Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютерна система цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС*

Виконав: студент *IV курсу,* групи *СІз-41*
спеціальності *123 Комп'ютерна інженерія*
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) *Сеник С.Я.* (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) *Баран І.О.* (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) *Тиш Є.В.* (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри (підпис) *Осухівська Г.М.* (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) *Цуприк Г.Б.* (прізвище та ініціали)

Тернопіль -2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет *комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії*
(повна назва факультету)

Кафедра *комп'ютерних систем та мереж*
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ *Осухівська Г.М.*
(підпис) (прізвище та ініціали)
«_11_» ____05____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *бакалавр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю *123 Комп'ютерна інженерія*
(шифр і назва спеціальності)

Студенту *Сеник Софії Ярославівні*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Комп'ютерна система цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС*

Керівник роботи *Баран Ігор Олегович., к.т.н., доц.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від *« 08 » 05 2025 року № 4/9-222*

2. Термін подання студентом завершеної роботи *15.06. 2026 р.*

3. Вихідні дані до роботи *Технічне завдання*

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.
1. Аналіз технічного завдання.
2. Проектна частина.
3. Практична частина.
4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.
Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема та Реалізація моделі АРП зі зворотним зв'язком у Simulink
2. Структурні схеми складових елементів системи
3. Скріншоти вікон роботи інструменту «Fixed-Point Tool» в Simulink
4. RTL-схема системи АРП та Блок IP-ядра

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання *11.05.2026 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	*Розробка технічного завдання*	*11.05 – 12.05*	*Виконано*
2.	*Підбір джерел про системи автоматичного регулювання підсилення сигналу на ПЛІСі*	*13.05 – 14.05*	*Виконано*
3.	*Опрацювання літературних джерел*	*15.05 – 17.05*	*Виконано*
4.	*Виконання дослідження щодо моделювання системи*		
	цифрового автоматичного регулювання підсилення		
	сигналу на базі ПЛІС	*18.05 – 20.05*	*Виконано*
5.	*Написання програмного коду*	*21.05 – 22.05*	*Виконано*
6.	*Оформлення розділу «Аналіз технічного завдання»*	*23.05 – 24.05*	*Виконано*
7.	*Оформлення розділу «Проектна частина»*	*25.05 – 26.05*	*Виконано*
8.	*Оформлення розділу «Практична частина»*	*27.05 – 28.05*	*Виконано*
9.	*Виконання завдання до підрозділу «Безпека*		
	життєдіяльності, основи охорони праці»	*26.05 – 30.05*	*Виконано*
10.	*Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу*	*01.06 – 02.06*	*Виконано*
11.	*Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами*	*02.06 – 6.06*	*Виконано*
12.	*Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра*	*09.06 – 13.06*	*Виконано*
13.	*Захист кваліфікаційної роботи*	*18.06*	

Студент _____ *Сеник С.Я.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Баран І.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Сеник С.Я. Комп'ютерна система цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп’ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: зворотний зв'язок, підсилення сигналу, ПЛІС, рівень сигналу, сигнал

Робота присвячена втіленню системи цифрового автоматичного регулювання підсилення зі зворотним зв'язком на базі ПЛІС. У ході обробки сигналу відбувається аналіз його амплітуди та прийняття рішень щодо масштабування підсилення або його послаблення, забезпечуючи відповідність сигналу на виході заданим параметрам.

Дослідним шляхом встановлено, що для проєктування системи автоматичного регулювання підсилення та її реалізації на основі ПЛІС найкраще підходить зворотне автоматичне регулювання підсилення.

Спроєктована модель автоматичного регулювання підсилення у Matlab/Simulink, вибрано елементну базу ПЛІС. Досліджено основні етапи та методику проєктування.

Описано процес розроблення системи автоматичного регулювання підсилення, котрий містить втілення ключових компонентів, корекцію типів даних, генерування коду і синтез самого проєкту. Реалізовано та проведено моделювання системи автоматичного регулювання підсилення на ПЛІС.

Результати проведеного моделювання констатували працездатність розробленої системи.

ANNOTATION

Senyk Sofia. Computer system for digital automatic signal amplification based on FPGA: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026

Keywords: feedback, signal amplifier, FPGA, signal strength, signal

The bachelor thesis deals with the implementation of a digital automatic control system based on the FPGA. During signal processing, an analysis of its amplitude is made and a decision is made to scale the amplification or attenuation, ensuring that the output signal remains consistent with the specified parameters.

The last point is that for the design of an automatic power control system and its implementation based on FPGAs, automatic power control gates are most suitable.

A model of automatic power control was designed in Matlab/Simulink, and an FPGA element base was selected. The main stages and design methods have been studied.

The process of unbundling the automatic power control system is described, which involves the addition of key components, correction of data types, code generation and synthesis of the project itself. A system of automatic power control has been implemented and modeled on an FPGA.

The results of the modeling established the feasibility of the fragmented system.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ 8
ВСТУП 9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ 11
1.1 Огляд предметної галузі 11
1.2 Алгоритми автоматичного регулювання підсилення 13
1.2.1 Зворотна схема автоматичного регулювання підсилення 14
1.2.2 Пряма схема автоматичного регулювання підсилення 16
1.2.3 Комбінована схема автоматичного регулювання підсилення 17
1.3 Висновки до першого розділу 18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА 19
2.1 Вибір елементної бази пристрою автоматичного регулювання підсилення 19
2.1.1 Intel FPGA (Altera) 20
2.1.2 Xilinx 21
2.2. Методика модельно-орієнтованого проєктування 22
2.3 Вибір інструменту проєктування 23
2.4 Розробка моделі автоматичного регулятора підсилення у Simulink 24
2.4.1 Детектор потужності 24
2.4.2 Фільтр низьких частот 24
2.4.3 Детектор помилки 26
2.4.4 Фільтр зворотного зв'язку та підсилювач 26
2.5 Тестування моделі автоматичного регулятора підсилення 28
2.6 Висновки до другого розділу 33
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА 34

3.1 Модифікація моделі з урахуванням особливостей цільової апаратної платформи 34
3.1.1 Детектор потужності 34
3.1.2 Фільтр ковзного середнього 35
3.1.3 PI регулятор 36
3.2 Корекція типів даних 37
3.3 Генерація коду мовою опису апаратури та синтез проекту 42
3.4 Висновки до третього розділу 43
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ 44
4.1 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом 44
4.2 Методи боротьби з монотонністю праці на виробництві 46
4.3 Висновки до четвертого розділу 48
ВИСНОВКИ 49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 50
Додаток А Технічне завдання

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

IP-ядра (англ. IP cores), IP-блоки (IP — англ. intellectual property) – готові блоки для проєктування мікросхем (наприклад, для побудови систем на кристалі)

Verilog HDL (англ. Verilog Hardware Description Language) — мова опису апаратури (HDL), що використовується для опису та моделювання електронних систем

VHDL (англ. VHSIC (Very high speed integrated circuits) Hardware Description Language) — мова опису апаратури інтегральних схем

АРП – автоматичне регулювання підсилення

МОП – модельно-орієнтоване проєктування.

ПЗ – програмне забезпечення

ПЛІС (англ FPGA - field programmable gate arrays) – програмована логічна інтегральна схема

ФНЧ – фільтр низьких частот

ВСТУП

Розвиток систем зв'язку є одним з важливих факторів сучасного суспільства, оскільки швидкий, надійний і безпечний зв'язок потрібен практично у всіх сферах діяльності. Зростаюча мобільність абонентів і розширення області покриття призводить до того, що сигнал зв'язку передається через великі відстані і різні середовища. При цьому відбувається зашумлення та послаблення сигналу. Здебільшого крім природних факторів спотворення сигналу можуть бути цілеспрямовані впливи та штучно створені перешкоди. Для втілення безпеки передачі сигналу, його завадостійкості та швидкості передачі, приймаючі пристрої потребують його фільтрації та підсилення. У більшості приймачів присутня система АРП для підтримки стабільного рівня вихідного сигналу приймача в умовах зміни інтенсивності сигналів, що приймаються. Основне завдання цієї системи - відстеження рівня сигналу на вході підсилювача та автоматичне регулювання підсилення для досягнення необхідного рівня на виході. Завдання автоматичного регулювання є актуальним.

Сучасні пристрої АРП переважно є цифровими. Цифрові АРП мають низку переваг над звичайними аналоговими зразками і набувають більшого поширення. Такі АРП застосовується в різних галузях, як то телекомунікації, радіозв'язок, аудіо- та відеообладнання, медичну техніку та інші. Система дозволяє компенсувати зміни амплітуди сигналу в різних умовах роботи, таких як зміна рівня шумів, зміна довжини переданого сигналу та згасання сигналу.

Одним з ефективних підходів до реалізації алгоритмів АРП є використання ПЛІС як апаратної бази. Це сприяє зниженню енергоспоживання, що важливо для портативних пристроїв і систем з обмеженою енергетичною ємністю, забезпечує живучість, гнучкість і продуктивність системи, так як реконфігурованість ПЛІС дозволяє змінювати налаштування системи без необхідності фізичної обробки обладнання. Також реалізація АРП на базі ПЛІС значно знижує вартість розробки.

