

Науковий журнал

1.2007

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Хмельницький 2007

ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ ФАЗОВОГО КАНАЛУ СИНХРОНІЗАЦІЇ У СИСТЕМІ ПОСАДКИ САНТИМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

Методом напівнатурного моделювання досліджуються зриви синхронізації фазового каналу системи посадки сантиметрового діапазону, які призводять до раптових зникань окремих вимірювань кутових координат повітряного судна або вони супроводжуються рідкими аномальними похибками. Відпрацьована методика автоматизованого експерименту для визначення функціональної надійності кутомірної каналу посадочної системи.

Вступ та постановка задачі

У системі посадки сантиметрового діапазону достовірність вимірювань кутових координат повітряного судна значною мірою визначається заданим форматом сигналу, структурою бортового вимірювального пристрою та функціональною надійністю фазового каналу синхронізації кутової підсистеми [1]. Випадкові зриви синхронізації фазового каналу, наприклад, через те, що пропускаються окремі декодування коду Баркера, який задає початок відліку, часто є причиною раптових зникань окремих вимірювань кутових координат або, у випадку хибних декодувань, результати вимірювань супроводжуються рідкими аномальними похибками. У літературі уже розглядалися методи підвищення достовірності результатів вимірювань інформаційних параметрів у процесі їх вторинної обробки (фільтрації) [2, 3]. Однак, ефективність запропонованих алгоритмів суттєво залежить від прийнятої стохастичної моделі неполадок у фазовому каналі та апріорної імовірності їх появи P_a . З теоретичної точки зору величину P_a можна розраховувати шляхом аналізу зриву процесу стеження за носійкою частотою у системі фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), але це потребує розв'язку рівняння Фоккера – Планка – Колмогорова. Точне розв'язання цього рівняння значно ускладнюється наявністю випадкових збурень та завад, і відоме лише для деяких окремих випадків [4-5].

Методика експерименту та аналіз результатів

У даній роботі вплив зривів синхронізації у цифровій ФАПЧ другого порядку на імовірність появи аномальних похибок вимірювань кутових координат повітряного судна досліджувався експериментально на напівнатурній моделі бортового вимірювального комплексу системи посадки сантиметрового діапазону за стандартом TRSB, структура якого зображена на рис. 1. Основу комплексу складають імітатор сигналів та завад, який був спряжений з керуючою ЕОМ для роботи у темпі надходження посадочних даних та блоків реальної апаратури. Блоки реальної апаратури були об'єднані у апаратну частину комплексу у складі фазового каналу синхронізації з цифровою ФАПЧ, параметри якої оцінювались методом зведення до неперервного аналогу [6-7], схем декодування п'ятирозрядного коду Баркера, коду упізнання команди наведення та амплітудного каналу з відповідними схемами післядетекторної обробки.

У процесі напівнатурного експерименту вирішувались наступні задачі:

- збір статистичних даних з метою оцінювання імовірності втрати синхронізації фазовим каналом за наявності флуктуаційних шумів, зміни величини нормованого порогу логарифмічного підсилювача проміжної частоти та різних значень відхилення середньої частоти ППЧ відносно її номінальної величини $f_{\text{про}} = 23,01$ МГц;
- оцінювання адекватності математичної моделі, яка описує неполадки у кутомірній підсистемі;
- уточнення даних для розрахунків енергетичних показників кутомірної підсистеми, які дозволяли б визначати імовірність її безвідмовної роботи у залежності від відношення сигнал / шум на вході бортового приймача.

Втрати синхронізації кутомірним каналом фіксувались за допомогою відповідного інтерфейсу. Процедура перевірки зводилась до контролю попадань декодованих імпульсів коду Баркера та коду упізнання команди наведення по азимуту у спеціально сформований строб-імпульс, тривалість якого дорівнювала 66,6 мкс., що відповідало точності декодування ± 0.5 біта.

Вплив попередніх сигналів команд наведення повітряного судна по куту місця при заході на посадку КМ1 та кута місця для вирівнювання КМ2 виключався шляхом виставлення спеціальних бланкірувальних імпульсів. Результати статистичних випробувань оброблялись на ЕОМ з метою обчислення похибок, середніх значень, дисперсій та побудови гістограм. При цьому об'єм вибірки складав тисячу точок.

Відношення сигнал / шум на вході логарифмічного ППЧ контролювалось у діапазоні 0–30 дБ за допомогою широкосмугового лінійного вимірювального підсилювача з параметрами $f_{\text{про}} = 23,01$ МГц, $\Delta f_{\text{эф}} = 3$ МГц, осцилографа та вольтметра, який фіксував ефективне значення входної напруги. Варіація відношень сигнал / шум виконувалась шляхом зміни рівня флуктуаційного шуму за допомогою прецизійного калібрувального атенюатора, при цьому рівень корисного сигналу на виході імітатора сигналів залишався

незмінним протягом усього експерименту.

