

А.П. Бондарєв, І.П. Максимів  
Національний університет “Львівська політехніка”

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРИЙМАННЯ 8PSK-СИГНАЛУ

© Бондарєв А.П., Максимів І.П., 2009

**Розглянуто можливість технічної реалізації приймання 8PSK-радіосигналів за низького відношення сигнал-шум.**

**The possibility of engineering implementation of receiving radio signals with 8PSK at low signal-to-noise ratio is considered in this paper.**

### Постановка проблеми і її зв'язок з важливими науковими завданнями

Зростання попиту на цифрові канали передавання інформації спонукає використання спектрально ефективних методів модуляції, призначених для зменшення спектрального перевантаження каналів зв'язку. Одним з таких методів модуляції є 8-позиційна фазова маніпуляція (8PSK), яку, зокрема, широко застосовують у сучасних системах радіозв'язку, таких як транкінгові мережі (Tetra) та технологія EDGE.

Перевага цього типу модуляції полягає у тому, що такі чинники, як амплітудні та частотні шуми не спричиняють хибного детектування сигналу. Тому фазова маніпуляція є найефективнішою під час передавання цифрових сигналів, а також дає можливість організувати велику кількість цифрових каналів передавання в одній смузі частот. Кількість таких каналів обмежена необхідністю забезпечення мінімально допустимого відношення сигнал/завада, за якого забезпечується задовільна якість передавання [1].

Якщо зменшити необхідний мінімальний рівень відношення сигнал-шум (ВСШ), то збільшиться місткість системи. Методи зменшення необхідного мінімального ВСШ зі збереженням задовільної якості приймання сигналу є важливим науково-технічним завданням. Наукові роботи з нелінійного аналізу пристрою фазової автопідстройки частоти (ФАПЧ) [2, 3] та побудова на його основі демодуляторів свідчать про актуальність цього напряму досліджень для забезпечення сучасних вимог щодо зв'язку з рухомими об'єктами та зменшення потужності радіосигналів.

У цій роботі досліджено спосіб забезпечення задовільної якості передавання навіть за недопустимо малих для звичайних систем відношень сигнал/завада.

### Модифікований пристрій ФАПЧ

За низького відношення сигнал-шум розподіл густини імовірності фази суміші гармонічного сигналу з завадою ближчий до рівномірного, ніж до нормального (рис. 1). Це призводить до виникнення аномальних стрибків фази в моменти комутації в приймачі (рис. 2) та становить одну з проблем детектування сигналів з фазовою маніпуляцією.

Такі аномальні стрибки фази під час комутації неможливо усунути жодною фільтрацією після фазового детектора (ФД), що спонукає до пошуку альтернативного методу вирішення цієї проблеми.

Порогове обмеження завадостійкості визначається межами робочої ділянки детекторної характеристики ФД. Синхронний режим, який є основною умовою коректного детектування сигналів, зривається, якщо сумарна похибка синхронізації виходить за межі цієї робочої ділянки. У класичному пристрої ФАПЧ це викликає необхідність пошуку компромісу між завадостійкістю (статистична складова похибки) та динамічними властивостями пристрою (динамічна складова).