Мета роботи – створення системи цифрового АРП на базі ПЛІС.

Завдання, необхідні для досягнення даної мети:

– огляд предметної галузі, аналіз систем та алгоритмів АРП;

– вибір алгоритму АРП для реалізації;

– реалізація моделі АРП в середовищі моделювання MATLAB та її тестування;

– генерація опису розробленої системи АРП мовою Verilog;

– підготовка IP АРП.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Важливість роботи обумовлена застосуванням АРП в різних областях з метою підтримання стабільного рівня сигналу незалежно від його зміни. Використання ПЛІС для реалізації АРП є необхідним для забезпечення продуктивності, гнучкості та інтеграції з іншими функціями.

1.1 Огляд предметної галузі

Системи зв'язку використовуються для передачі інформації. Виражена інформація передається у формі повідомлення. Матеріальним носієм повідомлення є сигнал.

Сигнал - це фізичний носій інформації, де вона передається за рахунок зміни її параметрів чи параметрів сигналу [1]. Таким чином, сигнал є матеріальним носієм повідомлення. Цим носієм може бути який завгодно фізичний процес, як то звукові коливання, електричне поле або електричні сигнали. Важливим є те, що сигналом є не сам фізичний процес, а зміни окремих параметрів цього процесу. Зазначені зміни визначаються тим повідомленням, яке несе цей сигнал. Правила цих змін (код) – зазвичай задаються заздалегідь і відомі як на стороні приймача , так і на стороні передавача.

Для отримання таких повідомлень використовують приймальний пристрій, здатний розпізнавати та приймати сигнали, що передаються від джерела. Існують цифрові та аналогові канали зв'язку, вони відрізняються один від одного способом передачі та обробки сигналів.

Аналогові канали зв'язку працюють з безперервними аналоговими сигналами і передають сигнал у вигляді аналогових хвиль, які можуть бути змінені за амплітудою, частотою або фазою.

Цифрові канали працюють з дискретними цифровими даними та передають інформацію у вигляді двійкових кодів або цифрових сигналів, які представляють цифрові дані. Цифрові приймачі мають більш стабільну якість сигналу, оскільки інформація представлена як біти, які можуть бути точніше відновлені та перевірені на помилки [1].

При передачі сигналу на нього можуть впливати зовнішні фактори, у тому числі він може згасати, втрат і спотворень за рахунок великих відстаней, на які треба передати сигнал, властивостей середовища передачі, умов передачі, перешкод та інтерференції.

Оскільки рівень сигналу зазвичай малий, а обробка сигналів відбувається при порівняно великих рівнях сигналу, невід'ємною частиною будь-якого приймального пристрою є підсилювач з великим коефіцієнтом підсилення. Він збільшує амплітуду сигналу, що дозволяє більш надійно і точно інтерпретувати інформацію, котра передається. Підсилювач може використовуватися для налаштування рівня сигналу відповідно до вимог конкретного приймаючого пристрою або системи. Він може піднімати сигнал на певний рівень, щоб забезпечити оптимальне функціонування при ємнісній частині пристрою та уникнути спотворень чи перевантажень.

Так як рівень вхідного сигналу при передачі може змінюватися досить швидко і хаотично, його необхідно регулювати. Регулювання буває ручним та автоматичним [2].

Ручне регулювання простіше у використанні і здійснюється в аналоговій формі, де напруга або рівень сигналу фізично змінюються шляхом взаємодії людини з регулятором. При ручному регулюванні підсилення використовуються потенціометри, змінні резистори або транзистори, які ефективно змінюють рівень підсилення підсилювача. Таке регулювання має більш плавний характер, оскільки зміни відбуваються безперервно і без значних стрибків. Однак аналогове регулювання більш чутливе до шумів і спотворень, оскільки будь-які зміни, що проводяться в ланцюгу підсилення, можуть впливати на якість сигналу, що передається. Також ручне регулювання може бути не таким точним

порівняно з цифровим регулюванням. Воно вимагає участі людини, що може спричинити людські помилки. Неправильне налаштування підсилення може призвести до спотворення або втрати якості сигналу.

АРП здійснює керування рівнем підсилення з використанням автоматичних алгоритмів та пристроїв. Система виявляє зміни рівня сигналу на вході та динамічно регулює підсилення, щоб підтримувати бажаний рівень вихідного сигналу. Вона дозволяє автоматично підтримувати стабільний рівень вихідного сигналу, незалежно від варіацій рівня сигналу на вході і може бути особливо корисною в умовах, де рівні сигналів здатні змінюватися динамічно [3].

Недоліком АРП є затримка реакції на мінливі умови сигналу, і в деяких випадках, якщо система не правильно налаштована або не функціонує як слід, це може призвести до несподіваних змін підсилення або спотворень сигналу.

Цифрове АРП полягає в використанні цифрової обробки сигналів і алгоритмів управління. Зазвичай реалізується на базі спеціалізованого сигнального процесора, при цьому рівень підсилення може бути змінений шляхом програмної зміни параметрів обробки сигналу, без прямого впливу на фізичні компоненти підсилювача. До переваг програмної реалізації відносяться постійна структура системи за різноманітних алгоритмів та сфер використання; хороша гнучкість, що дає змогу достатньо вільно вносити зміни у алгоритми функціонування системи з допомогою корекції чи зміни програми; істотне прискорення, полегшення та зниження вартості проєктування, вироблення і налаштування системи. Дефектом ж програмного втілення є відносно низька швидкодія, котра спричинена циклом виконання команд у процесорі. Для забезпечення вищої швидкодії та живучості системи АРП в даний час як елементна база все частіше використовуються ПЛІСи.

Цифрове АРП, зазвичай, дозволяє реалізувати більш точне та гнучке управління підсилення, оскільки можна використовувати складні математичні алгоритми для точного контролю та обробки сигналів. Однак автоматичне регулювання може мати деякі обмеження щодо динамічного діапазону та можливих спотворень.

У сучасних системах, як правило, використовується автоматичне підсилення та цифрова реалізація АРП для досягнення більш гнучкого та точного контролю рівня підсилення в радіозв'язкових пристроях.

Залежно від конкретної реалізації АРП може мати різні параметри та характеристики, такі як швидкість реакції, діапазон регулювання та допустимий рівень спотворень.

Основними параметрами, що визначають якість АРП, є час спрацьовування, час відновлення і час атаки [4].

Час відновлення (Release time) - час, який потрібен для досягнення нового рівня підсилення після зменшення рівня вхідного сигналу.

Час атаки (Attack time) - час, який потрібен для досягнення нового рівня підсилення після збільшення рівня вхідного сигналу.

Також застосовується параметр поріг детектування (Detection threshold), котрий визначається мінімальною величиною зміни вхідного сигналу, при якій починають роботи алгоритми АРП.

1.2 Алгоритми автоматичного регулювання підсилення

Алгоритм АРП реалізовано за таким принципом [4]:

1. Вимірювання рівня вхідного сигналу. АРП на початку схеми вимірює рівень вхідного сигналу. Зазвичай використовується детектор, який перетворює амплітуду сигналу на величину, пропорційну його потужності або амплітуді.

2. Обчислення сигналу помилки. Далі із потужності сигналу обчислюється сигнал помилки. Це той сигнал, який є різницею між бажаним рівнем вихідного сигналу та фактичним. Цей сигнал використовується для управління підсиленням, щоб підтримувати бажаний рівень вихідного сигналу незалежно від рівня вхідного сигналу [2].

3. Налаштування підсилення. Підсилювач налаштовується відповідно до сигналу помилки, щоб змінити його підсилення. АРП може використовувати різні методи регулювання підсилення, як то зміна опору, керування струмом або

напругою живлення підсилювача.

4. Повторний аналіз. Після налаштування підсилення АРП повторно вимірює рівень сигналу та аналізує його з метою отримання нового сигналу помилки.

Цей процес повторюється в циклі для постійного виявлення та корекції будь-яких змін на рівні сигналу.

У залежності від способу подавання регульованої напруги АРП діляться на зворотні та прямі [3]. Можлива також комбінована схема, що поєднує зворотне та пряме регулювання.

1.2.1 Зворотна схема автоматичного регулювання підсилення

У зворотних системах АРП або в системах із зворотним зв'язком точка знімання напруги, що формує регулюючий вплив, розташована далі від входу приймача, ніж точка застосування регулюючого впливу [3].

У схемі АРП використовується детектор, який перетворює амплітуду вихідного сигналу на потужність. ФНЧ використовується для виділення потрібного діапазону частот і придушення небажаних сигналів чи шумів. Детектор помилки порівнює вихідний сигнал з ФНЧ з референсним сигналом і видає сигнал помилки за формулою:

$$E = U_{РЕФ} - U_{Ф} \tag{1.1}$$

де E – сигнал помилки; Uреф – потужність референсного сигналу; Uф - потужність вихідного сигналу (вихід ФНЧ).

