УДК 621.397.6+621.398(075.8)

Р.О. Долінський, О.Г. Долінська

Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИГНАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФАЗОРІЗНИЦЕВОЇ МОДУЛЯЦІЇ ВИСОКОГО ПОРЯДКУ

У статті проведений аналіз особливостей фазорізницевої модуляції різних порядків. Розглянуті особливості завадозахищенности фазорізницевої модуляції разних порядків до найбільш поширених типів завад. Зроблено висновок щодо переваг фазорізницевої модуляції вісоких порядків у порівнянні з фазорізницевою модуляцією першого порядку. Розроблено логічну схему модулятора фазорізницевої модуляції другого і третього порядку.

Ключові слова: *Фазорізницева модуляція, інваріантність, оптимальний прийом, автокореляційний прийом.*

Вступ

Фазорізницева модуляція (ФРМ) є найбільш важливим у практичному відношенні частковим випадком різничної модуляції. Володіючи перевагами класичної фазової модуляції в області досягнення високої швидкості і вірності передачі інформації, ФРМ, як різнична модуляція, дозволяє досягнути інваріантості системи передачі інформації до змін фази і частоти сигналу [1],[2]. Останньою властивістю володіє і частотно-різнична модуляція (ЧРМ), однак за інших рівноправних умов ФРМ забезпечує більш високі питому швидкість передачі інформації та завадостійкість.

Основна частина

При ФРМ k-го порядку інформація вкладається в послідовність k-х різниць фаз несучого коливання, які можуть приймати кінцеве число значень: $\Delta^k ¤_1, \Delta^k ¤_2, \cdots, \Delta^k ¤_m$. Відповідна система називається *m*-позиційною системою з ФРМ k-го порядку чи при $m = 2^N$ системою з *N*-кратною ФРМ k-го порядку. У *N*-кратних системах варіанти переданих k*-х* різниць фаз приймають значення $\Delta^k ¤_i = \Delta^k ¤_0 + (i-1)® / 2^{N-i} \quad (i = 1, 2, \ldots, 2^N)$, де $\Delta^k ¤_0$ - початкове значення k-ї різниці фаз, яке обирається виходячи зі зручності реалізації операцій модуляції та демодуляції.

Вибір порядку ФРМ або ЧРМ у тій чи іншій системі визначається характером неадитивних дій, що приводять до нестабільності частоти і фази сигналу, і апріорними відомостями про ці дії [3]. Розглянемо це питання докладніше.

Нехай сигнал-переносник має коливання вигляду:

$$S(t) = a \sin \cdot (t) \qquad (1.1)$$

Виділимо із аргументу даної тригонометричної функції лінійну складову $µ_0 t$, яка не приводить до змін початкової фази в моменти, кратні тривалості посилки *T*, що справедливо при $µ_0 = 2® l / T$, де l - ціле число. Тоді різниця фаз $\cdot (t) - µ_0 t = ¤(t)$ буде характеризувати зміни початкової фази сигналу в зазначені моменти, а сигнал (1.1) можна представити у вигляді:

$$S(t) = a \sin[µ_0 t + ¤(t)]. \qquad (1.2)$$

При цифровій передачі повідомлень по каналах зв'язку фазомодульованими сигналами функція $¤(t)$ відображає як інформацію, що передається, так і збурюючі дії. Останні називаються завадами, а також нелінійними і параметричними перетворен-нями сигналу в каналі зв'язку. Ці перетворення, як правило, можна представити на кінцевому інтервалі поліноміальною моделлю з випадковими коефіцієнтами $¤_0, ¤_1, ¤_2, \ldots$, що характеризують постійні, лінійні, квадратичні і т.д. зміни початкової фази сигналу

$$¤(t) = \sum_{i=0}^{k-1} ¤_i t^i + ¤_u(t), \qquad (1.3)$$

де $¤_u(t)$ - інформаційна фаза сигналу. Оскільки відхилення частоти сигналу $µ$ від номінального значення $µ_0$ дорівнює похідній від (1.3), то:

$$µ(t) = \frac{d¤}{dt} = \sum_{i=0}^{k-1} i ¤_i t^{i-1} + µ_u(t), \qquad (1.4)$$

де μ_u - інформаційне відхилення частоти сигналу. З (1.3) та (1.4):

$$\frac{d^k[¤(t)-¤_u(t)]}{dt^k}\equiv 0,\qquad \frac{d^{k-1}[\mu(t)-\mu_u(t)]}{dt^{k-1}}\equiv 0, \tag{1.5}$$

звідки у відповідності з доведеною вище властивістю інваріантності дискретно різничного перетворення випливає, що k-ті різниці фаз сигналу і (k-1)-і різниці частоти не залежать від збурюючих дій, які описуються функцією (1.3).

Таким чином, якщо паразитна зміна фази сигналу на інтервалі тривалістю $(k+1)T$ можна представити у вигляді полінома (k-1)-го порядку, то абсолютну інваріантість системи до цих змін може забезпечити ФРМ k-го порядку чи (k-1)-го порядку.

Розглянемо найбільш характерні часткові випадки:

1. Невизначена, але незмінена початкова фаза сигналу:

$$¤(t)=¤_u(t)+¤_0;\quad \mu(t)=\mu_u(t). \tag{1.6}$$

Ця ситуація виникає внаслідок некогерентності задаючих генераторів у лінії зв’язку або нестрогої когерентності сигналу та опорного коливання в демодуляторі (когерентність із точністю до дискретного зсуву). Оскільки у цьому випадку

$$\frac{d[¤(t)-¤_u(t)]}{dt}\equiv 0;\quad \mu(t)-\mu_u(t)\equiv 0,$$

то

$$\Delta^1¤=\Delta^1¤_u=in\,\mathrm{var}\,¤_0;\quad \Delta^0\mu=\mu_u=in\,\mathrm{var}\,¤_0. \tag{1.7}$$

Це означає, що абсолютну інваріантість до постійних відхилень фази сигналу забезпечує ФРМ першого порядку і ЧРМ нульового (тобто ЧМ) порядку [4].

2. Невизначена і лінійно змінна початкова фаза (невизначена, але постійна частота сигналу):

$$¤(t)=¨_u(t)+¤_0+¤_1t;\quad \mu(t)=\mu_u(t)+¤_1. \tag{1.8}$$

Ця ситуація виникає в наслідок нестабільності та нееталонності задаючих генераторів у лінії зв’язку та ефектом Доплера при зв’язку з рухомим чи нестаціонарним об’єктом із рівномірною у часі зміною відстані між передавачем і приймачем. Так як у даному випадку:

$$d^2[¤(t)-¤_u(t)]/dt^2\equiv 0;\quad d[\mu(t)-\mu_u(t)]/dt\equiv 0,$$

то

$$\Delta^2¤=\Delta^2¤_u=in\,\mathrm{var}(¤_0,¤_1);\qquad \Delta^1\mu=\Delta^1\mu_u=in\,\mathrm{var}(¤_0,¤_1). \tag{1.9}$$

Це означає, що абсолютну інваріантість до лінійних відхилень фази сигналу може забезпечити ФРМ другого порядку і ЧРМ першого порядку.