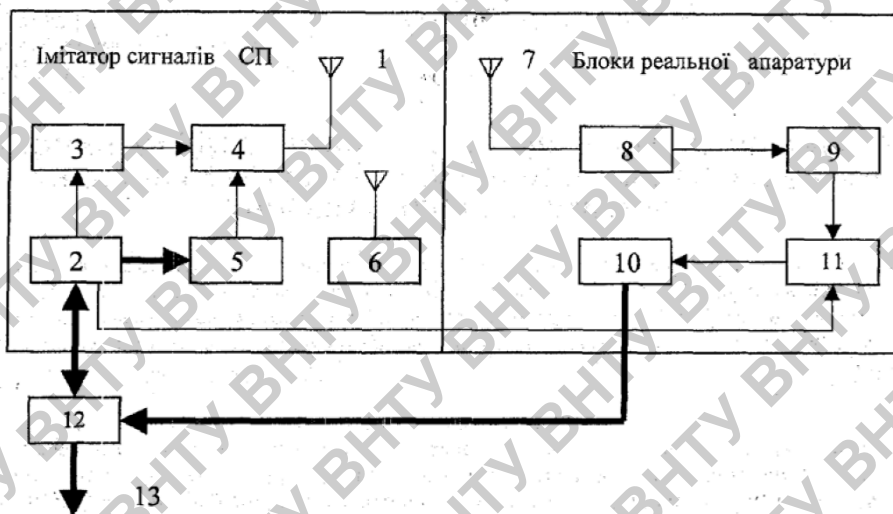


Рис. 1. Структурна схема комплексу цифрового моделювання: 1 – передавальна антена посадочної системи; 2 – блок обміну даними; 3 – відоблок; 4 – НВЧ модулятор; 5 – цифроаналоговий перетворювач; 6 – генератор завад; 7 – приймальна антена; 8 – НВЧ модуль; 9 – підсилювач проміжної частоти; 10 – регістр пам'яті; 11 – цифровий вимірювач куткових координат; 12 – ЕОМ; 13 – вихідні дані

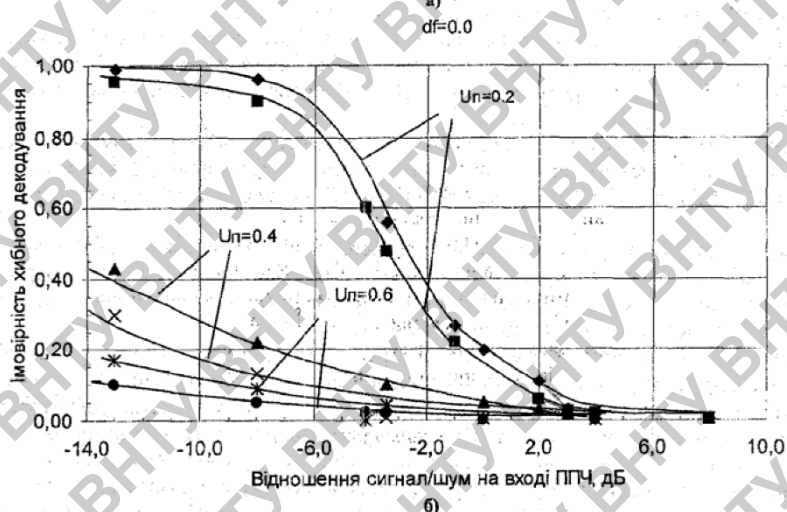
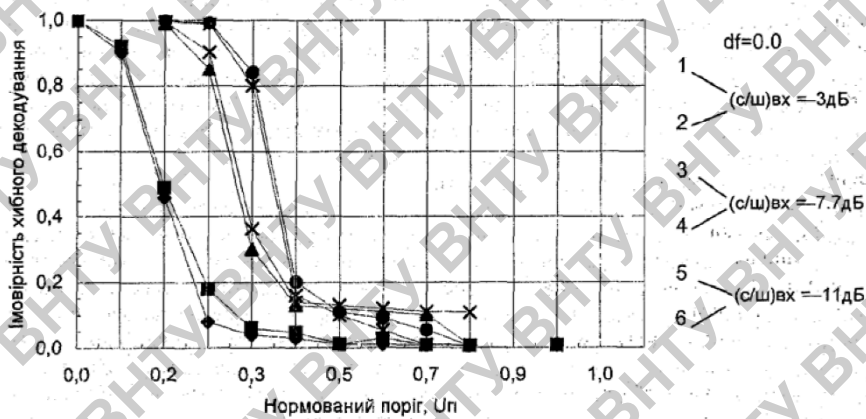