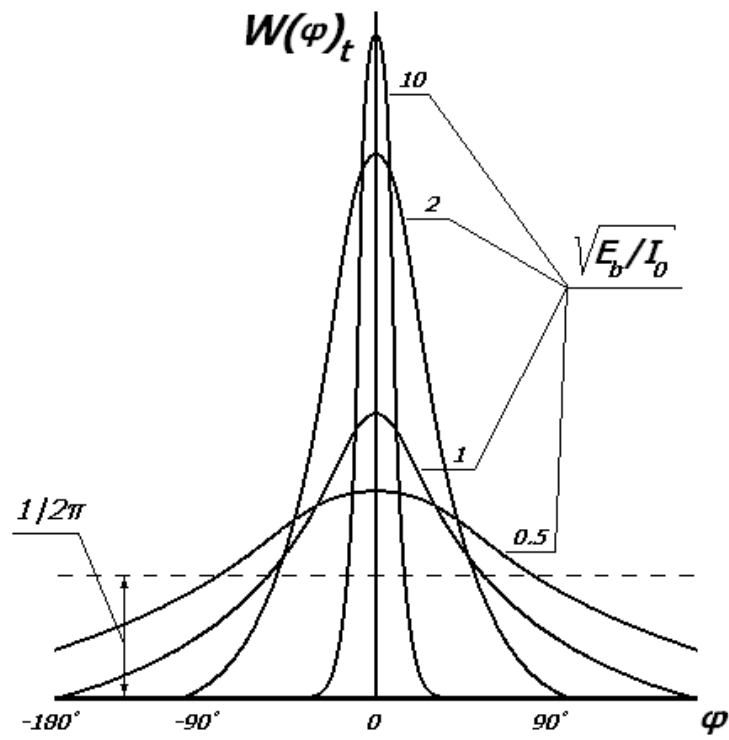


Рис. 1. Графік залежності зміни розподілу густини ймовірності фази суміші сигнал-завада залежно від значення ВСШ ( $E_b/I_0$ )

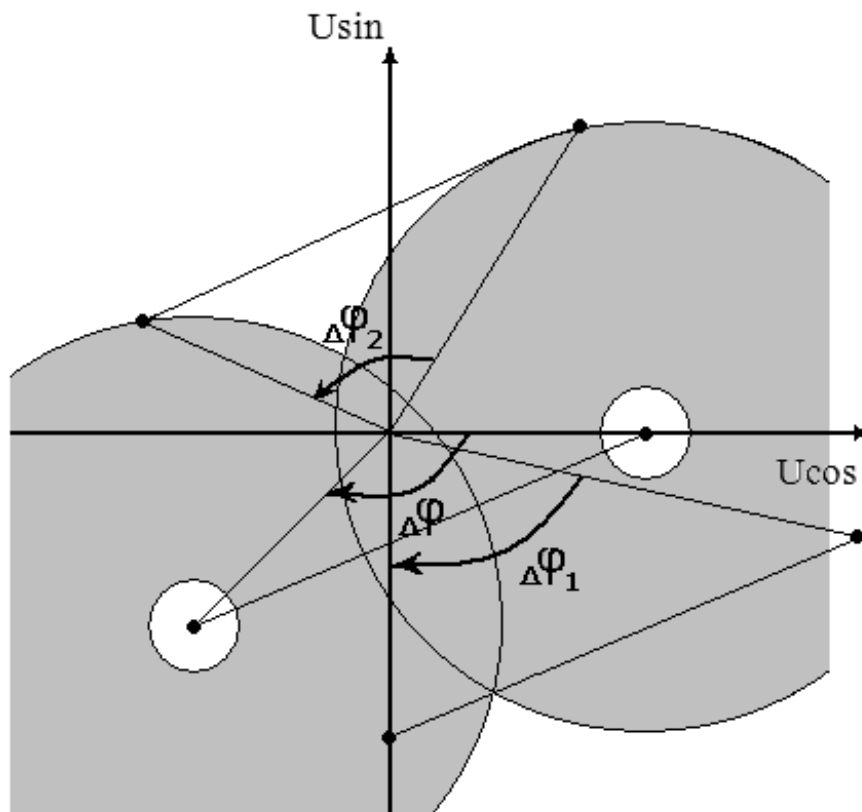


Рис. 2. Зміна квадратурних складових 8PSK-сигналу на вході вузькосмугового фільтра в момент комутації за низького ВСШ ( $\Delta\varphi_1$  та  $\Delta\varphi_2$  – аномальні стрибки фази вхідного сигналу)

Можливість підвищення стійкості ФАПЧ до шуму та детермінованих завад без зміни динамічних властивостей може бути реалізована за допомогою модифікованого пристрою, описаного у [4] (рис. 3). У цьому пристрої вузькосмуговий фільтр (ВСФ) зменшує різницю фаз коливань на входах фазового детектора (ФД). Після проходження сигналу через ФД у межах робочої ділянки детекторної характеристики його рівень відтворюється за допомогою активного фільтра верхніх частот (ФВЧ). Запропонована схема модифікованого пристрою ФАПЧ відрізняється від класичного аналога тим, що перед фазовим детектором у ньому розташовується вузькосмуговий фільтр, а після ФД – фільтр верхніх частот.