Цей сигнал помилки потім використовується для керування змінним підсиленням усередині підсилювача.

Регулятор забезпечує стабільність зворотного зв'язку і генерує коефіцієнт підсилення на основі сигналу помилки. Тип регулятора залежить від вимог конкретної системи АРП. Коефіцієнт підсилення використовується для управління підсиленням. Загальна формула для підсилення підсилювача:

$$K = K_0 + U_{РЕГ} \quad (1.2)$$

де K - фактичне підсилення підсилювача на даний момент; K_0 - початкове значення підсилення; $U_{рег}$ - сигнал керування підсиленнях (вихід регулятора).

Вихідний сигнал з підсилювача обчислюється за такою формулою:

$$U_{ВИХ} = K \cdot U_{ВХ} \quad (1.3)$$

де K - фактичне підсилення підсилювача на даний момент; $U_{вх}$ - вхідний сигнал; $U_{вих}$ – вихідний сигнал.

При збільшенні вхідної напруги, напруга на виході детектора АРП зростає, при цьому збільшується потужність сигналу (Р), що викликає зменшення К. Якщо $U_{вих}$ збільшується, то К зменшується ; при цьому їх добуток може залишатися постійним.

Ланцюг АРП називається простим, якщо він складається тільки з детектора та фільтра. У ланцюг АРП може включатися підсилювач, що встановлюється після детектора. Структурна схема зворотного АРП представлена на рис. 1.1.

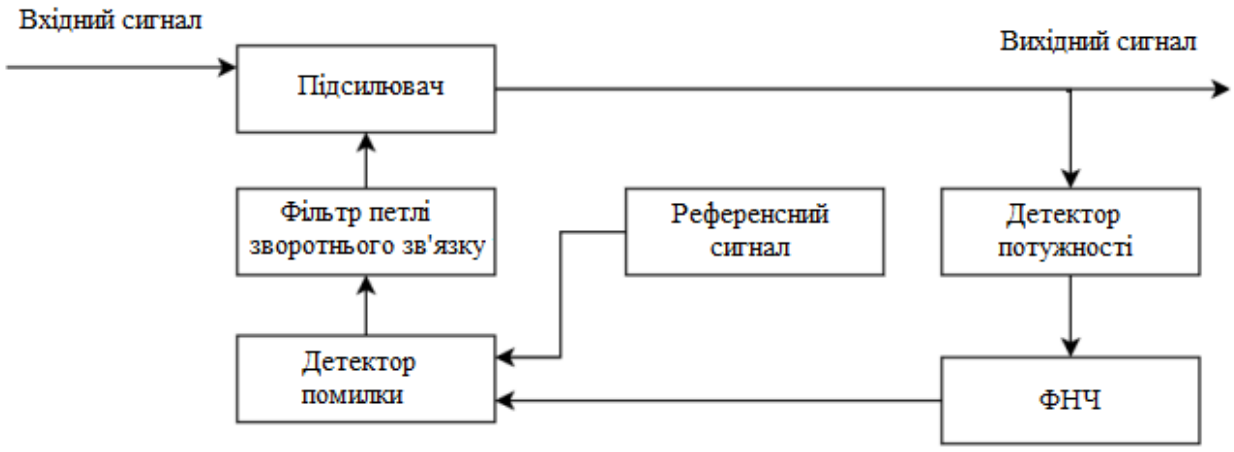

Рисунок 1.1 – Структурна схема зворотного АРП

Сигнал помилки подається на підсилювач із боку виходу. Детектор АРП забезпечує пропорційність вихідної напруги. Таку схему називають просте АРП.

До або після детектора в ланцюгах АРП може включатися підсилювач і тоді АРП вважається підсиленим.

Зворотні комплекси АРП не здатні забезпечити повної стабілізації вихідної напруги через тимчасові затримки в петлі зворотного зв'язку. Більш того, ця система не може забезпечити синхронно значну глибину регулювання, коли вихідна напруга дорівнює константі, і висока швидкодія з міркувань стійкості. Разом із тим ця система захищає від перевантаження всі каскади, розташовані від входу далі, ніж точка застосування регулюючого впливу.

1.2.2 Пряма схема автоматичного регулювання підсилення

У таких системах АРП власне точка зняття напруги запускання АРП знаходиться ближче до входу приймаючого пристрою, аніж точка докладання регулюючої напруги [3].

У прямій схемі АРП вхідний сигнал спочатку проходить через детектор потужності. Підсилювач потім регулює своє підсилення відповідно до сигналу помилки, щоб підтримувати постійний вихідний рівень сигналу незалежно від змін вхідного сигналу. Так само, як і в АРП із зворотним зв'язком, у системі використовується ФНЧ для придушення високочастотних імпульсів.

Структурна схема прямої АРП містить ті ж елементи, що і структурна схема зі зворотною АРП, і представлена на рис. 1.2.

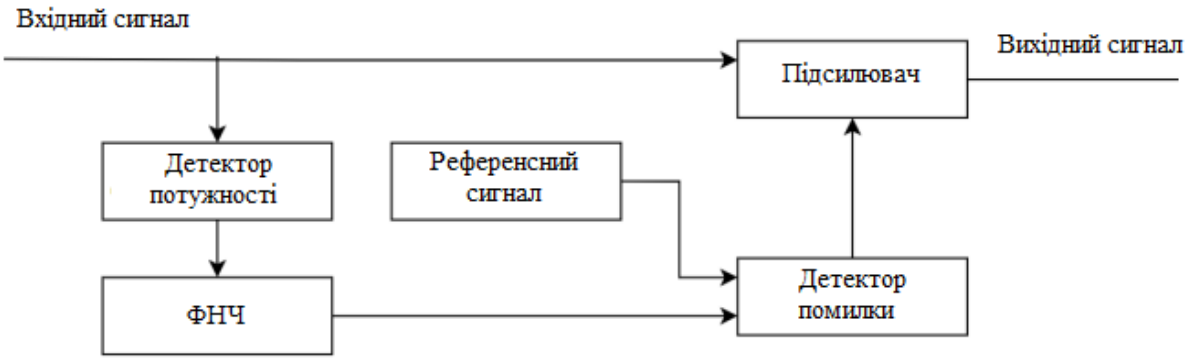

Рисунок 1.2 – Структурна схема прямого простого АРП

Прямі комплекси АРП фундаментально здатні гарантувати властиво

ідеальне регулювання, якщо вихідна напруга дорівнює константі. Реально ж це неможливо, оскільки ступінь постійності вихідної напруги окреслений чіткими даними елементів ланцюга АРП та ланцюгів приймаючого пристрою, схильних до технологічних розкидів параметрів, тимчасових і режимних змін. При використанні даної системи АРП від перевантажень захищаються каскади розташовані далі точки застосування регулюючого впливу. Пряма схема АРП має деякі істотні недоліки, один з яких полягає в необхідності поміщати перед детектором в ланцюзі АРП додатковий високочастотний підсилювач з великим коефіцієнтом підсилення, пряма АРП також нестабільна, тобто схильна до впливу різних дестабілізуючих факторів. У зв'язку із цим вона знайшла обмежене застосування.

1.2.3 Комбінована схема автоматичного регулювання підсилення

Ця схема поєднує в собі різні методи та компоненти для досягнення бажаного результату [3]. Так само, як і в АРП зі зворотним і прямим зв'язком, одним з основних компонентів комбінованої схеми АРП є детектор рівня сигналу. Іншим важливим є елемент, що управляє. Він може змінним резистором, керованою напругою або струмом, який змінює підсилення згідно з сигналом, отриманим від детектора рівня. Керуючий елемент здатен бути втілений при допомозі електронних компонентів, таких як операційні підсилювачі або напівпровідникові ключі, або з використанням ПЗ, якщо схема реалізується в цифровому вигляді. Третім компонентом комбінованої схеми АРП є фільтр. Він може бути реалізований як аналоговий або цифровий фільтр в залежності від конкретних вимог. Структурна схема комбінованого АРП продемонстрована на рис. 1.3.

У цьому випадку раціонально застосовуються плюси обидвох схем АРП, як то стабільність зворотної АРП та здатність одержання ідеальної характеристики прямого АРП.