Рис. 2. Залежність імовірності хибного декодування коду Баркера (криві 1,3,5) та коду упізнавання команди наведєння (криві 2,4,6) від: а- величини нормованого порігу; б- відношення сигнал / шум на вході ППЧ

Дисперсія шуму на виході широкосмугового вимірювального каналу $\sigma_{ш}^2$ розраховувалась за формулою

$$\sigma_{ш}^2 = \int |K(j2\pi f)|^2 N_0 df,$$

де $K(j2\pi f)$ – амплітудно-частотна характеристика вимірювального каналу; N_0 – спектральна густина потужності шуму. Для спрощення розрахунків була виконана прямокутна апроксимація частотної характеристики широкосмугового ППЧ. У такому разі попередній вираз зводиться до виду $\sigma_{ш}^2 \approx K_0^2 N_0 \Delta F_{ef}$. Тут введено наступні позначення: K_0 – коефіцієнт підсилення широкосмугового ППЧ на номінальній проміжній частоті $f_{про} = 23,01$ МГц; ΔF_{ef} – ефективна смуга пропускання ППЧ. Величина співвідношення сигнал / шум на вході логарифмічного ППЧ розраховувалась як відношення ефективного значення сигналу до середньоквадратичного значення флукуаційного шуму $\sigma_{ш}$.

Результати напівнатурних випробувань наведено на рис. 2, де показана залежність імовірності хибних декодувань коду Баркера та коду упізнавання команди наведення повітряного судна по азимуту від величини нормованого порогу та відношення сигнал / шум на вході логарифмічного ППЧ при нульовому розладнанні відносно номінальної проміжної частоти $f_{про}$.

Неважко помітити, що отримані залежності мають яскраво виражений пороговий характер і підтверджують результати досліджень інших авторів, наприклад [2-4]. Порівняння кривих 1-6 рис. 2 показує, що рівень хибних декодувань стабілізується при величині нормованого порогу не меншого за 0,4, а тому для мінімізації числа аномальних похибок кутимірного каналу доцільно використовувати відносно високі пороги, особливо в області великих значень флукуаційних шумів. Але з іншої сторони, як показують криві 1-6 рис. 3, при використанні високих рівнів порогу зростає імовірність пропусків окремих вимірювань кутових координат повітряного судна.

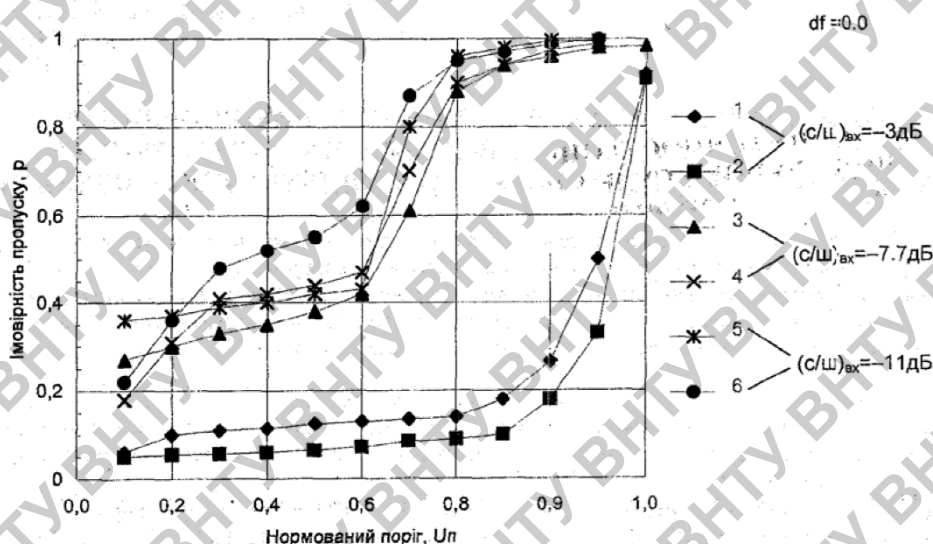


Рис. 3. Залежність імовірності пропуску коду Баркера (криві 1,3,5) та коду упізнавання команди наведення по азимуту (криві 2,4,6) від величини нормованого порогу

Співставлення залежностей 1-6 рис. 2-3 приводить до висновку, що оптимальне значення нормованого порогу лежить у межах 0,4 – 0,6 і саме у цьому діапазоні слід очікувати мінімальну імовірність появи аномальних похибок вимірювань кутових координат повітряного судна можуть бути збої у роботі схем декодування коду Баркера та коду упізнавання команди наведення через зрив синхронізації у системі ФАПЧ.

