

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Алтуніна Сергія Ігоровича

на тему «Підвищення завадостійкості програмно керованих пристроїв
синхронізації»,

яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.12.13 – «Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій».

1. Актуальність теми дисертації та досліджень

Пристрої фазової синхронізації є необхідним компонентом сучасних приймачів, засобів телекомунікацій, систем радіолокації та навігації, і використовуються для розв'язання великого переліку завдань – від синтезу частот та генерації тактових імпульсів до детектування сигналів із двійковою фазовою маніпуляцією.

Сучасні цифрові радіоприймачі працюють в складній завадовій обстановці і повинні зберігати працездатність при малих відношеннях сигнал-шум (ВСШ). Явище зриву синхронізації, що відбувається у пристроях фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) поблизу шумового порогу обмежує подальший розвиток цифрових радіоприймачів.

Тематиці підвищення завадостійкості пристроїв ФАПЧ присвячений великий обсяг публікацій вітчизняних та зарубіжних авторів. Проте при дослідженні завадостійкості цих пристроїв слід враховувати їх динамічні показники (такі як тривалість перехідних процесів при зміні фази вхідного колювання). Досягнення кращої завадостійкості за рахунок погіршення динаміки пристрою ФАПЧ не має практичної цінності, оскільки погіршується здатність пристрою приймати та обробляти широкосмугові модульовані сигнали. Окремі роботи розглядають способи покращення динамічних показників пристрою ФАПЧ за умов дії випадкової завади, проте рівень цієї завади вибрано малим, щоб спростити розрахунки. За малих значень ВСШ лінійність математичної моделі порушується, що у свою чергу впливає на динамічну поведінку пристрою.

Крім того, вкрай мало робіт містять повний спектр методів досліджень – теоретичний аналіз, імітаційне моделювання та експериментальне дослідження. Розвиток цифрової схемотехніки створив нові підходи до реалізації фазових детекторів, фільтрів та керованих генераторів. Зокрема технологія прямого цифрового синтезу (англ. Direct Digital Synthesis, DDS) активно застосовується у сучасних цифрових пристроях ФАПЧ для задач генерування високочастотних

тактових імпульсів з малим рівнем шумів у мікропроцесорній техніці. Цифрова логіка уможлиблює реалізацію лінійних фазових детекторів, а програмно-апаратна реалізація цифрових фільтрів вже давно характеризується простотою та гнучкістю у налаштуванні. Використання переваг цифрової реалізації цих компонентів в одному пристрої суттєво підвищує практичну цінність досліджень поведінки пристрою ФАПЧ та достовірність результатів цих досліджень, здобутих експериментальним шляхом.

Тому вдосконалення будови пристрою фазової синхронізації та модифікації його основних компонентів з допомогою сучасної елементної бази є перспективним напрямком для подальших досліджень цифрових пристроїв ФАПЧ. Крім того, використання програмованих компонентів цифрової схемотехніки, таких як мікроконтролер чи програмована логічна інтегральна схема є привабливим рішенням, адже в такому випадку модифікація структури пристрою ФАПЧ не вимагає збільшення масо-габаритних та вартісних показників приймача. Таким чином підвищення завадостійкості програмно-апаратного цифрового пристрою фазової синхронізації з одночасним збереженням його динамічних властивостей та розроблення програмно-апаратного пристрою ФАПЧ з підвищеною завадостійкістю є актуальним науковим завданням.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до наукового напрямку кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету «Львівська політехніка» «Математичне моделювання та оптимізація радіотехнічних пристроїв» та в межах держбюджетної науково-дослідницької роботи «Підвищення ефективності засобів бездротового зв'язку відповідального призначення та процедур моделювання і прогнозування їх характеристик» (ДБ/Зв'язок) (2018-2019 рр.), держ. реєстр. № 0118U000261.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність

Наведені в роботі наукові положення, практичні рекомендації та висновки є логічно обґрунтованими.

Достовірність роботи підтверджуються коректним застосуванням методів теорії коливальних систем, теорії кореляційної обробки сигналів, теорії застосування програмно-апаратних засобів, результатами проведених автором імітаційного моделювання та експериментальних досліджень цифрового пристрою фазової синхронізації, а також їх порівняльним аналізом із даними літературних джерел, актами впровадження результатів дисертаційного дослідження.

Автор чудово поєднує різні способи дослідження запропонованих методів

розв'язання наукової задачі – теоретичний аналіз, імітаційне моделювання та експериментальне дослідження. Схожість та відповідність результатів експериментального дослідження до результатів, отриманих шляхом імітаційного моделювання, свідчить про їх достовірність.

3. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

Наукова новизна роботи полягає у тому, що:

- Уперше запропоновано метод вибору параметрів цифрового фільтра у програмно-апаратному пристрої ФАПЧ з метою підвищення його завадостійкості, який відрізняється від відомих апріорних методів узгодженням амплітудно-частотної характеристики пристрою ФАПЧ з огинаючою спектра вхідного сигналу за критерієм мінімуму середньоквадратичного відхилення; це дало змогу забезпечити працездатність пристрою за відношення сигнал/шум нижчого на 1-2,5 дБ, залежно від параметрів пристрою і, як наслідок, – підвищити граничну завадостійкість пристрою та місткість системи зв'язку, що його використовує.