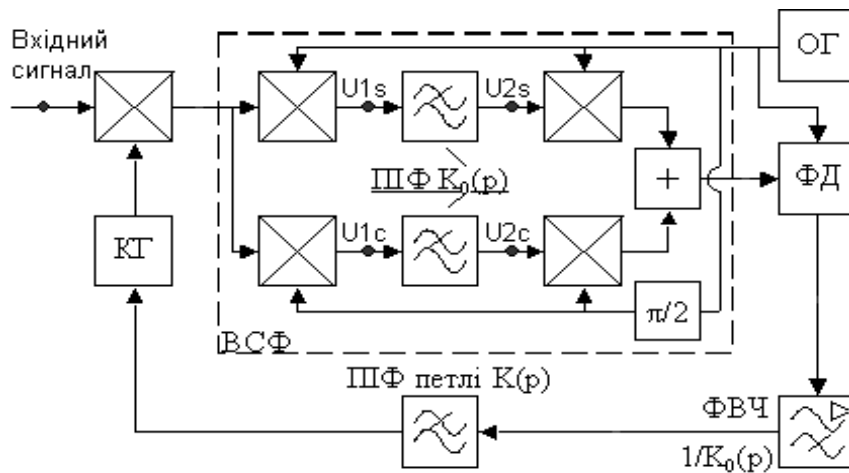


Рис. 3. Структурна схема модифікованого синхронного фазового детектора ( $U_s$  і  $U_c$  – синфазна та квадратурна складові напруги біполярного сигналу)

ВСФ повинен задовольняти таким умовам:

1. Резонансна частота збігається із частотою опорного генератора (ОГ).
2. Смуга пропускання значно вужча від смуги вхідних пристроїв (зокрема, вужча від спектральної смуги вхідного сигналу).
3. Коефіцієнт передавання на частотах, далеких від резонансної, не дорівнює нулеві.

За виконання таких вимог у моменти комутації фази вхідного сигналу на виході ВСФ спостерігається зменшений стрибок фази із подальшим повільним наростанням (рис. 4). Зменшений вузькою смугою ВСФ шум не виводить фазу сигналу за межі одного октанту. За таким самим законом (невеликий стрибок та повільне наростання) змінюється напруга на виході ФД.

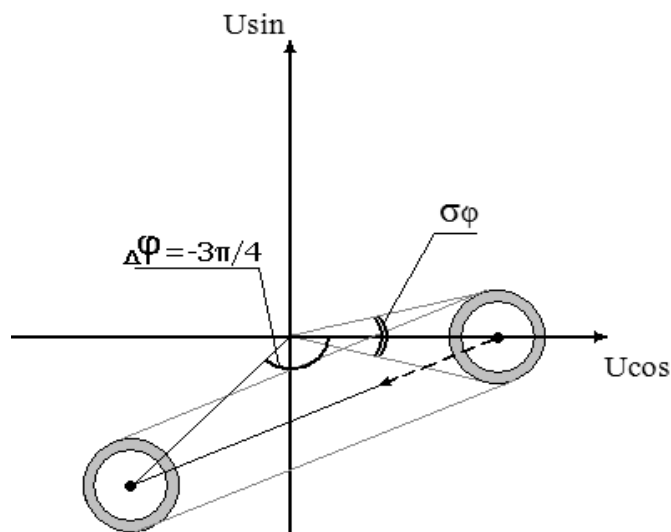


Рис. 4. Зміна квадратурних складових 8PSK сигналу на виході вузькосмугового фільтра в момент комутації

Такий ВСФ реалізовано як синхронно-фазовий фільтр, у квадратурних каналах якого використані однакові пропорційно-інтегровальні фільтри (ПФ) з комплексною частотною характеристикою (КЧХ):

$$K_0(j\omega) = \frac{1 + j\omega m_0 T_0}{1 + j\omega T_0}, \quad (1)$$

і відповідно з перехідною характеристикою

$$g_0(t) = 1 - (1 - m_0)e^{-\alpha_0 t}, \quad (2)$$

де  $\alpha_0 = 1/T_0$  – смуга пропускання ПФ;  $m_0$  – коефіцієнт пропорційності ПФ.

