

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
І ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

**ГОНЧАРЕНКО ІГОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 621.391

**ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ ЦИФРОВИЙ, АВТОМОБІЛЬНИЙ**

8.05090103 “Радіоелектронні пристрої, системи та комплекси”

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня “магістр”

Тернопіль 2017

Роботу виконано на кафедрі радіотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** доктор технічних наук, професор кафедри радіотехнічних систем  
**Пастух Олег Анатолійович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

**Рецензент:** кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехнічних систем  
**Яворська Євгенія Богданівна,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 25 лютого 2017 р. о 9<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №26 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, навчальний корпус №9 “Сатурн”, ауд. 612

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми роботи обумовлена наступним:

широким застосуванням банків комплексних цифрових фільтрів в облаштуваннях прийому і передачі інформації; розвитком методів фільтрації, при яких може потребуватися перебудова параметрів цифрового комплексного фільтру при збереженні форми АЧХ;

необхідністю створення комплексних цифрових фільтрів з малою кількістю множень для використання у банках фільтрів.

Об'єктами дослідження є: структурні схеми НЧ-прототипів і структурні схеми комплексних цифрових фільтрів.

Метою роботи є розробка методів розрахунку і реалізації банків комплексних цифрових фільтрів з малою кількістю множень. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

1. Розробка методики проектування перебудовуваних по частоті цифрових комплексних смугових і режекторних фільтрів з малою кількістю множень.

2. Розробка методики розрахунку комплексних смугових фільтрів на основі методу частотної вибірки.

3. Розробка методики розрахунку цифрових комплексних смугових комбінованих НІХ-СІХ фільтрів з лінійною ФЧХ.

4. Розробка методики реалізації комплексної затримки при використанні алгоритму CORDIC.

Методи дослідження. Стосовно об'єктів дослідження для вирішення поставлених завдань використовуються методи теорії функцій комплексного змінного, методи теорії графів, метод алгоритму CORDIC, методи лінійної алгебри, методи математичного і схемотехнічного моделювання.

Наукова новизна роботи. У роботі розглянуто і значною мірою вирішено завдання, що має суттєве значення для радіотехніки – синтез і аналіз нових структурних схем смугових і режекторних комплексних цифрових фільтрів з малою кількістю множень орієнтованих на використання у банках, комплексних фільтрів для облаштувань формування і обробки багаточастотних радіосигналів. Наукова новизна полягає в наступному:

1. Розроблена методика розрахунку банків комплексних фільтрів з використанням комплексних затримок.

2. Розроблений спосіб реалізації аналітичного цифрового фільтра у вигляді послідовного з'єднання смугового дійсного цифрового фільтру з центральною частотою рівної чверті частоти дискретизації і блоку пригнічення від'ємних (додатних) частот.

3. Розроблена методика розрахунку банків комплексних фільтрів на основі частотної вибірки (ФОВ).

4. Розроблений спосіб побудови банків комплексних комбінованих НІХ-СІХ фільтрів з лінійною ФЧХ.

5. Показана можливість зменшення числа множень при реалізації комплексних смугових фільтрів з використанням метода алгоритму CORDIC.

Достовірність розроблених в роботі методик синтезу підтверджується результатами моделювання схемотехніки, апробацією основних результатів на науково-технічних конференціях, публікацією основних результатів в науково-технічних журналах і збірниках.

Практична значущість роботи обумовлена розробкою зручних для використання в інженерній практиці методик проектування комплексних банків фільтрів методом комплексної затримки. Результати моделювання дозволяють говорити про можливість реалізації банків фільтрів при зменшеній кількості операції множення.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається із вступу, 6 частин, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 157 арк. формату А4, графічна частина – 8 аркушів формату А1.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У роботі розглянуто і значною мірою вирішено завдання, що має суттєве значення для радіотехніки – синтез і аналіз нових структурних схем смугових і режекторних комплексних цифрових фільтрів з малою кількістю множень орієнтованих на використання у банках, комплексних фільтрів для облаштувань формування і обробки багаточастотних радіосигналів.

У першому розділі дипломної роботи “Комплексні цифрові фільтри” проведено аналіз сучасного стану математичного забезпечення проектування фільтрів з використанням цифрових СІХ фільтрів без операції множення для реалізації фільтрів нижніх частот, верхніх частот, смугових і режекторних фільтрів.

Виконано проектування комплексного СФ шляхом зміщення частотної характеристики вузькосмугового ФНЧ, а також проектування комплексного РФ шляхом зміщення частотної характеристики широкосмугового ФВЧ.

Реалізовано аналітичні цифрові фільтри шляхом послідовного з'єднання дійсного смугового фільтру з центральною частотою рівної чверті частоти дискретизації і блоку пригнічення (однорідний фільтр) АЧХ на від'ємних (додатних) частотах.