- Набула подальшого розвитку математична модель модифікованого фазового детектора із квадратурним цифровим обробленням відліків вхідного сигналу, яка, на відміну від відомих, описує взаємозв'язок амплітудно-частотних характеристик вузькосмугового фільтра та фільтра верхніх частот, узгодження яких дало змогу обґрунтувати вибір структурно-функціональної схеми модифікованої програмно-апаратної реалізації пристрою ФАПЧ, що дала змогу зберегти незмінною смугу утримання пристрою ФАПЧ в статичному режимі та забезпечити відсутність спотворень вхідного сигналу.

- Удосконалено метод імітаційного моделювання цифрового пристрою ФАПЧ за умови впливу на вхідний сигнал адитивного білого гаусового шуму, який відрізняється від існуючих методів застосуванням двох способів фіксації втрати синхронізму, що враховують вплив шумів постійної інтенсивності та наростаючої з плином часу інтенсивності, та визначення шумового порогу, в першому випадку – за ознакою зменшення середньої тривалості між фазовими проковзуваннями, а в другому – за ознакою фіксації першого фазового проковзування, що дало змогу, на основі збіжності отриманих результатів, підтвердити ефективність модифікованого цифрового пристрою ФАПЧ.

4. Практична значимість дисертаційної роботи і її важливість для науки

Науково-практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропоновані методи підвищення завадостійкості пристрою ФАПЧ дають змогу понизити шумовий поріг пристрою, за якого спостерігається зрив синхронізації та зберегти його динамічні параметри, а отже обробляти вхідні модульовані сигнали з

тією ж ефективністю за вищих рівнів випадкових завад. Система зв'язку, яка міститиме такий пристрій синхронізації, володітиме більшою інформаційною місткістю. В подальшому ці результати можуть бути застосовані при плануванні та розробленні систем зв'язку зі збільшеною інформаційною місткістю, що працюють у складній заводській обстановці.

5. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка» і присвячена питанням підвищення заводостійкості цифрового програмно-апаратного пристрою фазового автоматичного підстроювання частоти (ФАПЧ).

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, що містять 72 рисунки та 6 таблиць, висновків, списку використаних джерел зі 128 найменувань та 4 додатків. Загальний обсяг роботи складає 184 сторінки, із них 120 сторінок основного тексту.

У вступі обгрунтовано актуальність проблематики дослідження, сформульовано мету і завдання, відображено основні наукові здобутки і практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації.

У першому розділі дисертації коротко приведено теоретичні відомості про будову класичного пристрою ФАПЧ, його основні параметри та класифікацію. Проведено аналіз вітчизняних та закордонних наукових праць, присвячених тематиці заводостійкості пристроїв ФАПЧ. Автор зробив висновок про необхідність дослідження таких методів підвищення граничної заводостійкості пристрою ФАПЧ, які б забезпечували збереження його динамічної властивостей, та фізичної реалізації такого пристрою ФАПЧ на сучасній апаратній платформі для проведення експериментальних досліджень.

У другому розділі міститься математична модель усіх компонентів цифрового пристрою ФАПЧ, керований генератор якого реалізований програмно на основі технології прямого цифрового синтезу. Обгрунтовано метод підвищення заводостійкості цифрового пристрою ФАПЧ, що полягає в узгодженні амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) пристрою з огинаючою спектра частотно-модульованого (ЧМ) сигналу, який поступає на пристрій. Зображено також структурно-функціональну схему модифікованого цифрового пристрою ФАПЧ та виведено його математична модель.

У третьому розділі коротко розглянуто структуру та алгоритм роботи програм для імітаційного моделювання пристрою ФАПЧ у двох різних

середовищах: MATLAB та QT Creator. Проведено дослідження завадостійкості класичного та модифікованого пристроїв ФАПЧ за двома різними ознаками зриву синхронізації і здійснено порівняльний аналіз результатів, який показав, що можливо досягнути виграшу за завадостійкістю пристрою ФАПЧ до 2,5 дБ без спотворення його статичної характеристики.

У четвертому розділі описано дві апаратні платформи на яких був реалізований цифровий пристрій ФАПЧ: одна на основі мікроконтролера (STM32F4Discovery), а інша - на базі програмованої логічної інтегральної схеми (ПЛІС) фірми Xilinx. Результати експериментального дослідження завадостійкості пристрою ФАПЧ підтвердили результати імітаційного моделювання та довели можливість пониження шумового порогу для модифікованого пристрою на величину до 2,5 дБ у порівнянні з класичним пристроєм.

Додатки містять акти впровадження результатів дисертаційної роботи, перелік наукових праць автора за темою дисертації, та фрагменти програм для імітаційного моделювання класичного та модифікованого пристроїв ФАПЧ.