Висновки

1. 1. Експериментально на напівнатурній моделі бортового вимірювального комплексу системи посадки сантиметрового діапазону за стандартом TRSB показано, що одним з можливих джерел потоку аномальних похибок вимірювань кутових координат повітряного судна можуть бути збої у роботі схем декодування коду Баркера та коду упізнавання команди наведення через зрив синхронізації у системі ФАПЧ.

2. Аналіз залежностей імовірності зриву синхронізації фазового каналу від величини нормованого порогу та відношення сигнал / шум виявив, що мінімум аномальних похибок вимірювань кутових координат досягається при величині нормованого порогу, який знаходиться у діапазоні 0,4-0,6.

3. Використання нормованих порогів з вказаного діапазону при співвідношеннях сигнал/шум на вході ППЧ не менших за -3дБ та розладнаннях ППЧ не більших ± 10 кГц відносно номінальної проміжної частоти $f_{про} = 23,01$ МГц забезпечує до 90 % правильних декодувань, що у більшості випадків є прийнятним.

Література

1. Шестакова Н.А. СВЧ-система інструментальної посадки самолетов. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1972. – № 11. – С. 3-21.
2. Линдсей В. Системы синхронизации в связи и управлении / Пер. с англ. В.Н. Кулешова, Г.Д. Лобова, Д.П. Царапкина / Под. ред. Ю.Н. Бакаева, М.В. Капранова. – М.: Сов. радио 1978. – 602 с.
3. Голуб В. Система ФАПЧ и ее применения // CHIP NEWS Украина, Инженерная микроэлектроника. – 2000. – № 4. – С.25-29.
4. Жодзишский М. И. Анализ цифровых систем ФАП для фильтрации гармонического сигнала. // Радиотехника и электроника. – 1973. – Т.17, № 5. С. – 979-984
5. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации / Под. ред. В.В. Шахгильдяна. – М.: Радио и связь. 1989. – 410 с.
6. Келин Т., Супонников Д. Характеристики цифровой системы фазовой автоподстройки частоты // CHIP NEWS Украина, Инженерная микроэлектроника. – 2002. – № 9. – С.11-14.
7. Келин Т.; Супонников Д. Аппаратная реализация двоичной полностью цифровой системы фазовой автоподстройки частоты // CHIP NEWS Украина, Инженерная микроэлектроника. – 2003. – № 1. – С.45-47.

Надійшла 5.1.2007 р.

УДК 621.396

В.М. КИЧАК, М.А. ШУТИЛО
Вінницький національний технічний університет
А.Ю. ВОЛОВИК
Укртелеком, м. Вінниця

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОЦІНЮВАННЯ КУТОВИХ КООРДИНАТ ПОВІТРЯНОГО СУДНА ПРИ ВИПАДКОВИХ СПОТВОРЕННЯХ МАТРИЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА ПЕРЕДАЧІ ФІЛЬТРА ЗГЛАДЖУВАННЯ

Методом статистичного моделювання проаналізовано характеристики точності дискретного фільтра Калмана другого порядку за умови наявності випадкових збоїв у регістрах пам'яті, де зберігаються поточні значення матричного коефіцієнта передачі. Розроблено практичні рекомендації щодо захисту найбільш вразливих до збоїв місць в алгоритмах дискретної фільтрації з врахуванням доцільної організації структури обчислювального процесу та вимог до надійності окремих вузлів.

Вступ та постановка задачі

У системі посадки сантиметрового діапазону невід'ємною частиною бортового пристрою обробки посадочних даних є спеціалізований обчислювач, одна із задач якого – фільтрація первинних вимірювань кутових координат за алгоритмом Калмана [1-3, 7]

$$\mathbf{x}_0^*(k+1/k+1) = \mathbf{A}(k+1, k)\mathbf{x}_0^*(k/k) + \mathbf{K}_0(k+1) [\mathbf{y}(k+1) - \mathbf{C}(k+1)\mathbf{A}(k+1, k)\mathbf{x}_0^*(k/k)]; \quad (1)$$

$$\mathbf{K}_0(k+1) = \mathbf{P}(k+1/k)\mathbf{C}^T(k+1) [\mathbf{C}(k+1)\mathbf{P}(k+1/k)\mathbf{C}^T(k+1) + \mathbf{R}(k+1)]^{-1}; \quad (2)$$

$$\mathbf{P}(k+1/k) = \mathbf{A}(k+1, k)\mathbf{P}(k/k)\mathbf{A}^T(k+1) + \mathbf{B}(k+1, k)\mathbf{Q}(k)\mathbf{B}^T(k+1, k); \quad (3)$$

$$\mathbf{P}(k+1/k+1) = [\mathbf{I} - \mathbf{K}_0(k+1)\mathbf{C}(k+1)] \mathbf{P}(k+1/k). \quad (4)$$

