

ТЕХНОЛОГІЯ СИГНАЛІВ ТА ЇХ ОБРОБКА

УДК 621.372

Бобало Ю.Я., А.П. Бондарев, І.П. Максимів
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань

ВИЯВЛЕННЯ ОБЛАСТІ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МОДИФІКОВАНОГО ДЕТЕКТОРА QPSK СИГНАЛІВ

© Бобало Ю.Я., Бондарев А.П., Максимів І.П., 2011

Здійснено імітаційне моделювання приймання QPSK сигналу модифікованим фазовим детектором. Експериментально встановлено область значень параметрів детектора, за яких приймання сигналу відбувається належно під час впливу на сигнал високого рівня шуму.

Ключові слова: QPSK, детектування, 8PSK.

This work presents the simulation of QPSK signal receiving by modified phase detector. The area of detector's parameters values at which the receiving of signal works properly during high ratio noise influence was experimentally determined.

Key words: QPSK, 8PSK

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими завданнями

Об'єктом дослідження у цій роботі є детектор ФМн сигналів. Відомо, що рівень сигналу, який надходить з каналу зв'язку (КЗ), відновлюють за допомогою смугових фільтрів, узгоджених зі спектром інформаційного сигналу та встановлених після них. Такі фільтри знижують складову шуму в прийнятому сигналі, що дає можливість визначати зміну напрямку та величину фази сигналу.

У роботі [1] описано недолік такої схеми відновлення сигналу, оскільки за високих рівнів завад у КЗ під час приймання сигналу детектором виникають аномальні стрибки фази, які неможливо усунути за допомогою післядетекторної фільтрації. Ці аномальні стрибки спричиняють хибне детектування і можуть бути усунені тільки збільшенням потужності сигналу, зменшенням швидкості передавання або зменшенням рівня завад у каналі (зменшенням кількості користувачів).

У роботі [1] описано спосіб усунення аномальних стрибків фази без зміни динамічних властивостей фільтра. Запропонований спосіб полягає у використанні вузькосмугових пропорційно-інтегруючих фільтрів (ПФ), встановлених перед фазовим детектором (ФД), та у подальшому відновленні сигналу після детектора за допомогою коригувального фільтра.

Проте, у наявних публікаціях, можливість підвищення завадостійкості досліджена тільки для простих видів кутової модуляції [2,3]. Крім того, не наведені практичні рекомендації щодо вибору параметрів модифікованого детектора та оцінювання границь його працездатності.

Метою цієї роботи є визначення області значень параметрів, за яких система спроможна коректно приймати вхідний сигнал зі зниженим відношенням сигнал/шум.

Дослідження проведені на прикладі QPSK сигналу за допомогою програмних засобів Simulink та Matlab.

Імітаційні моделі QPSK сигналу та модифікованого детектора

Фазоманіпульований комплексний чотирипозиційний сигнал QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) реалізовано засобами Simulink. Для цього в середовищі Matlab написано код, який з довільної вхідної інформаційної послідовності генерує синфазну та квадратурну складові сигналу.

Початкову фазу сигналу визначає сукупність двох вхідних імпульсів (дубіт) згідно з табл. 1, де вказано також рівні квадратурних складових. За умов біполярного кодування значення бітів дорівнюють (+1) або (-1).

Таблиця 1

Формування квадратурної та синфазної складових QPSK сигналу

Bit 1	Bit 2	I	Q	Φ_0
1	1	0.7	0.7	$\pi/4$
1	-1	0.7	-0.7	$3\pi/4$
-1	1	-0.7	-0.7	$5\pi/4$
-1	-1	-0.7	0.7	$7\pi/4$

У цій роботі для визначеності негативним імпульсам (-1) поставлено у відповідність значення інформаційного біта "0", тривалість імпульсу обрано $T = 0,5\text{с}$ і амплітуду $\sqrt{I^2 + Q^2} = 1$ (у відносних одиницях).

Імітаційне моделювання проведено із використанням періодичного детермінованого сигналу та випадкового сигналу. Ці сигнали подано на вхід імітаційної моделі каналу зв'язку (КЗ), створеної засобами Simulink (рис.1).