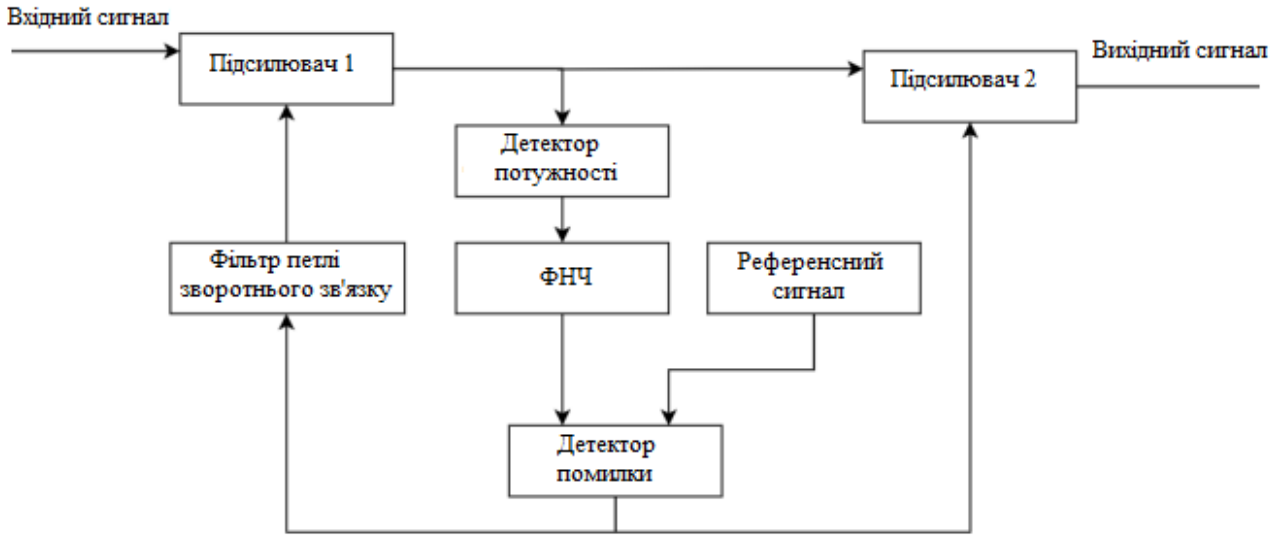

Рисунок 1.3 – Структурна схема комбінованої схеми АРП

Для першого підсилювача – це зворотна, а для другого – пряма АРП. Основне регулювання відбувається у частині АРП зі зворотним зв'язком; вона, як правило, містить кілька регульованих каскадів. Другий регульований підсилювач зазвичай однокаскадний, його основне завдання - дещо компенсувати зростаючу напругу на виході першого підсилювача. Те, що ідеального регулювання не можна досягти на практиці, не має великого значення, оскільки межі зміни вихідної напруги невеликі.

1.3 Висновки до першого розділу

Для подальшого проєктування АРП та реалізації на ПЛІС найкраще підходить зворотна АРП. Має більш точне налаштування, так як регулювання підсилення відбувається на основі вихідного сигналу, і краще придушення шуму з тієї ж причини. Також така схема є простішою в реалізації та налаштуванні, ніж комбінована АРП, і має ширше поширення.

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір елементної бази пристрою автоматичного регулювання підсилення

Програмно-керовані пристрої універсальні, тобто здатні розв'язати практично будь-яке завдання. Програмне управління дозволяє змінити алгоритм роботи та виконувані функції за рахунок заміни ПЗ, не торкаючись апаратної частини. Проте виконання програми вимагає значних витрат часу на обробку машинних команд, обмін з пам'яттю команд і даних та інші етапи командного циклу, а самі програмно-керовані системи мають досить складну архітектуру. Більшість спеціальних завдань може бути успішно вирішена з використанням програмно-керованих пристроїв (ЕОМ, мікроконтролерів) за рахунок розробки та оптимізації відповідного ПЗ. Але якщо накладаються жорсткі критичні обмеження на обсяг апаратури та час виконання обчислень, програмно-керовані пристрої часто не забезпечують потрібні характеристики.

Апаратна реалізація функцій у переважній більшості випадків є більш швидкодіючою, хоча й позбавлена властивості універсальності. З цієї причини перед розробниками обчислювальної техніки, поряд із завданням проєктування універсальних обчислювальних машин, завжди стояли проблеми створення спеціалізованої апаратури, призначеної для виконання конкретних, специфічних операцій. Довгий час для подібних застосувань розроблялися спеціалізовані багатокомпонентні пристрої з окремих елементів та мікросхем малого та середнього ступеня інтеграції, а в даний час з цією метою застосовуються спеціалізовані інтегральні мікросхеми. Такий метод реалізації не забезпечує гнучкість системи, т.к. спеціалізовані мікросхеми мають жорстко визначений набір функцій. Крім того, вони вимагають значних витрат часу , ресурсів та

матеріальних витрат при проєктуванні та виробництві.

Ще одним варіантом реалізації АРП є застосування ПЛІС, електронного компонента, логіка роботи якого не встановлюється під час виготовленні, а визначається при допомозі програмування зв'язків між елементами.

Залежно від складності ПЛІС, реалізовані функції можуть варіюватися від досить простих, відповідних одній або декільком мікросхемам низького рівня інтеграції, до дуже складних пристроїв. На ПЛІС можна реалізувати алгоритми цифрової обробки сигналів та інші складні завдання обробки даних та управління, включаючи можливість складання свого власного процесора з унікальною архітектурою.

Зараз на ринку існує кілька великих компаній з виробництва ПЛІС. Найбільшого поширення мають вироби двох виробників: Intel FPGA (Altera) та Xilinx.

2.1.1 Intel FPGA (Altera)

Altera - одна з найбільших фірм-розробників ASIC і ПЛІС, веде свій часовий відлік від вже достатньо далекого 1983 року. Не володіючи власними потужностями виробництва, Altera передусім сфокусувалася на розробленні схем та модулів на базі визначених мов опису апаратури, зокрема це VHDL, Verilog і власний AHDL. Основні напрямки робіт - програмовані мікросхеми, крім того послуги з перетворення ПЛІС-проєктів у базис ASIC для власне масового виробництва. У червні 2015 року було оголошено про придбання корпорацією Intel компанії Altera, і тепер ці вироби звуться Intel-FPGA [5]. Сучасний логотип цієї фірми показано на рис. 2.1.

Перевагою ПЛІС Intel FPGA є доступність, так як існують різні інтегральні схеми за різною ціною, широке поширення та простота у використанні. ПЗ Quartus Prime вважається більш простим для розробників-початківців, ніж Vivado.

Рисунок 2.1 – Лого компанії Altera

Недоліки даних інтегральних схем - це менш гнучкі інструменти для синтезу, обмежена підтримка IP -ядер і менш потужний синтезатор, ніж у Xilinx, що може бути критично для складних проєктів.

2.1.2 Xilinx

Компанія Xilinx з 1985 року випускає ПЛІС, що представляють основні архітектури, що є в мікроелектроніці - CPLD та FPGA. Xilinx, як і більшість виробників ПЛІС, є fabless -компанією, тобто не має власного виробництва, а замовляє виготовлення мікросхем за розробленими проєктами стороннім компаніям [6]. Відповідно, з освоєнням нових технологічних процесів світовими виробниками, Xilinx має можливість випустити нове покоління ПЛІС з використанням освоєного технологічного процесу. Це й спостерігалося упродовж існування компанії. Логотип компанії наведено на рис. 2.2.

Рисунок 2.2 – Лого компанії Xilinx

Переваги Xilinx, як було написано вище, це потужний синтезатор, що дозволяє створювати більш складні та оптимізовані проєкти, гнучкі та просунуті

інструменти та велика підтримка IP -ядер. Також виробник Xilinx найчастіше вводить нові технології.

Недоліками цих ПЛІС є ціна, адже Xilinx дорожче, ніж Intel FPGA.

Станом на червень 2024 року частка ринку ПЛІС компанії Intel FPGA становить 13,3% та знизилася на 32,4% порівняно з попереднім роком. Ринкова частка Xilinx FPGA становить 38,9%.

За результатами огляду варіантів реалізації АРП, описаних у технічній літературі, та аналізу особливостей ПЛІС найбільш поширених виробників, прийнято рішення використовувати ПЛІС фірми Xilinx.

2.2 Методика модельно-орієнтованого проєктування

Як основний підхід до розробки системи АРП обрано методику МОП.

МОП - це сукупність методик проєктування вбудованого програмного та апаратного забезпечення, заснованих на застосуванні системних моделей на всіх етапах життєвого циклу розробки вбудованих систем [10].

МОП надає такі можливості:

– ефективна оцінка технічних рішень;

– оцінка реалізованості ТЗ на системних моделях (валідація) на початок проєктних робіт;

– математичне обґрунтування технічного рішення відповідно до ТЗ;

– формування архітектури складної технічної системи у вигляді системної симуляції;

– спрощення дослідження відмов при випробуваннях та експлуатації за рахунок локалізації збоїв за допомогою імітації на системних моделях;

– рання верифікація приватних технічних рішень та алгоритмів вбудованого ПЗ;

– напівнатурне тестування та оперативне створення програмно-апаратних макетів реального часу;

– швидкий перехід від моделі до вихідних кодів за допомогою автоматичного синтезу VHDL/Verilog/SystemVerilog для зарубіжної та

вітчизняної елементної бази;

– автоматизована верифікація та доказ надійності вихідних та об'єктних кодів відповідно до стандартів.

Один з ключових моментів МОП - автоматизована генерація вихідного коду з моделей.