3. Невизначена і квадратично змінна фаза сигналу (невизначена і лінійно змінна частота сигналу):

$$¤(t)=¤_u(t)+¤_0+¤_1t+¤_2t^2;\qquad \mu(t)=\mu_u(t)+\mu_1+2\mu_2t. \tag{1.10}$$

Ця ситуація виникає внаслідок нестабільності задаючих генераторів у лінії зв’язку та через ефект Доплера при рівноприскореній зміні відстані між передавачем і приймачем. Оскільки у цьому випадку

$$d^3[¤(t)-¤_u(t)]/dt^3\equiv 0;\qquad d^2[\mu(t)-\mu_u(t)]/dt^2\equiv 0,$$

то

$$\Delta^3¤=\Delta^3¤_u=in\,\mathrm{var}(¤_0,¤_1,¤_2);\qquad \Delta^2\mu=\Delta^2\mu_u=in\,\mathrm{var}(¤_0,¤_1,¤_2). \tag{1.11}$$

Це означає, що абсолютну інваріантість до квадратичних змін фази (лінійних відхиленнях частоти) сигналу можуть забезпечити ФРМ третього порядку і ЧРМ другого порядку.

Деякі додаткові зауваження слід зробити з приводу умов і засобів досягнення інваріантості в розглянутих ситуаціях.

Щодо умов відзначимо, що апроксимаційна модель змін фази і частоти, яка задається співвідношеннями (1.3) і (1.4), повинна бути справедливою для інтервалів спостереження, тривалість яких дорівнює тривалості k+1 посилки сигналу. Якщо, наприклад, використовується ФРМ-1, то для досягнення абсолютної інваріантності до початкової фази остання повинна бути незмінною на інтервалі двох посилок. Якщо ж використовується ФРМ-2, то для досягнення абсолютної інваріантості до частоти несучого коливання ця частота повинна бути незмінної на інтервалі трьох посилок. Якщо зазначені умови не виконуються і випадкові зміни фази не виражаються точно через поліном (k-1)-го ступеня на інтервалі k+1 посилки, то застосування ФРМ-k може забезпечувати лише відносну інваріантість до відповідних паразитних змін фази і частоти сигналу, тобто послабити, а не усунути вплив збурюючих дій. Ступінь такого ослаблення потрібно розрахо-вувати для кожної конкретної ситуації окремо.

Засобами досягнення інваріантності до змін частоти та фази сигналу є адекватні алгоритми формування (модуляції) і обробки (демодуляції) відповідних сигналів.

Реалізація модуляторів у системах із ФРМ-k не містить ніяких принципових труднощів. Із загальних алгоритмів сигналів з ФРМ неважко одержати відповідні алгоритми для ФРМ-k. Загальні схеми формування сигналів з різничною модуляцією, що показані на рис. 1.1. і 1.2., також містять вичерпну інформацію, необхідну для складання функціональних схем модуляторів сигналів із ФРМ-k. У якості прикладу на рис. 1.3 показані схеми модуляторів сигналів із ФРМ-2 і ФРМ-3.