Умови коректної роботи модифікованого детектора є такі:

- смуга пропускання ППФ значно вужча від смуги вхідних пристроїв (зокрема вужча смуги вхідного сигналу), тобто стала часу ППФ T_0 є більшою від тривалості біта T (на відміну від відомих рішень, де $T_0 \leq T$);

- коефіцієнт передавання m_0 на частотах, далеких від резонансної, не дорівнює нулеві.

Рівняння цих фільтрів, у системі Simulink реалізовано за допомогою блока функції стану (state-space model) [1], яка надає можливість внесення змін у такі параметри як m_0 і T_0 , що є необхідною умовою для подальших досліджень.

Для проведення адекватного дослідження ППФ, у імітаційній моделі КЗ реалізовано такі можливості:

- сигнал, який передається каналом, є комплексним фазоманіпульованим сигналом;
- забезпечено можливість зміни рівня шуму в каналі;
- реалізовано спосіб порівняння сигналу до проходження через канал зв'язку та після його проходження через детектор.

У цій роботі КЗ реалізовано як ділянку імітаційної моделі, яка накладає шуми певної потужності на згенерований сигнал. У якості моделі шумів використано білий гауссів шум. Для того, щоб реалізувати адитивний білий гауссовий шум в імітаційній моделі, використано генератор випадкового гауссового шуму (рис. 1). Згенерований шум проходить через підсилювач, який встановлює потужність шуму на необхідному рівні та ФНЧ зі сталою часу T_0 . Після підсилювача шум за допомогою суматора накладається окремо на кожну з квадратурних гілок сигналу і так моделює вплив адитивного білого гауссового шуму в каналі зв'язку.

Оскільки високочастотна частина модифікованого детектора повністю збігається із стандартним детектором, то вона із моделі виключена, а на вхід моделі подано роздільно квадратурні складові.

Детектор отриманого сигналу реалізовано як функцію арктангенса, яка перетворює сигнали, що надходять з синфазної та квадратурної гілок, у багаторівневу послідовність, кожен рівень якої відповідає поточній фазі сигналу. Функцію арктангенса реалізує блок Simulink Arctangent IQN з бібліотеки C28x IQmath Library.

Перед детектором встановлено пропорційно-інтегруючі фільтри (ППФ) для синфазного та квадратурного каналів. Внесені цими ППФ спотворення динаміки сигналу корегуються після детектора за допомогою коригуючого фільтра (ФВЧ).

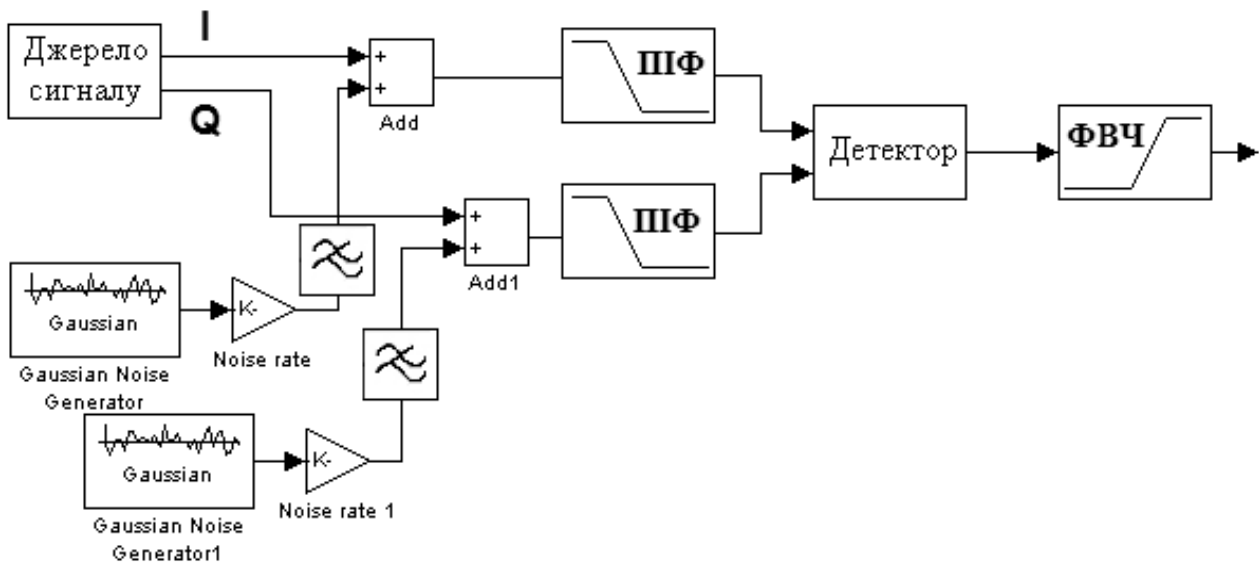


Рис. 1. Канал зв'язку з адитивним гауссовим шумом та модифікований детектор ФМ сигналів