Автоматизована генерація коду має такі переваги:

– скорочення термінів розробки програмних кодів та проєктів мовами опису апаратури;

– гнучкість та швидкість перенесення алгоритмів з однієї елементної бази на іншу;

– налаштування генерації та оптимізації коду під цільовий проєкт: код може бути оптимізований з метою читальності, трасування, використовуваних обчислювальних або апаратних ресурсів, за затримкою;

– можливе оперативне одночасне створення кількох варіантів коду для різних цілей: швидкого прототипування, верифікації та тестової обв'язки, для напівнатурних стендів та тренажерів.

– використання тестування та профілювання коду як усередині моделі, так і в режимі «ПЛІС-в-контурі»;

– автоматизована верифікація та валідація.

Оскільки в даний час вимоги швидкої та надійної розробки є важливими, дана методика активно розвивається та застосовується у дедалі більшій кількості проєктів, тому в даній роботі обрано цей підхід.

2.3 Вибір інструменту проєктування

Застосування методики МОП можливе лише при використанні відповідних інструментальних програмних засобів. Найбільш широке поширення нині має програмний інструмент MATLAB та його розширення Simulink.

Це розширення є частиною системи MATLAB і повністю з нею

інтегрується, дозволяючи користуватися перевагами обробки та візуалізації даних у MATLAB.

У Simulink втілюється концепнція візуального програмування, за якої на моніторі із бібліотечних стандартних блоків формується властиво модель пристрою і проводяться обчислення. Simulink призначений для симуляції, імітування і аналізування різного роду динамічних систем. ПЗ забезпечує змогу створювати графічні блок- діаграми, виконувати моделювання динамічних систем, вивчати функціональність систем і вдосконалювати проєкти [7].

2.4 Розробка моделі автоматичного регулятора підсилення у Simulink

Розробка програмної моделі відбуватиметься на основі структурної схеми зворотної системи АРП, представленої на рис. 1.1 у п. 1.2.1. Для даної моделі необхідно розробити 4 блоки:

- детектор потужності;
- ФНЧ;
- детектор помилки;
- фільтр зворотного зв'язку та підсилювач.

2.4.1 Детектор потужності

Потужність комплексного сигналу визначається за формулою:

$$P = |x|^2 = x_R^2 + x_I^2, \quad (2.1)$$

де x – вхідний сигнал; x_R - дійсна частина комплексного сигналу; x_I - уявна частина комплексного сигналу.

Для реалізації детектора потужності на Simulink буде потрібно два модулі, з'єднаних послідовно. Це модулі «Abs» та «Power». Перший блок обчислює модуль числа, а другий підносить до квадрату.

2.4.2 Фільтр низьких частот

Сигнал помилки може містити високочастотні компоненти через шум і завади, що може призвести до різких змін в керуючому сигналі, які зі свого боку призводять до перерегулювання та нестабільності системи. У зв'язку з цим потрібно використовувати згладжування сигналу, тим самим видаляючи високочастотні компоненти [2].

Для таких цілей у системах АРП потрібно використовувати ФНЧ. Одна з реалізацій ФНЧ - фільтр ковзного середнього. Він менш ефективний для придушення високочастотних компонентів, але не вносить затримки в сигнал, має простішу реалізацію і менш чутливий до змін у характеристиках сигналу. Для обчислення ковзного середнього використовує метод ковзного вікна. У цьому методі вікно заданої довжини переміщується за вибіркою даних, і обчислюється середнє арифметичне значення за встановлений період за формулою [8]:

$$SMA_t = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i}, \qquad (2.2)$$

де SMA_t - значення простого ковзного середнього в точці t; n - кількість значень вихідної функції для розрахунку ковзного середнього; p_{t-i} - значення вихідної функції у точці p_{t-i} .

Для реалізації ковзного середнього в Simulink знадобиться блок обчислення ковзного середнього «Moving Average» з параметром «довжина вікна», встановленим у значення 512. Цей параметр відповідає змінній n у формулі (2.2), тобто кількості значень функції для розрахунку ковзного середнього. Значення даного параметра підібрано емпіричним шляхом, ґрунтуючись на результатах моделювання.

Так як сигнал помилки - це різниця між бажаним рівнем системи та фактичним, то різниця між згладженою потужністю сигналу і бажаною потужністю вихідного сигналу і є сигналом помилки.

2.4.3 Детектор помилки

Для реалізації генерації сигналу помилки Simulink знадобиться блок «Add», на його позитивний вхід подається бажана потужність сигналу, але на негативний вхід подається фактична потужність із системи.

2.4.4 Фільтр зворотного зв'язку та підсилювач

Коефіцієнт підсилення залежить від значення помилки. Сигнал помилки відображає відхилення поточного рівня вихідного сигналу від бажаного. Так як підсилювач реалізує множення на коефіцієнт підсилення, множення сигналу на значення більше одиниці збільшує його амплітуду, а множення на значення менше одиниці - зменшує. Чим ближче рівень сигналу до бажаного, тим менша помилка; коли сигнал помилки прагне нуля, коефіцієнт підсилення має прагнути до одиниці.

Як фільтр петлі зворотного зв'язку Simulink використовується блок «PID Controller». Блок «PID» реалізує пропорційно-інтегрально-диференційний (ПІД) регулятор, котрий застосовується у системах автоматичного керування х метою побудови управляючого сигналу для одержання властиво потрібних точності і якості перехідного процесу. На рис. 2.3 відображено вікно із атрибутами та характеристиками цього блоку.

Як тип контролера використовується пропорційно-інтегральний (PI) тип дискретного часу з кроком за замовчуванням. За результатами моделювання було підібрано такі коефіцієнти фільтра зворотного зв'язку: пропорційна складова - 0,57, інтегральна - 0,018.

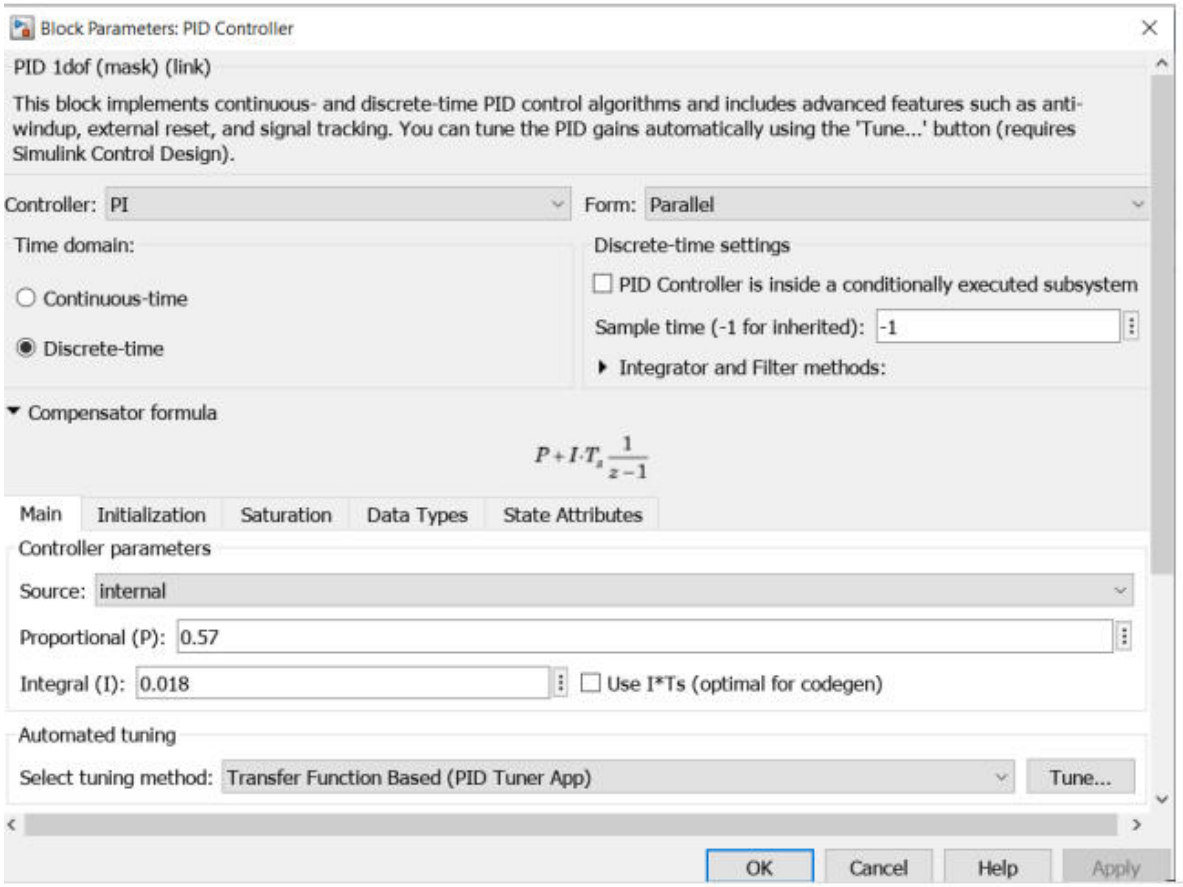

Рисунок 2.3 – Вікно із налаштуванням характеристик блоку «PID Controller»

Вихід регулятора є сумою пропорційного та інтеграла, зважених незалежно P та I, відповідно. Інші налаштування модуля підходять даній системі за замовчуванням. Після установки цей модуль генерує формулу компенсації у вкладці «Compensator formula».