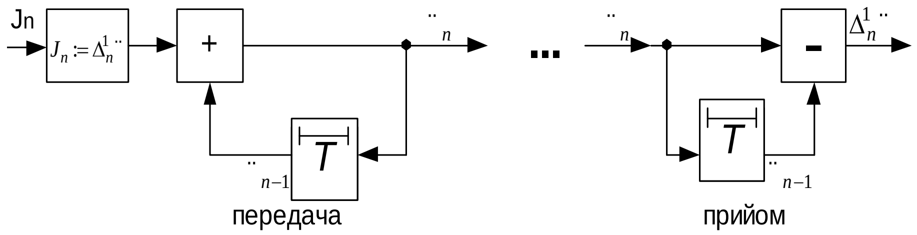

Рис. 1.1. Принципи формування і обробки фазомодульованих сигналів ФРМ-1

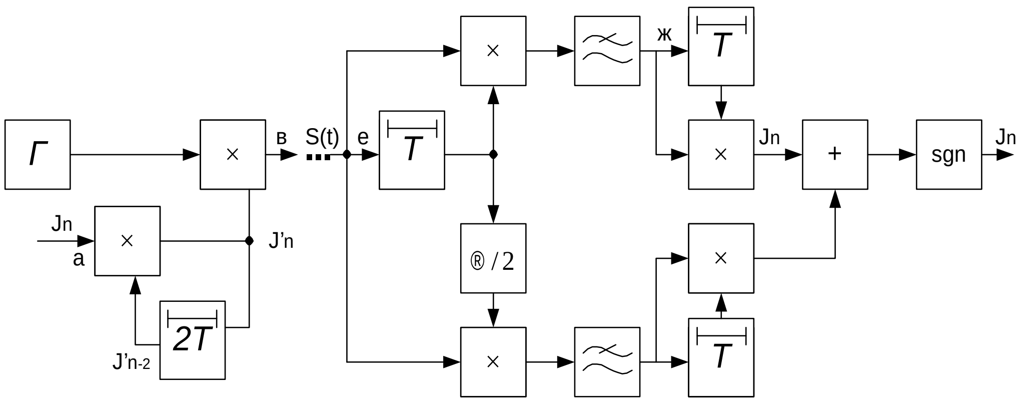

Рис. 1.2. Модем системи з однократною ФРМ-2, забезпечуючий інваріантність до частоти несучого коливання

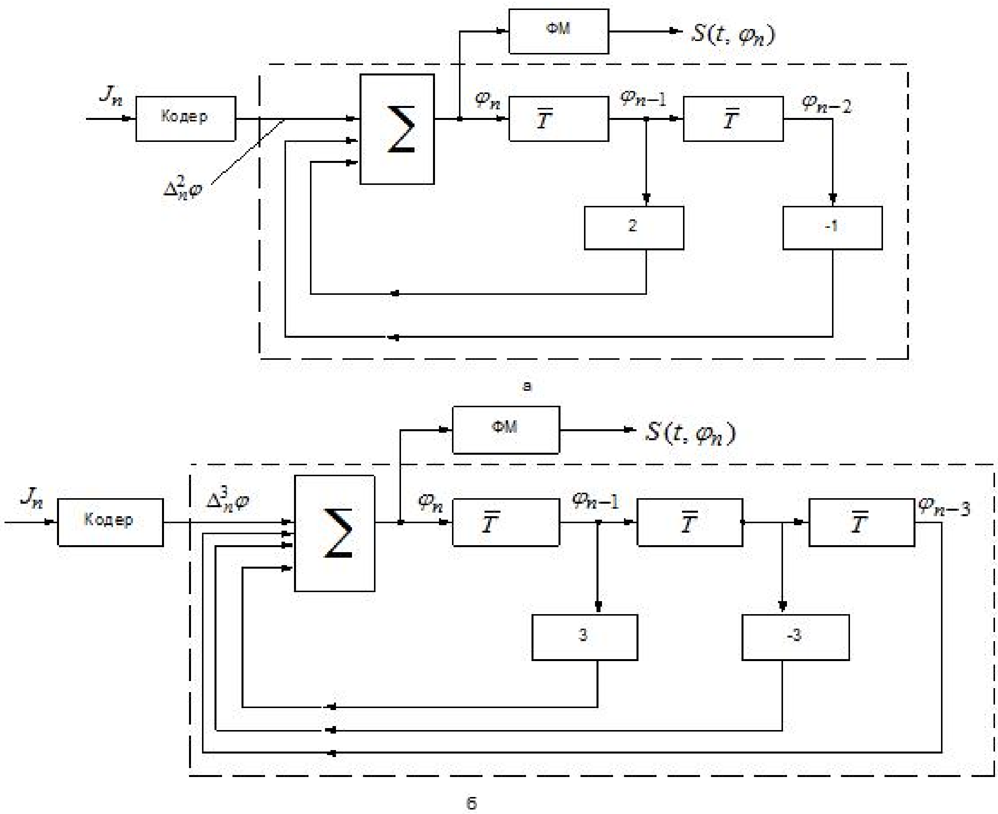

Рис. 1.3. Модулятори сигналів з ФРМ другого (а) та третього (б) порядків

Ці схеми містять кодери, фазові модулятори (ФМ) і пристрої перетворення різниць фаз другого або третього порядку в значення поточної фази сигналу, які, зазвичай, називають перекодовуючими пристроями (обведені штриховими лініями).