Оскільки у роботі [1] показано, що звичайні способи післядетекторної фільтрації не можуть усунути помилки, спричинені аномальними стрибками фази, можна сподіватися, що після порівняння сигналів, отриманих на виході схем зі звичайним детектором та детектором з вузькосмуговими ПФ, можливо буде оцінити і порівняти ефективність обох способів детектування.

Якісні особливості детектування простого тестового сигналу

Сформуємо найпростіший сигнал, зміна фази якого має періодичний характер і набуває двох з можливих чотирьох значень, наприклад, $\pi/4$ та $3\pi/4$.

Для детектування сигналу використано детектор, синтезований в попередньому розділі. Спочатку подано сигнал без накладання шуму та застосування пропорційно-інтегруючих фільтрів. Отриманий сигнал зображено на рис. 2а. Як видно з рисунку, фаза сигналу змінюється в межах значень 0.78 та 2.4, що відповідає значенням $\pi/4$ та $3\pi/4$ відповідно та вказує на коректну роботу джерела сигналу.

Накладемо шум і поступово збільшуватимемо його потужність, поки не досягнемо порогового ефекту в каналі [2]. Зрив фази відбувся за відношення сигнал/шум (ВСШ) $S_0/N = 1.8$ (рис. 2, б).

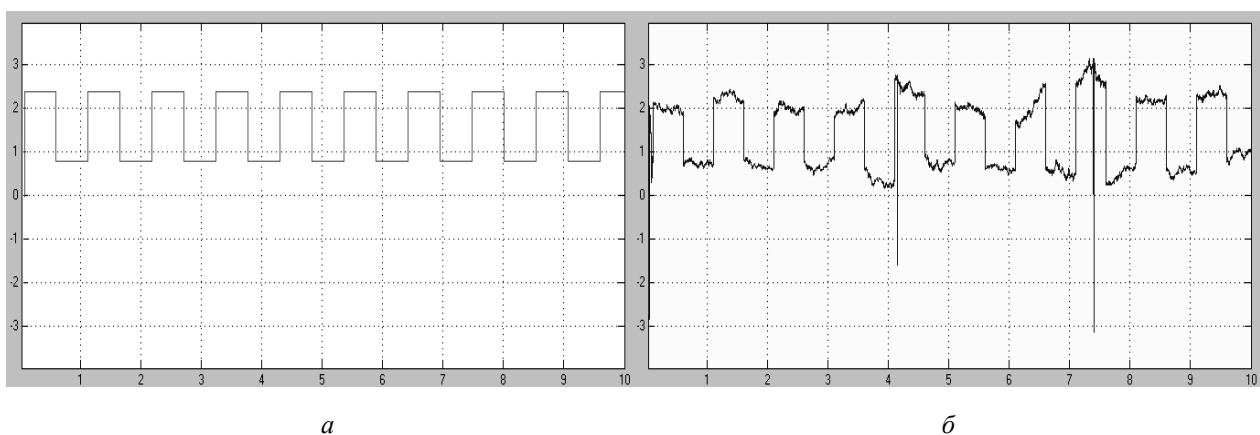


Рис. 2. Сигнал на виході класичного детектора за відсутності шуму (а) та аномальні стрибки фази за рівня ВСШ=1,8 (б)

Встановимо перед детектором у синфазній та квадратурній гілках приймача ПФ з коефіцієнтом пропорційності $m_0 = 0.5$, та інерційністю $T_0 = 2\text{с}$. Отриманий сигнал за відсутності шуму повністю збігається з аналогічним у стандартному детекторі (рис. 2, а) а за рівня ВСШ=1,8 (рис. 3) він хоча і спотворений впливом шуму, проте аномальні стрибки більше не спостерігаються.