Зворотний зв'язок - це зворотний вплив результатів процесу з його протікання у системі чи вплив керованого процесу на керуючий орган. Такий зв'язок здійснюється за допомогою зовнішнього ланцюга, або за рахунок внутрішнього пристрою системи. Системи із зворотним зв'язком часто представляють у вигляді схеми, на якому сигнал з виходу системи надходить на його вхід.

Для створення зворотного зв'язку Simulink буде потрібно блок затримки або пам'яті для тимчасової затримки в системі зворотного зв'язку. Реалізація з блоком затримки потребує менше ресурсів, тому він і використовуватиметься. Блок «Delay» – це затримка для відстеження попереднього стану.

Реалізація АРП зі зворотним зв'язком Simulink представлена на рис. 2.4.

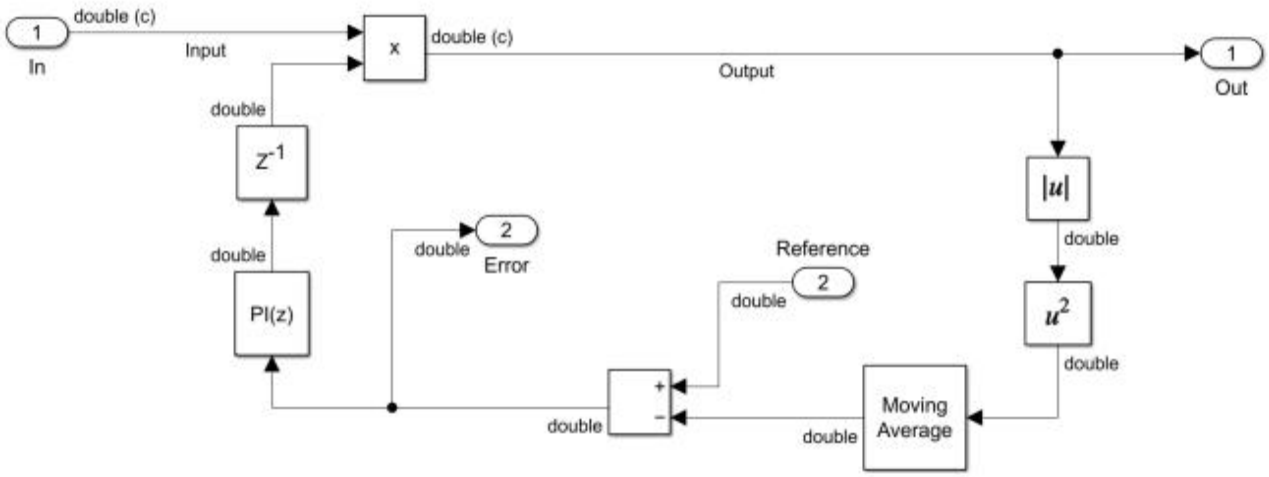

Рисунок 2.4 – Реалізація моделі АРП зі зворотним зв'язком у Simulink

2.5 Тестування моделі автоматичного регулятора підсилення

Проведемо тестування розробленої моделі в трьох режимах:

– постійний сигнал на вході;
– сигнал, що плавно змінюється (підсилюється і зменшується);
– стрибкоподібна зміна сигналу.

Для кожного режиму потрібно згенерувати вхідний сигнал.

Для генерації сигналу та подальшої передачі використовується перетворення випадкових чисел у послідовність імпульсів шляхом модуляції та формування базового смугово-обмеженого сигналу, який буде призначений для цієї послідовності символів за допомогою фільтра передачі з піднятим косинусом.

Тип модуляції вибирається в залежності від ряду факторів, які важливі в системі. У даному випадку важлива можливість використання різних методів модуляції. Цей фактор вказує на модуляцію фази сигналу або фазової модуляції.

Фазова модуляція - це метод модуляції, при якому фаза несучої хвилі змінюється відповідно до сигналу, що модулює. Амплітуда і частота несучої залишаються постійними. За допомогою такої модуляції інформація кодується

зміною фази несучого сигналу. Модуль фазової модуляції залежить від різних факторів, включаючи швидкість передачі даних, спектральну ефективність, стійкість до перешкод, складність обладнання та інші технічні параметри. Фазова модуляція масово застосовується у цифрових системах зв'язку та є ефективним способом генерації цифрових сигналів.

Фільтр передачі з піднятим косинусом в даному випадку використовується для формування модулюючого сигналу. Він використовує спеціальну функцію, яка називається піднятим косинусом, для формування форми сигналу в часовій області.

Даний алгоритм реалізується в Simulink і складається з трьох блоків, представлених на рис. 2.5.

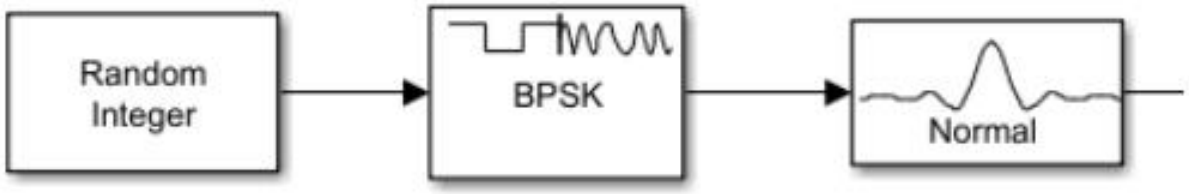

Рисунок 2.5 – Реалізація генерації сигналу в Simulink

«Random Integer Generation» - генерує рівномірно розподілені випадкові цілі числа в області значень [0, M-1], де M - заданий параметром розміру набору, у цьому випадку 1. Блок містить у собі один вихідний порт, який повертає вектор.

Блок «BPSK Modulator Baseband» – модуляція сигналу методом двійкової фазової маніпуляції. Вихідний сигнал є поданням модульованого сигналу в смузі частот. Вхідний сигнал – двійковий сигнал дискретного часу. Якщо вхідний біт дорівнює 0 або 1, то модульований символ дорівнює $exp(j\theta)$ або - $exp(j\theta)$ відповідно. Фазовий зсув у цьому випадку є $pi/4$.

Блок Raised Cosine Transmit Filter використовується для реалізації фільтра з піднятим косинусом, який є широко використовуваним фільтром в системах цифрового зв'язку. Він застосовується для формування імпульсів з обмеженою смугою пропускання, що необхідно для ефективної передачі цифрових даних.

На рис. 2.6 наведено результат тестування моделі системи у випадку з постійним сигналом на вході. Для цього на вхід блоку Signal Builder подається константне значення сигналу. Далі згенерований сигнал, рівень якого дорівнює константі (одиниці), подається на вхід до системи, з бажаним рівнем вихідного сигналу рівного двом.

