{x}_{i-1}''$  (інформаційний сигнал), сформованого на попередньому бітовому інтервалі та модульованого сигналом кодера ( $\alpha_i = 1$ , якщо поточний біт дорівнює 1,  $\alpha_i = -1$ , в іншому випадку).

Комутатор змінює свій стан у кінці кожного бітового інтервалу. В результаті сигнали, що потрапляють на вхід комутатора або потрапляють на паралельні виходи, або міняються місцями. В такий спосіб опорний та

інформаційний сигнал, сформований на базі одного вектора потрапляють на один і той же вхід квадратурного цифрового модулятора (КЦМ). На виході маємо модульований сигнал проміжної частоти. Запишемо математичну модель цього сигналу, що спостерігається протягом трьох послідовних бітових інтервалів

$$s(t) = x_{i-2}(t) \sin 2\pi f_0 t + \alpha_{i-2} x_{i-3}(t) \cos 2\pi f_0 t, \quad t \in [(i-2)T, (i-1)T),$$

$$s(t) = \alpha_{i-1} x_{i-2}(t) \sin 2\pi f_0 t + x_{i-1}(t) \cos 2\pi f_0 t, \quad t \in [(i-1)T, iT),$$

$$s(t) = x_i(t) \sin 2\pi f_0 t + \alpha_i x_{i-1}(t) \cos 2\pi f_0 t, \quad t \in [iT, (i+1)T),$$

де  $x_i(t)$  – результат цифро-аналогового перетворення вектора  $\bar{x}_i''$ .

Подальша обробка сигналу стандартна і включає в себе претворення частоти (ПЧ) підсилення (П) та подачу сигналу в лінію (або на вхід антени).

Приєм сигналу відбувається за допомогою автокореляційного фільтра до якого надходить сигнал  $z(t)$  після смугового фільтра (СФ), перетворювача частоти (ПЧ) та підсилювача (П). Автокореляційний фільтр складається з лінії затримки, змішувача та інтегруючого пристрою (період інтегрування дорівнює бітовому інтервалу  $T$ ). На виході фільтра маємо сигнал

$$r(t) = \int_{t-T}^t z(\tau) \cdot z(\tau - T) d\tau.$$

Пристрій тактової синхронізації (Синх) керує стробуючим пристроєм (СП), який в кінці кожного бітового інтервалу подає на вхід вирішуючого пристрою (ВП) значення функції  $r(t)$ . Знак цієї величини визначає рішення про прийом нуля чи одиниці.

Необхідно зазначити, що процедура інтегрування ефективно придушує складові подвійної частоти та складові, що утворюються в результаті множення опорних та інформаційних сигналів з різними номерами (в силу їх ортогональності). В такий спосіб внутрішні системні завади зводяться до мінімуму.

Описаний підхід дозволяє спростити структуру ортогоналізатора (зменшити кількість вхідних даних та процедуру перетворення) за рахунок розділення сигналів по квадратурних каналах та ефективно використати можливості сучасних квадратурних цифрових модуляторів.

Запропонований метод формування та обробки шумового сигналу дозволяє вдвічі підвищити швидкість передачі даних у системі з ФМШС при збереженні тривалості опорного сигналу.

### Література

1. Didkowsky R.M. Information transmission methods with through the use of stochastic signals / R.M. Didkowsky // Telecommunication Sciences. – 2013. – Vol. 4, N. 2. – P. 5-18.
2. Ильченко М.Е. Вероятность ошибки автокорреляционного приемника манипулированных шумовых сигналов / М.Е. Ильченко, В.И. Калинин, Т.Н. Нарытник, Р.М. Дидковский // Цифрові технології. – 2013. – №14. – С. 5-16.