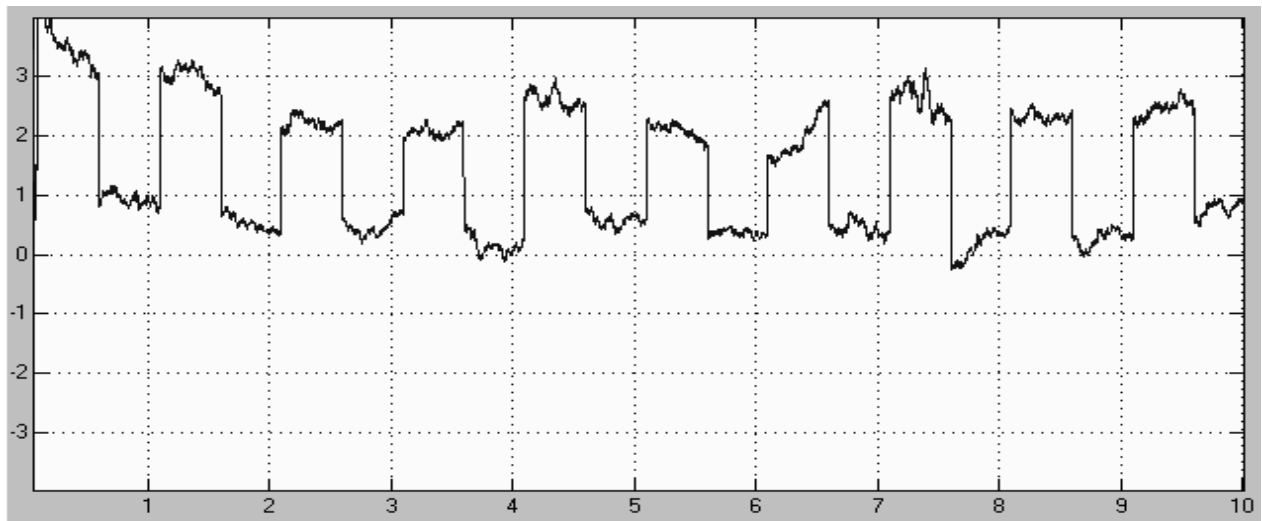


Рис. 3. Сигнал на виході ПФ при $m_0=0,5$ $T_0=2\text{с}$

Зменшивши коефіцієнт пропорційності у п'ять разів, спостерігаємо зменшення шумової складової в сигналі, проте, на початку видно зростання амплітуди, спричинене перехідними нелінійними процесами у фільтрах.

Збільшуючи поступово потужність шуму, визначимо ВСШ, за якого відбудеться зрив стеження за фазою сигналу. За збільшення потужності шуму втричі (ВСШ = 0.06), аномальних стрибків фази не спостерігалось, проте форма сигналу сильно спотворилась, що стало підставою недоцільного подальшого збільшення потужності складової шуму. Проте, навіть за цих умов, існують ділянки сигналу, в яких можливо відтворювати зміну фази.

Впевнене детектування у модифікованому детекторі спостерігалось за потужності шуму, вдвічі більшої від тої, що зумовила чисельні аномальні перескоки у класичному детекторі.

За умов, коли потужність шуму вдвічі більша, ніж потужність сигналу, достатня для виникнення порогового ефекту в каналі без застосування ПФ, фаза сигналу підлягає детектуванню під час використання та не підлягає без нього через чисельні аномальні викиди фази.

Визначення області працездатності ВСФ

Подальший експеримент мав за мету визначення параметрів фільтрів, за яких відбувається пороговий ефект у каналі зв'язку під час детектування QPSK сигналу.

В якості експериментального сигналу знов обрано циклічний сигнал. Такий сигнал дозволить зробити адекватну оцінку параметрів з урахуванням нелінійних процесів у фільтрах, які мають місце під час старту імітаційного моделювання.

Потрібно зазначити, що значення потужності та частоти сигналу, а також потужність шуму не відповідають реальним системам зв'язку, проте на адекватність моделювання це не впливає, адже оцінювали ефективність фільтрів на основі співвідношень параметрів, а не їх конкретних значень.

Це саме моделювання проведено для детектора із вузькосмуговими фільтрами з параметрами, близькими до стандартного детектора: $m_0=0,9$ (у стандартному $m_0=1$); $T_0=T=0,5\text{с}$.