Модуль КЧХ (1) є близьким до одиниці у діапазоні частот від 0 до  $\alpha_0$  та близьким до  $m_0$  на частотах, вищих від  $\alpha_0/m_0$ . Частоту  $\alpha_0$  вибирають у декілька разів меншою від частоти маніпуляції фази.

Важливою особливістю вхідної суміші є те, що її квадратурні складові мають нормальний розподіл навіть за великих значень інтенсивності шуму, а отже, напруги у точках 1с та 1s на рис. 3 також розподілені за законом Гауса.

Передавальна характеристика корегуючого ФВЧ є оберненою до характеристики фільтрів у квадратурних каналах ВСФ (рис. 5). Внаслідок цього напруга на виході майже точно відтворює зміни фази вхідного сигналу навіть за малого ВСШ.

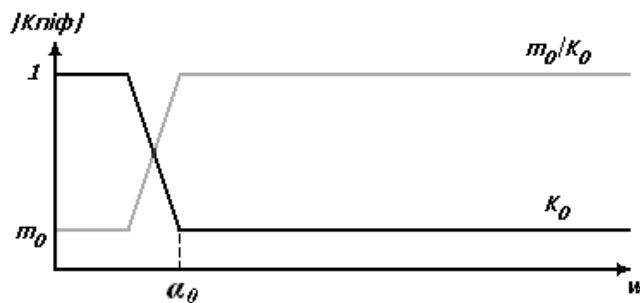


Рис. 5. Передавальні характеристики ВСФ (темний) та корегуючого ФВЧ (світлий)

### Імітаційне моделювання детектування 8PSK-сигналів

Під час дослідження процесів детектування 8PSK-сигналу було проведено імітаційне моделювання на ЕОМ за допомогою програмних засобів. Результати моделювання модифікованого фазового детектора з розімкненою петлею керування за подання на вхід 8PSK-сигналу зображені на рис. 6. Моделювання показало, що модифікований пристрій зберігає здатність детектувати середнє значення фази навіть за неприпустимо великих рівнів шуму.