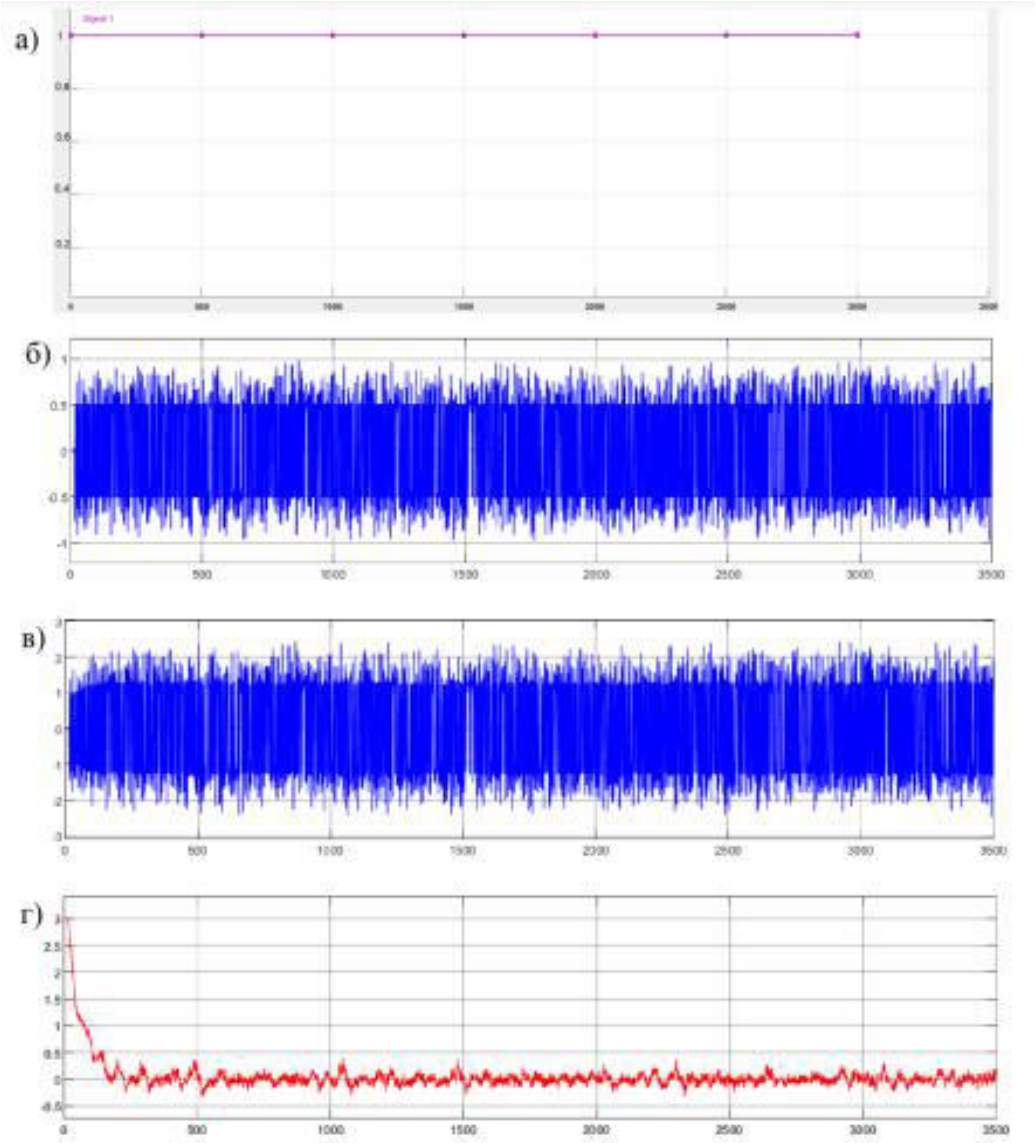

Рисунок 2.6 – Результат моделювання АРП для випадку постійного рівня вхідного сигналу

а) сигнал на вході блоку "Signal Builder"; б) згенерований сигнал рівня 1; в) сигнал на виході АРП; г) помилка

За результатами тестування видно, що сигнал збільшив свою амплітуду

бажаного рівня. Сигнал помилки прямує до нуля, що показує, що АРП ефективно регулює підсилення, щоб мінімізувати різницю між вихідним сигналом і бажаним рівнем.

Щоб подивитися, як система АРП поводиться в різних умовах, буде згенеровано ще один сигнал, у якого буде два типи перепаду рівня сигналу: з різкою зміною рівня і з плавною зміною рівня. Для цього також буде використовуватися блок Signal Builder, який дозволяє створити сигнал із вручну заданими змінами. Форма сигналу наведено нас рис. 2.7 а).

Після цього сигнал перемножується на згенерований вище сигнал блоком «Product» і на виході виходить сигнал, представлений на малюнку 2.7 б) який потім подається на вхід до системи.

На графіку результатів моделювання, наведеному на рис. 2.7 а), 500 нс і 1000 нс видно, що під час різкої зміни рівня вхідного сигналу з'являються стрибки у вихідному сигналі та у сигналі помилки, наведеному на рис. 2.7 г). Це відбувається через те, що коефіцієнт підсилення не встигає миттєво підлаштовуватись під новий рівень вхідного сигналу, що є нормою для систем АРП. Час, необхідний для адаптації коефіцієнта підсилення до нового рівня сигналу, дорівнює часу атаки в першому випадку та часу відновлення у другому випадку. На результатах тестування видно, що АРП швидко підлаштовується під новий рівень вхідного сигналу, з чого можна зробити висновок, що система АРП працює коректно.

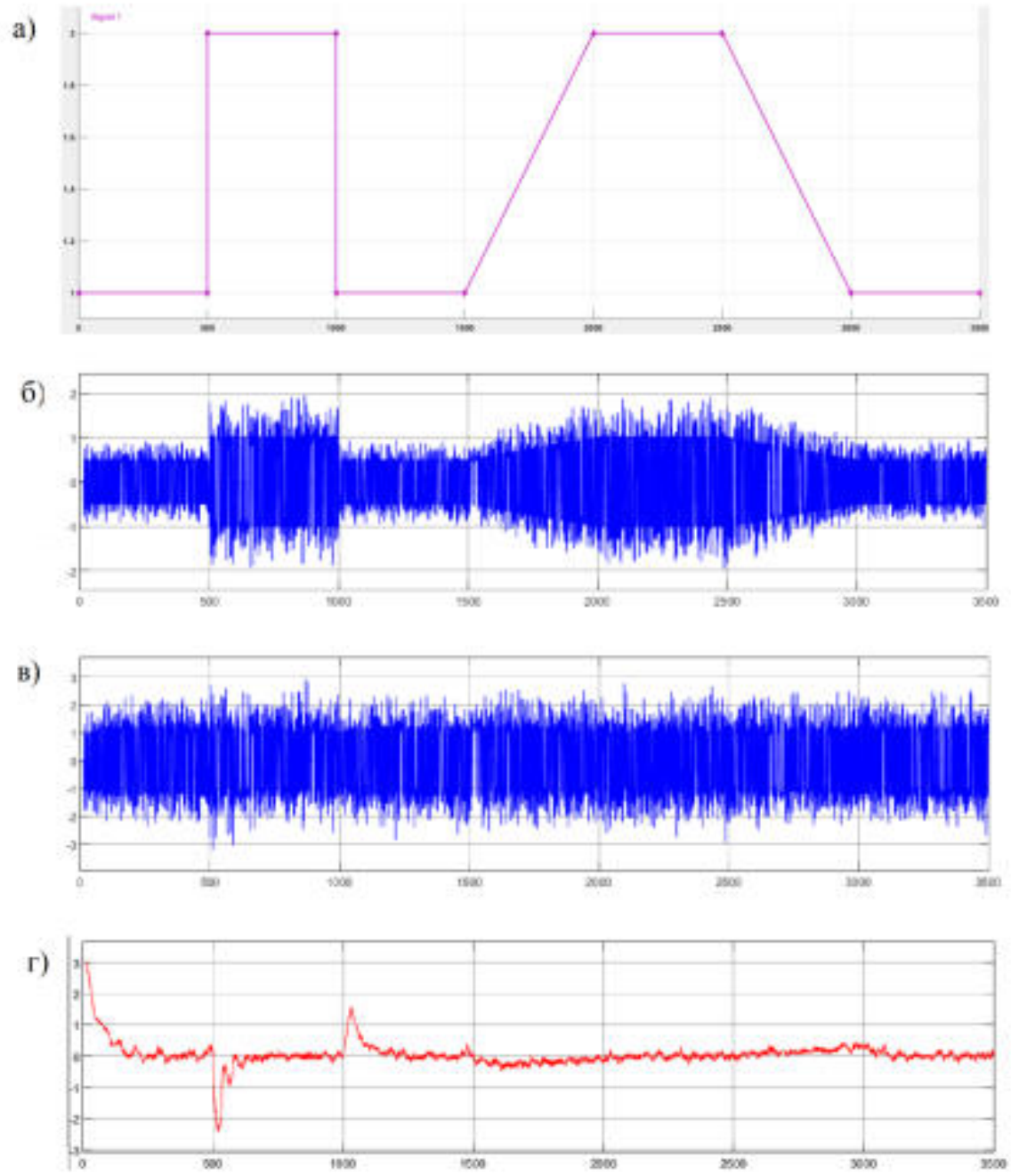

Рисунок 2.7 – Результат моделювання АРП для випадків стрибкоподібного та плавної зміни вхідного сигналу

а) сигнал на вході блоку "Signal Builder"; б) згенерований сигнал рівня 1; в) сигнал на виході АРП; г) помилка

При плавному збільшенні рівня вхідного сигналу практично не відбувається стрибків у вихідному сигналі та сигналі помилки. І вихідний сигнал плавно підлаштовується під бажаний рівень вихідного сигналу.

За результатами тестування з вхідним рівнем, рівним константі, з різким

збільшенням рівня та з плавним збільшенням рівня можна визначити, що АРП працює коректно.

2.6 Висновки до другого розділу

Було спроєктована модель пристрою АРП в середовищі Matlab/Simulink, обрано елементну базу ПЛІС. Розглянуто ключові етапи проєктування, від вибору елементної бази та методики проєктування до моделювання моделі АРП та її тестування.

Результати проєктування пристрою АРП дозволяють перейти до реалізації системи АРП на ПЛІС.

.

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Для реалізації АРП на базі ПЛІС використовуватиметься HDL Coder – продукт для генерації повноцінного Verilog та VHDL коду за Simulink моделями. Для генерації коду за допомогою HDL Coder необхідно виконати такі етапи:

– модифікація вихідної моделі з урахуванням особливості обраної апаратної платформи;

– коригування типів даних;

– генерація коду;

– синтез проєкту.