Збільшенням рівня шуму встановлено, що виникнення явища порогового ефекту та зрив детектування фази відбувся при значенні ВСШ 1,66.

Поступовим зменшенням значення m_0 та збільшенням значення T_0 , тобто перебором параметрів, визначено значення ВСШ, за яких істотно погіршується якість детектування фази сигналу. Отримані результати наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Граничні значення ВСШ для різних комбінацій параметрів модифікованого детектора QPSK сигналу

$m_0 \backslash T_0$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	0.9	1
0.5	0.91	0.9	1.21	1.22	1.31	1.52	1.66	1.8
1	0.87	0.86	0.86	1.02	1.09	1.47	1.63	1.8
2	0.85	0.84	0.8	0.92	1.04	1.47	1.63	1.8
4	0.79	0.77	0.73	0.88	1.02	1.52	1.67	1.8
5	0.77	0.76	0.72	0.87	1.07	1.55	1.68	1.8
8	0.74	0.73	0.7	0.97	1.22	1.61	1.71	1.8
10	0.65	0.65	0.7	1.11	1.29	1.64	1.73	1.8

Як видно з табл. 2, якість детектування істотно покращується за використання вузько-смужкових фільтрів і за певних значень m_0 та T_0 завадостійкість збільшується у 2–2,5 раза (рис. 4).

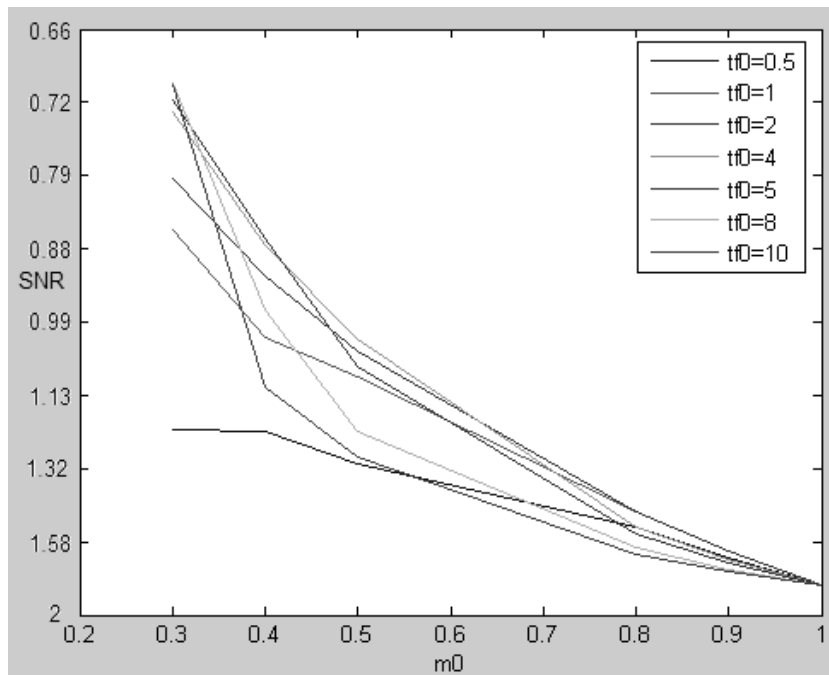


Рис. 4. Залежність рівня допустимого шуму від коефіцієнта пропорційності для різних значень інерційності ВСФ

За дуже великих значень інерційності якість детектування погіршується. Найбільш оптимальний діапазон значень T_0 коливається в межах 2–8 Т.

З проведеного дослідження можна зробити висновок, що зі зменшенням коефіцієнта пропорційності завадостійкість зростає. Проте потрібно зауважити, що за дуже низьких значень m_0 , посилюються нелінійні процеси у фільтрі, які разом з шумом спричиняють коливання амплітуди імпульсів у певному діапазоні. Зі зменшенням коефіцієнта пропорційності та зі збільшенням рівня шуму, ці коливання стають істотніші, що призводить до виникнення ймовірності хибного визначення рівня фази, а це критично для систем з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Частково ці коливання можна усунути збільшенням T_0 , проте, як було зазначено вище, великі значення інерційності погіршують якість детектування.