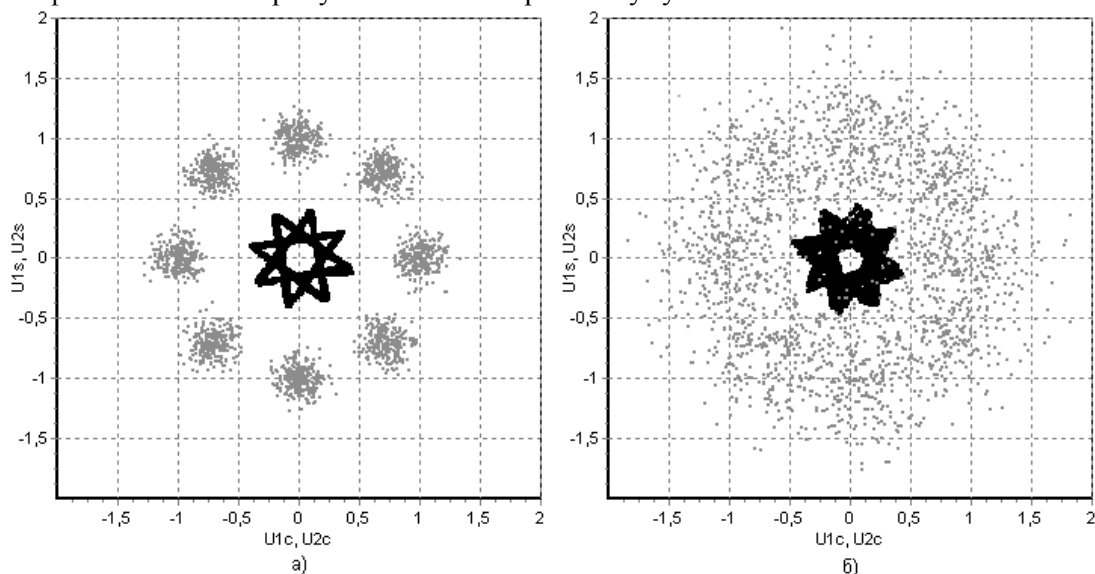


Рис. 6. Фазові портрети вхідного (світлі) та вихідного (темні) сигналів ВСФ за умов високого (а) та низького (б) відношення сигнал/шум

Тестування замкнених кіл класичного та модифікованого пристроїв ФАПЧ за однаково низьких ВСШ на їх входах показало, що імовірність бітових помилок у класичному пристрої становить близько 35 % посилянь, а у модифікованому – менше 7 %.

### Висновки

Аналізуючи результати досліджень та діаграми, отримані під час імітаційного моделювання, можна зробити висновок, що за допомогою модифікованого фазового детектора можливо виділити якісну зміну фази сигналу навіть за умов низького відношення сигнал/шум. Це, своєю чергою, надає можливість збільшити місткість систем передавання інформації, які використовують 8-позиційну фазову маніпуляцію.

1. Viterby A.J. *The Orthogonal-Random Waveform Dichotomy for Digital Mobile Personal Communication* // *IEEE Personal Communications, First Quarter – 1994.* – P. 18–24. 2. Стеклов В.К., Склярєнко С.Н., Костик Б.Я. *Системи фазової автоподстройки с дифференциальными связями.* – К.: Техніка, 2003. – 328 с. 3. Бондарєв А.П. *Теоретичні засади аналізу завадостійкості пристроїв синхронізації* // *Вісник НУ "Львівська політехніка" "Радіоелектроніка та телекомунікації".* – 2004. – № 508. – С. 3–18. 4. Бондарєв А.П., Мартинів М.С. *Пристрій фазового автопідстроювання частоти* // *Патент України на винахід № 66435.* – Бюлетень № 5, 2004.

УДК 621.385.832.82

А.Д. Педан, Б.І. Любинецька  
Національний університет "Львівська політехніка"

## ОСОБЛИВОСТІ ЮСТУВАННЯ СКАНУЮЧОГО ОПТИЧНОГО МІКРОСКОПА НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ТРУБКИ

© Педан А.Д., Любинецька Б.І., 2009

**Розглянуто питання юстування електростатичної фокусуєчої лінзи електронно-променевої трубки скануючого оптичного мікроскопа. Запропоновано спосіб юстування з використанням квадрупольних магнітних полів. Наведено алгоритм процедури юстування.**

**The question adjustments an electrostatic focusing lens of an electron beam tube of a scanning optical microscope is considered. The way adjustment with use quadrupole magnetic fields is offered. The algorithm of procedure adjustment is resulted.**

### Вступ

Скануючий оптичний мікроскоп (СОМ) – це оптичний аналог растрового електронного мікроскопа (РЕМ) як структурного, так і алгоритмічного. У ньому, як і в РЕМ, є вакуум, електронно-оптична система, яка формує електронний зонд, електромагнітне поелементне сканування зондом досліджуваного об'єкта, давачі перетворення сигналу від об'єкта в електричний сигнал, обробка електричного сигналу та синтез зображення досліджуваного об'єкта на моніторі комп'ютера чи дисплеї. Принципова різниця полягає лише у тому, що в СОМ досліджуваний об'єкт розташовується поза межами вакууму, а вакуум не поновлюється.

Для здійснення сканування досліджуваного об'єкта поза вакуумом необхідно трансформувати кінетичну енергію корпускулярного електронного зонда в енергію електромагнітного випромінювання у світловому діапазоні, яке може через вакуумно щільне оптичне вікно безперешкодно вийти за межі герметизованого вакууму, в якому створюється і формується електронний зонд. Трансформацію енергії доцільно реалізовувати з використанням люмінес-