У другому розділі дипломної роботи “Банки цифрових комплексних смугових фільтрів на основі частотної вибірки” побудовано вузько смугові фільтри з лінійною ФЧХ з малою кількістю множень.

За рахунок використання двох помножувачів на константу в структурній схемі ФОЧВ зменшено нерівномірність АЧХ в смузі пропускання і істотно зменшити рівень бічних пелюсток АЧХ.

Використовуючи каскадування секцій додатково понижено рівень бічних пелюсток АЧХ.

Число операції множення в комплексному ФОЧВ з рекурсивними секціями, значно менше, ніж число операції в комплексних СІХ, отриманих методом ДПФ.

Каскадування НІХ фільтру і лінеаризуючого СІХ фільтру значно зменшує нерівномірність ГЧЗ.

Доведено, що при зміщенні АЧХ по частоті значення нерівномірності ГЧЗ і значення коефіцієнта прямокутності АЧХ не змінюються, коефіцієнт прямокутності АЧХ смугового фільтра збільшується при зменшенні смуги пропускання.

Кількість операцій множення при реалізації комбінованого НІХ-СІХ фільтру збільшується при збільшенні порядку НІХ фільтра і зменшенні його смуги пропускання, що обумовлено помітним зростанням порядку, лінеаризуючого СІХ фільтру.

У третьому розділі **“Використання алгоритму CORDIC при реалізації комплексних фільтрів”** доведено доцільність реалізовувати банки цифрових комплексних смугових фільтрів з використанням методу комплексної затримки.

Використання методу CORDIC дозволяє в два рази зменшити кількість множень при реалізації комплексних затримок.

З ростом обсягу банку комплексних фільтрів кількість множень значно зменшується за рахунок використання алгоритму CORDIC при реалізації комплексних затримок.

У четвертому розділі **“Спеціальна частина”** розглянуто питання використання середовища MATLAB для математичного моделювання.

У п'ятому розділі розглянуто питання економічної доцільності проведення науково-дослідної роботи.

У шостому розділі дипломної роботи **“Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях”** проаналізовано вимоги з охорони праці і техніки безпеки при використанні.

Розглянуто вимоги інженерно-технічних заходів цивільного захисту до ліній і споруд зв'язку, радіомовлення та телебачення та захист населення у надзвичайних ситуаціях від впливу радіації.

У сьомому розділі дипломної роботи **“Екологія”** проведено аналіз сучасних програмних продуктів для опрацювання великих масивів екологічної інформації та робота з банками екологічної інформації.

У загальних висновках щодо дипломної роботи описано отримані в процесі виконання дипломної роботи магістра результати, що відображають сучасний стан досліджень в області обробки складних сигналів.

В додатках до пояснювальної записки приведено лістинг коду реалізованого програмного засобу.

В графічній частині до дипломної роботи магістра наведено результати аналізу.

## ВИСНОВКИ

При вирішенні задачі виявлення складних сигналів отримано наступне:

Запропоновано спосіб реалізації банків смугових і режекторних цифрових комплексних фільтрів, що відрізняються тільки центральними частотами, що базується на використанні ідентичних комплексних затримок.

Розроблено структурні схеми смугових і режекторних комплексних фільтрів з використанням операції множення тільки при реалізації комплексних затримок.

Запропоновано спосіб реалізації аналітичного смугового фільтра шляхом послідовного з'єднання речового смугового фільтра і цифрового блоку придушення негативних (позитивних) частот;

Запропоновано використовувати метод частотної вибірки для підвищення прямокутності АЧХ фільтрів, реалізованих з використанням операції множення тільки при реалізації комплексних затримок.

Досліджено вплив кількості секцій фільтрів, розрахованих на основі частотної вибірки, і порядку передавальних функцій секцій на коефіцієнт прямокутності і ширину смуги пропускання комплексного фільтра.

Показано, що число арифметичних операцій, необхідних для реалізації комплексних фільтрів, розрахованих на основі частотної вибірки, істотно менше, ніж для КИХ-фільтрів, розрахованих з використанням дискретного перетворення Фур'є.

Запропоновано реалізацію комплексного СІХ-фільтра з лінійної ФЧХ у вигляді послідовного з'єднання НІХ- і СІХ-фільтрів, що зменшує кількість множень.

Показано, що використання алгоритму CORDIC для реалізації комплексних затримок дозволяє зменшити кількість операцій множення приблизно в два рази.

Досліджено вимоги з охорони праці та вимог електробезпеки при експлуатації комп'ютерної техніки, що дало змогу врахувати їх при подальшому оформленні інструкцій з охорони праці і техніки безпеки для забезпечення здоров'я, фізичного та психо-емоційного стану користувачів розробленої програмної системи.

Проведено дослідження впливу антропогенних факторів, рівнів і видів забруднення на навколишнє середовище.