У цій роботі досягнуто зменшення допустимого відношення сигнал-шум у більше ніж два рази порівняно з класичним детектором. Це співвідношення є сталим у діапазоні значень параметрів $m_0=0,2..0,3$ та $T_0=4..10$. Зі зменшенням або збільшенням цих параметрів завадостійкість детектора погіршується, тому можна стверджувати, що знайдений діапазон параметрів є оптимальним для приймання досліджуваного сигналу.

Апробація отриманих результатів на випадковому QPSK сигналі

Аналогічний експеримент проведено на випадковому вхідному QPSK сигналі.

Подавши згенеровану послідовність квадратурної та синфазної складових сигналу на вхід імітаційної моделі КЗ без накладання шуму, на її виході отримано чотирипозиційний сигнал, зображений на рис. 5.

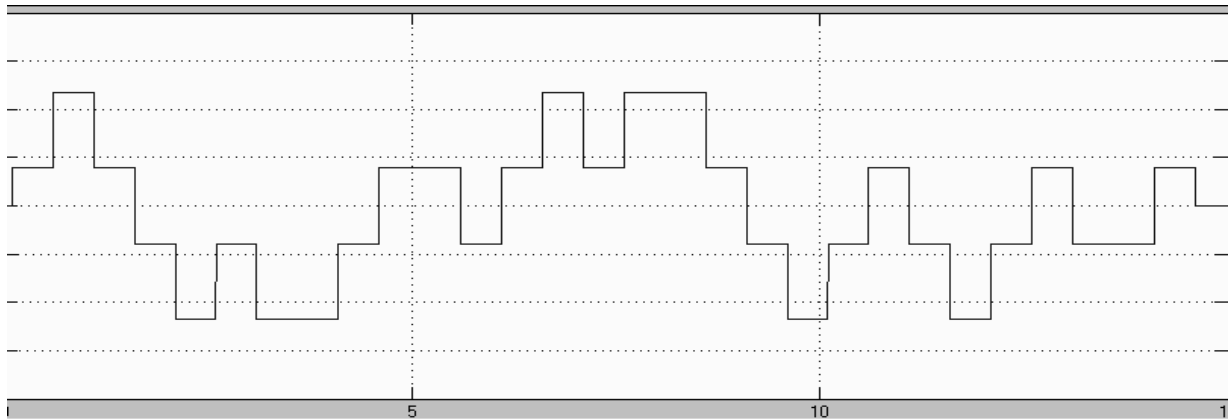


Рис. 5. Фрагмент випадкового QPSK сигналу

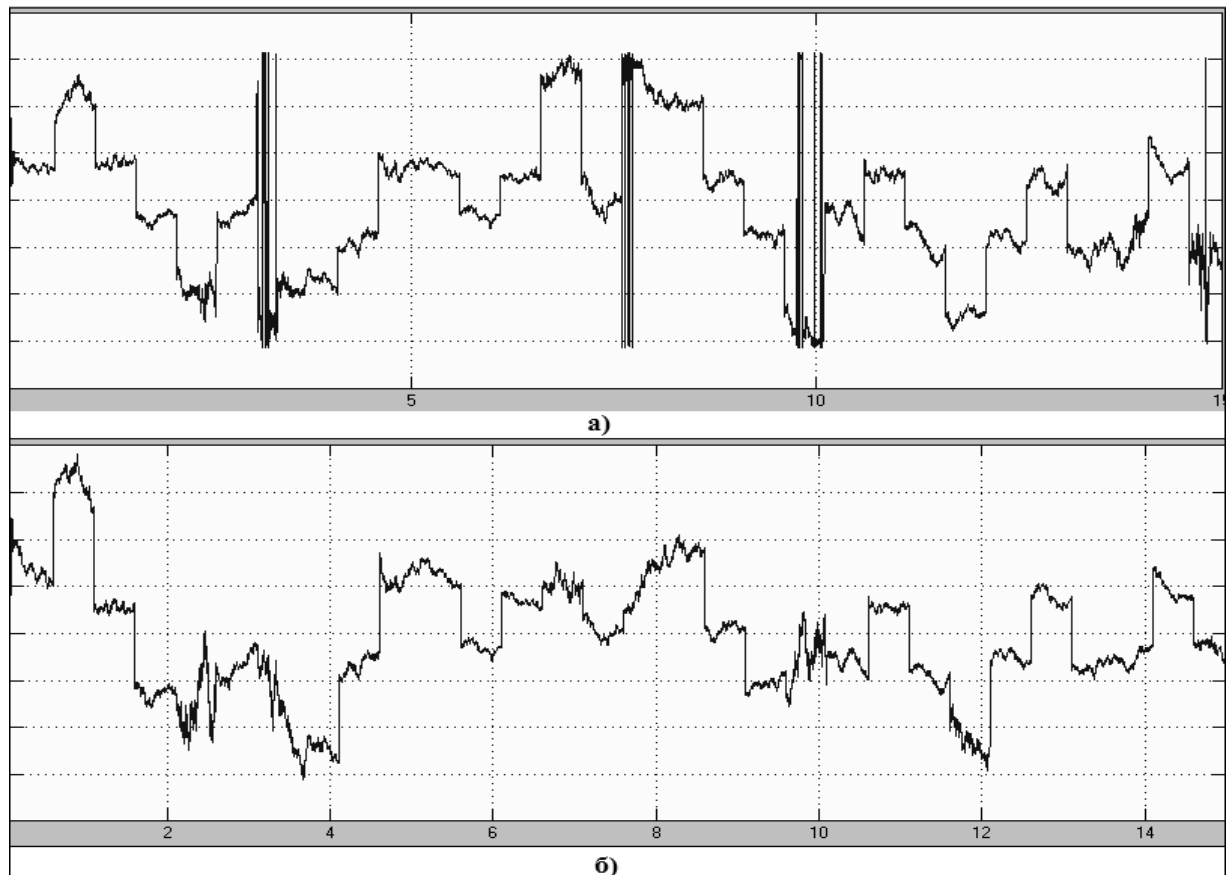


Рис. 6. Порівняння QPSK сигналу, отриманого немодифікованим (а) та модифікованим (б) фазовим детектором

Накладанням на сигнал гауссового шуму із поступовим збільшенням його потужності визначено умови зриву стеження за фазою сигналу.

Аномальний стрибок фази відбувся за значення ВСШ = 1,67. Надалі у імітаційну модель внесено низькочастотні фільтри з рекомендованими значеннями параметрів, описаними у попередньому розділі. Коефіцієнт пропорційності обрано $m_0=0,2$, а інерційність $T_0=5\text{с}$, тобто у 10 разів більшу від тривалості біта вхідного сигналу. Після проведення імітаційного моделювання отримано сигнал без істотних спотворень (рис. 6), і навіть зі збільшенням значення шуму на 50 %, не спостерігається зрив стеження за фазою, що підтверджує завадостійкість описаного методу.