6. Повнота висвітлення результатів у наукових працях

Результати роботи достатньо повно опубліковані та апробовані. Наукові та практичні результати дисертації Алтуніна С.І. опубліковано у 12 наукових працях, з них 5 статей у виданнях, що включені до переліку наукових фахових видань України, 1 стаття в журналі, який включено до міжнародних наукометричних баз (Scopus), 6 публікацій у збірниках праць міжнародних науково-технічних конференцій, 2 з яких індексуються в Scopus.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертація Алтуніна С. І. є завершеним науковим дослідженням, яке спрямовано на розв'язання актуальної наукової задачі. Методи вирішення поставленої наукової задачі пояснено у зручний для розуміння спосіб, а велика кількість ілюстрацій та графічного матеріалу дають змогу наочно обґрунтувати значення отриманих результатів.

Мета, наукова новизна, коротка характеристика розділів дисертації, список опублікованих праць за темою дисертаційної роботи, особистий внесок здобувача, які викладено в авторефераті, повністю відповідають змісту дисертації. Оформлення дисертації та автореферату відповідає вимогам МОН України.

8. Зауваження до дисертаційної роботи

1. Теорія роботи класичного пристрою ФАПЧ є загальновідомою, і її можна було б описати простіше та більш лаконічно.

2. В роботі не вказано, яким чином генерується випадкова завада під час

імітаційного моделювання і чи має така завада спектральні властивості, близькі до білого шуму.

3. Недостатньо чітко описана методика визначення ВСШ під час експериментальних досліджень.

4. Крім структурно-функціональної схеми реалізації пристрою ФАПЧ, варто було б також привести принципову схему реалізації (бодай для одного з видів апаратної реалізації). Також відсутня синтезована схема програмної реалізації пристрою ФАПЧ всередині ПЛІС.

5. Узгодження форми АЧХ пристрою ФАПЧ з огинаючою спектру вхідного ЧМ-сигналу справді дає змогу підвищити граничну завадостійкість такого пристрою. Проте в роботі не вказано можливих застосувань цього методу підвищення завадостійкості для реальних радіотехнічних систем. Зокрема, спектральні параметри вхідного сигналу можуть змінюватися в часі, а отже для забезпечення ефективності такого методу необхідне швидке адаптивне керування параметрами пристрою в реальному часі. У роботі не проаналізовано, чи буде працювати даний метод у таких умовах.

6. Не обґрунтовано, чому для імітаційного моделювання завадостійкості класичного та модифікованого пристроїв ФАПЧ (с. 108-115) було вибрано саме такі значення коефіцієнту передавання контуру ФАПЧ ($K = 5000, 10000, 20000 \text{ с}^{-1}$), параметрів петльового фільтра та частоти дискретизації ($F_s = 100 \text{ кГц}$).

7. Запропоновані методи підвищення граничної завадостійкості було досліджено для низьких частот вхідних сигналів. У цьому діапазоні частот, крім гаусового білого шуму присутні також і інші завади – низькочастотний флікершум, детерміновані завади з інших джерел тощо. Представлена на с. 95 математична модель пристрою ФАПЧ не враховує цих джерел завад.

8. Шрифт на окремих рисунках занадто дрібний (наприклад рис. 3.2 на с. 102, рис. 4.13 на с. 138-139 тощо).

Наведені зауваження не стосуються принципів положень і висновків дисертаційної роботи, яка є завершеною кваліфікаційною науковою роботою та відповідає вимогам МОН України.

Загальні висновки

1. Дисертація Алтуніна Сергія Ігоровича «Підвищення завадостійкості програмно керованих пристроїв синхронізації» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, котрі в сукупності розв'язують конкретну наукову задачу, суть якої полягає у підвищенні завадостійкості пристроїв фазової синхронізації шляхом оптимального вибору

параметрів повністю цифрового пристрою ФАПЧ та структурної модифікації методів керування генератором цифрового синтезу сигналу гетеродина синхронного фазового детектора.

2. Автореферат дисертаційної роботи ідентично розкриває зміст пояснювальної записки.

3. Результати дисертаційних досліджень достатньо повно опубліковані та апробовані.

4. За оформленням, науковою новизною та практичною цінністю дисертація відповідає чинним вимогам МОН України.

5. Дисертаційна робота «Підвищення завадостійкості програмно керованих пристроїв синхронізації» цілком відповідає вимогам „Паспорту” спеціальності 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій та вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (зі змінами та доповненнями), а її автор – Алтунін Сергій Ігорович – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за вказаною спеціальністю.

Офіційний опонент

д. т. н., доцент,

професор кафедри телекомунікацій та

комп'ютерно-інтегрованих технологій

Хмельницького національного університету

О.І. Полікаровських

Підпис професора Полікаровських О. І.

ЗАСВІДЧУЮ

Вчений секретар

Хмельницького національного університету



Л.І. Тебляшкіна