

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПЕТЛЬОВОГО ФІЛЬТРА ФАПЧ НА ЯКІСТЬ ДЕТЕКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ

Д. т. н. А. П. Бондарев, к. т. н. І. П. Максимів, С. І. Алтунін

Національний університет «Львівська політехніка»
Україна, м. Львів
bondap@ukr.net

Проведено імітаційне моделювання цифрових сигналів та досліджено вплив параметрів пристрою фазового автопідстроювання частоти на якість приймання цих сигналів за умови дії завади у каналі зв'язку. У результаті дослідження виявлено оптимальні параметри, що забезпечують максимальну завадостійкість системи зв'язку, що використовує складні види фазової модуляції сигналів.

Ключові слова: цифровий сигнал, фазовий детектор, ФАПЧ, завадостійкість, петльовий фільтр.

Невід'ємною складовою сучасних приймачів цифрових радіосигналів є пристрої фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Пристрої ФАПЧ застосовують у широкій області радіоелектроніки: починаючи від мобільних телефонів та закінчуючи системами космічного зв'язку. Це зумовлено тим, що ці пристрої є порівняно простими та дешевими у схемотехнічній реалізації.

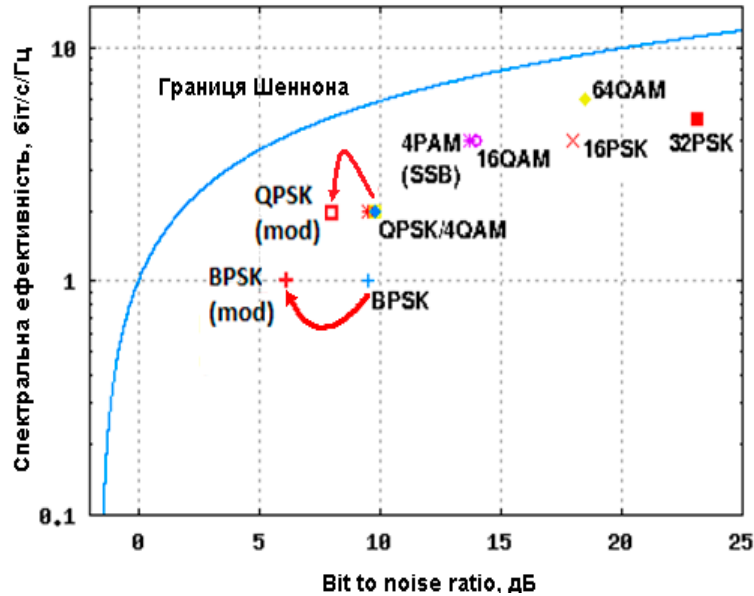
Сучасні системи радіозв'язку використовують сигнали зі складними видами модуляції з метою ефективного використання виділеного частотного діапазону. У цій роботі розглянуто сигнали з сучасними способами фазової модуляції та проведено дослідження впливу параметрів пристроїв ФАПЧ на ефективність їхнього детектування у каналі зв'язку з завадою з метою визначення діапазону параметрів фільтра ФАПЧ, за яких система зв'язку з сучасними способами фазової модуляції отримає найвищу завадостійкість.

Однією з основних проблем у сучасних системах мобільного зв'язку є оптимізація якості надання послуг зв'язку за критеріями відношення сигнал/шум (signal-to-noise ratio, SNR) та ймовірність появи помилки (bit error rate, BER). Співвідношення між цими параметрами є критичним для оцінки ефективності системи зв'язку.

Принцип роботи ФАПЧ полягає в тому, що він порівнює фази вхідного та опорного сигналів і видає сигнал похибки відповідно до різниці між цими фазами. Сигнал похибки проходить далі через фільтр низьких частот та використовується як керуючий для генератора, керованого напругою. Керований генератор у свою чергу генерує в колі негативний зворотний зв'язок. Якщо вихідна частота відхиляється від опорної, то сигнал похибки збільшується за модулем, діючи на генератор у бік зменшення похибки [1]. Правильний підбір параметрів фільтра петлі є критичним для ефективної роботи ФАПЧ, тому подальша робота полягала у виборі їхніх оптимальних значень за умови детектування сигналів з сучасними способами фазової модуляції.

Для проведення дослідження було побудовано імітаційну модель детектора, каналу зв'язку та сигналів QPSK та BPSK [2, 3]. У фільтрі петлі ФАПЧ було реалізовано можливість зміни його параметрів, зокрема інерційності фільтра T_f та коефіцієнта пропорційності m . Дослідження було проведено за наступною методикою: змінюючи значення потужності адитивного шуму в каналі зв'язку при заданих параметрах фільтра петлі ФАПЧ знаходилося таке значення потужності шуму, за якого настає пороговий ефект у каналі зв'язку, тобто під час детектування відбувається зрив стеження за фазою сигналу [4]. Повторні дослідження було проведено за інших параметрів фільтра і таким чином було отримано відповідні значення потужності шуму, за якого настає пороговий ефект.

Шляхом багаточисельної зміни параметрів фільтра петлі, а саме: сталої часу T_f та коефіцієнта пропорційності m , було визначено граничну потужність шуму, за якої настає пороговий ефект за конкретних параметрів фільтра. Найбільш стійкою до завади виявилась конфігурація фільтра з параметрами $T_f = 0,1$ с та $m = 0,1$.



Границя Шеннона та види цифрової модуляції відносно неї

Завдяки модифікації фазового детектора, описаній у роботі [2] досягнуто підвищення завадостійкості на 2,5 дБ. Це надало можливість знизити мінімально необхідне відношення сигнал/шум і відповідно наблизити досліджувані сигнали до кривої Шеннона (див. рисунок)

Таким чином, зміною параметрів фільтра петлі ФАПЧ було встановлено оптимальні параметри інерційності фільтра та коефіцієнта пропорційності, за яких детектування є найбільш ефективним за умови низького відношення сигнал/шум у каналі зв'язку. За використання рекомендованих параметрів досягнуто вираш завадостійкості у порівнянні з класичним ФАПЧ більш ніж 2,5 дБ.

Отримані параметри можна застосувати як орієнтовні під час проектування реальних детекторів сигналів зі складною фазовою та амплітудно-фазовою модуляцією.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Best Roland E. Phase-Locked Loops: Design, Simulation, and Applications, Sixth Edition.— New-York: McGraw-Hill Education, 2007.
2. Bondariev A., Maksymiv I., Maksymyuk T. Method of improving the power efficiency of QPSK signals // 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET).— Slavske, Ukraine.— 2016.
3. Бондарев А.П., Максимів І.П. Шляхи значного підвищення завадостійкості у системах коміркового зв'язку // Вісник "Радіоелектроніка та телекомунікації".— Львів, 2012.— С. 173—177.
4. Bondariev A., Maksymiv I. Method of improvement of quality indexes of detecting in cellular communication systems // Electronics and electrical engineering.— Kaunas, 2012.— N 10.— P. 85—88.

A. P. Bondariev, I. P. Maksymiv, S. I. Altunin

Influence of the parameters of the PLL loop filter on the quality of digital signal detection

The authors perform a simulation of digital signals and study the influence of the parameters of the phase-locked loop (PLL) device on the reception quality of these signals under interference in the communication channel. The results of the study allowed identifying optimal parameters that provide the maximum noise immunity of the communication system using complex types of the signal phase modulation.

Keywords: digital signal, phase detector, PLL, noise immunity, loop filter.