## АНОТАЦІЯ

**Гончаренко І.О. Підсилювач потужності цифровий, автомобільний.**

Дипломна робота на здобуття освітнього ступеня магістра 8.05090103 – Радіоелектронні пристрої, системи та комплекси. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль 2017.

У роботі розглянуто і значною мірою вирішено завдання, що має суттєве значення для радіотехніки – синтез і аналіз нових структурних схем смугових і режекторних комплексних цифрових фільтрів з малою кількістю множень орієнтованих на використання у банках, комплексних фільтрів для облаштувань формування і обробки багаточастотних радіосигналів.

Проведено аналіз сучасного стану математичного забезпечення проектування фільтрів з використанням цифрових СІХ фільтрів без операції множення для реалізації фільтрів нижніх частот, верхніх частот, смугових і режекторних фільтрів.

Виконано проектування комплексного СФ шляхом зміщення частотної характеристики вузькосмугового ФНЧ, а також проектування комплексного РФ шляхом зміщення частотної характеристики широкосмугового ФВЧ.

Реалізовано аналітичні цифрові фільтри шляхом послідовного з'єднання дійсного смугового фільтру з центральною частотою рівної чверті частоти дискретизації і блоку пригнічення (однорідний фільтр) АЧХ на від'ємних (додатних) частотах.

За рахунок використання двох помножувачів на константу в структурній схемі ФОЧВ зменшено нерівномірність АЧХ в смузі пропускання і істотно зменшити рівень бічних пелюсток АЧХ.

Використовуючи каскадування секцій додатково понижено рівень бічних пелюсток АЧХ.

Число операції множення в комплексному ФОЧВ з рекурсивними секціями, значно менше, ніж число операції в комплексних СІХ, отриманих методом ДПФ.

Доведено, що при зміщенні АЧХ по частоті значення нерівномірності ГЧЗ і значення коефіцієнта прямокутності АЧХ не змінюються, коефіцієнт прямокутності АЧХ смугового фільтра збільшується при зменшенні смуги пропускання.

Кількість операцій множення при реалізації комбінованого НІХ-СІХ фільтру збільшується при збільшенні порядку НІХ фільтра і зменшенні його смуги пропускання, що обумовлено помітним зростанням порядку, лінеаризуючого СІХ фільтру.

При реалізації комплексних фільтрів” доведено доцільність реалізовувати банки цифрових комплексних смугових фільтрів з використанням методу комплексної затримки.

Використання методу CORDIC дозволяє в два рази зменшити кількість множень при реалізації комплексних затримок.

З ростом обсягу банку комплексних фільтрів кількість множень значно зменшується за рахунок використання алгоритму CORDIC при реалізації комплексних затримок.

**Ключові слова:** АЛГОРИТМ, ДИСКРЕТНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є, КОМПЛЕКСНИЙ ЦИФРОВИЙ ФІЛЬТР, НІХ-ФІЛЬТР, СІХ-ФІЛЬТР, CORDIC

## ANNOTATION

### **Honcharenko I. Digital power amplifier of car**

The diploma paper for obtaining the Master's degree 8.05090103 – Radio Electronic Devices, Systems and Complexes – Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil 2017.

The paper describes and largely solved the problem, which is essential for radio engineering - synthesis and analysis of new structural schemes notch and bandpass filters integrated digital with few multiplications targeted for use in banks, complex filters for forming and processing of multi frequency signals.

Analysis of the current state of mathematical design digital filters using IIR-filter without multiplication to implement low-pass filter, a top-tot, band-pass and notch filters.

Done designing integrated SF offset by narrowband frequency response of LPF and designing complex RF offset by broadband frequency response HPF.

Implemented analytical digital filters by valid serial connection bandpass filter with a center frequency equal to a quarter of the sampling frequency and block suppression (uniform filter) response to negative (positive) frequencies.

Built narrow bandpass filters with linear phase response with few multiplications.

With two multipliers on a constant structural diagram, FBFS reduced uneven AFC in the passband and significantly decrease the side lobe AFC.

Using cascading sections further lowered level of side lobe AFC.

The number multiplication in complex FBFS of recursive section, we are much less than the number of transactions in complex FIR obtained by DFT.

It is proved that the AFC bias uneven frequency value GDT and values of squareness AFC does not change; squareness ratio bandpass filter AFC increases with decreasing bandwidth.

Number of multiplications in the implementation of combined-IIR-FIR filter increases with increasing order IIR filter and reducing its bandwidth, due to the marked increase in order linearyzuyuchoho FIR-filter.

The experimental study developed algorithms of digital processing of complex signals. The algorithm of adaptive filtering of complex signals on the background nonorthogonality signal relative to noise in the vertical sensing.

**Keywords:** ALGORITHM, DISCRETE FOURIER TRANSFORM, COMPLEX DIGITAL FILTER, IIR- FILTER, FIR- FILTER, CORDIC