Тут введені наступні позначення: $\mathbf{x}_0^*(k+1/k+1)$ – вектор поточних оптимальних оцінок кутових координат повітряного судна; $\mathbf{y}(k+1)$ – вектор поточних спостережень кута місця; $\mathbf{A}(k+1, k)$, $\mathbf{B}(k+1, k)$, $\mathbf{C}(k+1)$ – системні матриці, відповідних розмірів; $\mathbf{K}_0(k+1)$ – матриця передачі фільтра; $\mathbf{P}(k+1/k)$, $\mathbf{P}(k+1/k+1)$ – кореляційні матриці похибок оптимальної екстраполяції на крок уперед та фільтрації, відповідно; $\mathbf{Q}(k)$, $\mathbf{R}(k+1)$ – кореляційні матриці випадкових збурень та шумів каналу спостережень, відповідно; \mathbf{I} – одинична матриця.

Рекурентна форма даного алгоритму дає змогу виконувати обробку посадочних даних у темпі їх надходження за допомогою вмонтованих мікропроцесорних засобів або спеціалізованої мікро – ЕОМ, причому у оперативній пам'яті зберігається відносно невелике число поточних параметрів. Однак, у реальних умовах не виключена імовірність спотворення процесу розрахунків вищезазначених параметрів через обмежену надійність застосованих апаратних засобів. У першому наближенні, такі спотворення можна розглядати як збої у роботі елементів пам'яті пристрою обробки кутових даних [5,7], які суттєво знижують безпеку посадочного процесу, адже результати обробки спостережень надходять безпосередньо у систему автоматичного керування польотом повітряного судна, на індикаторні та пілотажні прилади.

Метою даної роботи є:

- аналіз математичної моделі неполадок, які найчастіше зустрічаються у процесі експлуатації мікро – ЕОМ;
- виявлення найбільш вразливих до збоїв місць у алгоритмах дискретної фільтрації;

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Засновано в липні 1997р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2007, №1 (89)

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Головний редактор

Скиба М.Є., заслужений працівник народної освіти України, академік УТА, професор, ректор Хмельницького національного університету

Голова редакційної колегії

Сілін Р.І., заслужений працівник народної освіти України, академік МАІ, академік АІН України, академік УТА, д.т.н., професор

Заступник головного редактора

Каплун В.Г., академік УТА, д.т.н., професор

Відповідальний секретар

Гуляєва В.О., завідувач патентно-інформаційним відділом, Хмельницький національний університет

Члени редколегії

Технічні науки

д.т.н. Кіницький Я.Т., к.т.н. Баннова І.М., д.т.н. Гладкий Я.М., к.т.н. Домбровський А.Б., к.т.н. Драпак Г.М., д.т.н. Калда Г.С., д.т.н. Камбург В.Г., д.т.н. Ковтун В.В., д.т.н. Костогриз С.Г., д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Локазюк В.М., д.т.н. Мазур М.П., к.т.н. Мандзюк І.А., д.т.н. Мичко А.А., д.т.н. Мясішев О.А., д.т.н. Параска Г.Б., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Семенюк М.Ф., д.т.н. Славинська А.Л., д.т.н. Стецишин М.С., к.т.н. Троцишин І.В., д.т.н. Шевеля В.В., д.т.н. Либа В.П., д.ф-м.н. Качурик І.І.

Відповідальний редактор серії "Технічні науки"

Кіницький Я.Т., заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор, Хмельницький національний університет

Технічний редактор к.т.н. Горященко К.Л.

Редактор-коректор Броженько В.О.

Адреса

редакції:

**Україна, 29016,
м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11,
Хмельницький національний університет
редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"**

☎

e-mail:

(8-03822) 2-51-08

patent_1@beta.tup.km.ua

web:

<http://visniktup.narod.ru>

http://library.tup.km.ua/visnyk_tup.htm

<http://vestnik.ho.com.ua>

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідчення про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року (перереєстровано)
Бюлетень ВАК №2, 2006

© Хмельницький національний університет, 2007
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2007