Більш складним є питання про реалізацію демодуляторів сигналів з ФРМ-k. Загальні схеми обробки сигналів з різничною модуляцією містять вимірювач інформаційного параметра, алгоритм якого важко отримати в загальному вигляді. При ФРМ - це вимірювач-демодулятор сигналу, що будується по-різному в залежності від апріорних відомостей про прийнятий сигнал і з врахуванням порядку обчислюваних надалі різниць фази. Так, при ФРМ-1, як відзначалося вище, властивість абсолютної інваріантості, стосовно невизначеної початкової фази сигналу, досягається за допомогою будь-якого некогерентного демодулятора сигналів із ФРМ-1, у тому числі за допомогою оптимального некогерентного й автокореляційного демодуляторів.

Висновки

При ФРМ-2 властивість абсолютної інваріантості до частоти несучого коливання досягається тільки при використанні автокореляційних демодуляторів, що також докладно досліджено в подальших статтях. При ФРМ-3 автокореляційний демодулятор забезпечує тільки відносну інваріантість до лінійних змін частоти, а для досягнення абсолютної інваріантості потрібно синтезувати спеціальний недвовимірний вимірювач поточної фази сигналу.

У загальному випадку вимірювач фази в системах із ФРМ високого порядку являє собою пристрій оптимального оцінювання фази сигналу при апріорних відомостях, які відповідають тому ступеню невизначеності, який зазначена система повинна подолати [5].

Список літератури

1. Охтень О.І., Чумак О.І. Підвищення порядку астатизму системи ФАП з екстраполюючими коригувальними пристроями // Збірник наукових праць військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». - Випуск №2, 2002. - С.81-86.

2. Пропой А.И. Элементы теории оптимальных дискретных процессов // Наука, 1973. – 256 с.

3. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Системы управления для глобальной информационной инфраструктуры // Одесса: Труды IV Международной научно-технической конференции по телекоммуникациям "Телеком-99", 1999. - С.16-19.

4. Фролов А. В., Фролов Г. В. Модемы и факс-модемы //Диалог-МИФИ, 1995. – 288 с.

5. Шнепс М.А. Интеллектуальная сеть: основные понятия и услуги // Системы и сети, 1997. - С.78 - 82.

Надійшла до редколегії 20.12.2013.

Рецензент: д.т.н., проф. Беркман Л.Н., Державний університет телекомунікацій, Київ.

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗОРАЗНОСТНОЙ МОДУЛЯЦИИ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА

Р.А. Долинский, О.Г. Долинская

В статье проведен анализ особенностей фазоразностнонй модуляции различных порядков. Рассмотрены особенности помехозищищенности фазоразностной модулиции рзличных порядков относительно распостраненных типов помех. Сделаны выводы касательно преимуществ фазоразностной модуляции высоких порядков относительно фазоразностной мудоляции первого порядка. Разработана логическая схема модулятора фазоразностной модуляции второго и третьего порядков.

Ключевые слова: *Фазоразностная модуляция, инвариантнось, оптимальный прием, автокорреляционный прием.*

ANALISIS OF SIGNAL NOISE RESISTANCE WITH USAGE OF PHASE-DIFFERENCE MODULATION OF HIGH ORDER

R.A. Dolinskiy, O.G. Dolinskaya

In current article analysis of phase-difference modulation of different orders is fulfilled. Noise resistance features of phase-difference modulation of high order are overviewed. Conclusion related to advantages of phase-difference modulation of high order, in comparison with phase-difference modulation of first order were done. Logical 3rd and 4th order phase-difference demodulator scheme is developed.

Keywords: *Phase-difference modulation, invariance, optimal reception, autocorrelation reception.*