Висновки

Проведено імітаційне моделювання, під час якого досліджувалась завадостійкість модифікованого детектора з використанням вузькосмугових пропорційно-інтегруючих фільтрів. За експериментальний сигнал було обрано періодичний QPSK сигнал. У результаті моделювання встановлено, що якість детектування покращується зі зростанням значення інерційності фільтра та зі зменшенням коефіцієнта пропорційності. Визначено діапазон оптимальних значень цих параметрів, за яких працездатність детектора зберігається, а завадостійкість сигналу збільшується вдвічі порівняно зі звичайним детектором. Отримані значення успішно випробувано на моделі випадкового QPSK сигналу.

Отже, подальшим завданням є визначення оптимального діапазону параметрів фільтрів для коректного детектування сигналів за високого рівня шуму. Визначення області допустимих значень параметрів модифікованого детектора дозволить продовжити ефективну роботу з складнішими сигналами та системами, такими, як 8PSK.

1. Мандзій Б. А., Бондарев А. П., Максимів І.П. Підвищення завадостійкості приймання сигналу з 4-позиційною фазовою маніпуляцією // міжвідомчий збірник наукових праць “Відбір і обробка інформації”. – Львів, 2009. 2. Максимів І.П. Дослідження систем безпроводного зв'язку засобами Matlab // Моделювання та інформаційні технології – К., 2009. 3. Бондарев А.П., Максимів І.П. Дослідження впливу пропорційно-інтегруючих фільтрів на якість детектування ФМ сигналів // Вісник “Радіоелектроніка та телекомунікації” – Львів, 2010.