3.1 Модифікація моделі з урахуванням особливостей цільової апаратної платформи

На етапі модифікації моделі проводиться аналіз моделі на несумісні з HDL Coder елементи та їх заміна на сумісні аналоги. Аналіз моделі виконується за допомогою інструмента HDL Workflow Advisor.

3.1.1 Детектор потужності

Оскільки в HDL -кодері відсутні операції обчислення модуля комплексного числа і піднесення до квадрату, тому необхідно реалізувати операцію обчислення потужності з використанням сумісних з HDL -кодером блоків. Для цього необхідно розкласти комплексне число на дійсну та уявну складові, піднести складові у квадрат шляхом множення на себе, обчислити суму квадратів.

Схема детектора потужності Simulink після проведення згаданого перетворення показана на рис. 3.1.

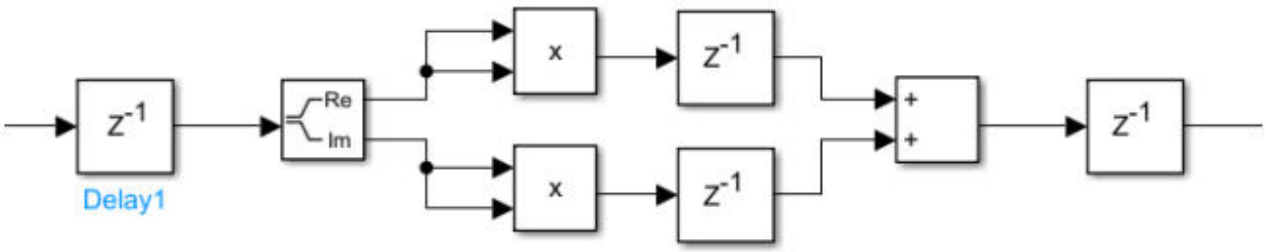

Рисунок 3.1 – Схема детектора потужності

Щоб підвищити стійкість роботи системи та отримати синхронну схему, проміжні результати обчислень повинні зберігатися в регістрах. Для реалізації регістру Simulink використовується блок затримки Delay.

3.1.2 Фільтр ковзного середнього

Для ефективної реалізації ковзного середнього на ПЛІС використовується пам'ять блоків підсумовування та арифметичного зсуву.

З формули (2.2) ковзне середнє можна обчислити за таким рекурентним співвідношенням [2]:

$$SMA_t = SMA_{t-1} - \frac{p_{t-n}}{n} + \frac{p_t}{n}, \quad (3.1)$$

де SMA_t - значення простого ковзного середнього в точці t; SMA_{t-1} - попереднє значення простого ковзного середнього; p_{t-n} - значення вихідної функції в точці $t-n$ (у випадку часового ряду, найбільш «раннє» значення вихідної функції, що використовується для очищення попереднього ковзного середнього); p_t - значення досліджуваної функції у точці t (у разі часового ряду, поточне - останнє значення).

Вираз (3.1) доречно використовувати, щоб оминути регулярне додавання усіх величин.

Як регістр використовується затримка. Через відсутність вбудованих блоків ПЛІС для виконання операції ділення, використовуються логічні елементи,

пам'ять та інші ресурси ПЛІС. Для ділення чисел використовують спеціальні алгоритми та більш складні архітектури схем. Для спрощення ділення в даній системі використовується зсув праворуч. Щоб використовувати зсув як розподіл, довжина вікна повинна бути ступенем числа 2.

Оскільки $512 = 2^9$ то ефективною реалізацією ділення на дане число є арифметичний зсув на 9 розрядів вправо. Після кожного блоку арифметичної операції має стояти затримка, щоб не було безперервного присвоювання, а всі стани зберігалися в регістри.

Отримана схема обчислення ковзного середнього, реалізована у Simulink, представлена на рис. 3.2.

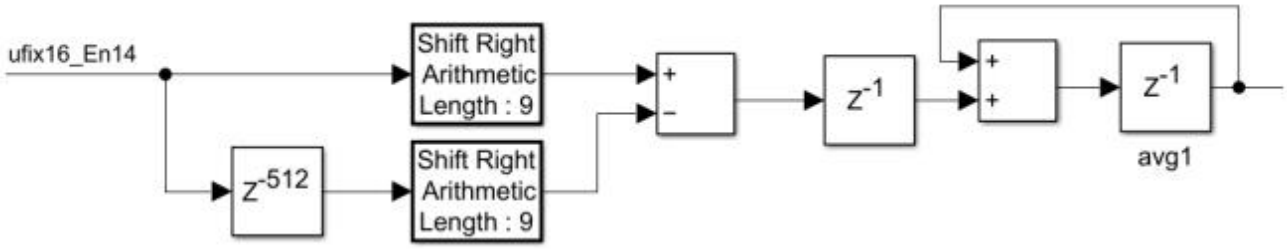

Рисунок 3.2 – Схема обчислення ковзного середнього

3.1.3 PI регулятор

Вихідний сигнал PI регулятора підпорядковується наступним рівнянням:

$$y_t = P_t + I_t, \tag{3.2}$$

$$P_t = K_P \cdot e_t, \tag{3.3}$$

$$I_t = I_{(t-1)} + K_i \cdot T_s \cdot e_{(k-1)}, \tag{3.4}$$

де y_t - вихідний сигнал; P_t – пропорційна частина; I_t – інтегральна частина; K_p - коефіцієнт пропорційної частини; K_i - коефіцієнт інтегральної частини; e_t - поточний сигнал помилки; T_s– постійна часу.

Реалізація PI регулятора відбувається згідно з формулами (3.2 – 3.4), так само, як і в попередніх блоках, після арифметичних операцій ставиться регістр

збереження проміжного результату, який у моделі Simulink представлений блоком затримки. Перетворення PI регулятора в Simulink представлено на рис. 3.3.

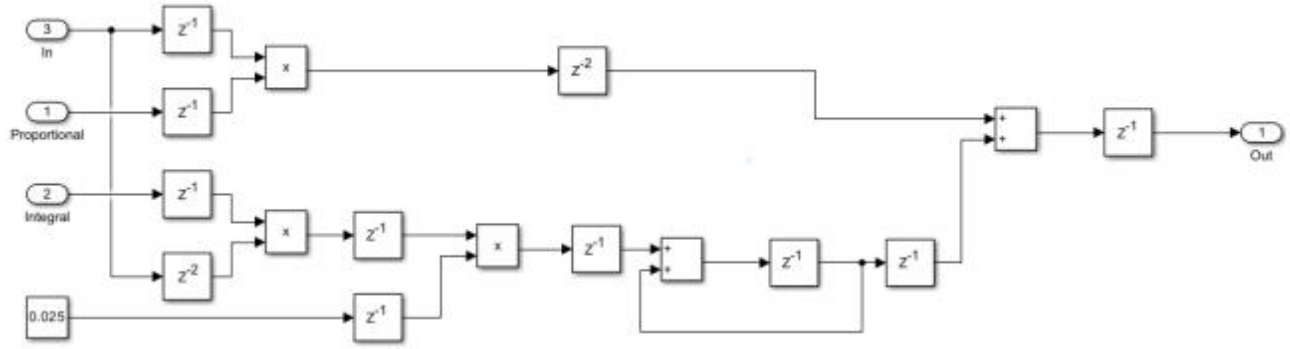

Рисунок 3.3 – Перетворення PI регулятора

3.2 Корекція типів даних

За замовчуванням при описі моделі в MATLAB і симуляції використовується тип даних з плаваючою крапкою подвійної точності - double, так як він є найбільш універсальним в Simulink і забезпечує високу точність і сумісність з більшістю функцій. Але в апаратній реалізації не можна безпосередньо використовувати цей тип через обмеження апаратури. Тип double займає 64 біти, що є досить великим обсягом пам'яті. Також операції з числами з плаваючою точкою займають більше часу та ресурсів, ніж з іншими типами даних.

У ПЛІС Xilinx для використання даного типу може використовуватися додаткова бібліотека модулів «Floating-Point Library», яка містить у собі реалізації функцій для роботи з типами даних з плаваючою крапкою, однак використання цієї бібліотеки може вимагати додаткові ресурси, що знижуватиме час роботи.

Найбільш поширеною формою Xilinx є формат даних з фіксованою крапкою, але має обмеження в точності.

Для оптимізації типів даних моделі в Simulink використовується інструмент « Fixed-Point Tool». Він має три режими роботи [9]:

– Optimized Fixed-Point Conversion (оптимізоване перетворення з фіксованою крапкою), при якому виконується автоматичне перетворення моделі

для використання оптимізованих типів даних з фіксованою крапкою;

– Iterative Fixed-Point Conversion (ітеративне перетворення з фіксованою крапкою), при цьому автоматично пропонуються типи даних з фіксованою крапкою і вручну можна задати типи даних, що використовуються в моделі;

– Range Collection (колекція діапазонів) дозволяє вивчити числове по ведення моделі до або після перетворення типів даних.

Для використання інструмента Fixed-Point Tool необхідно спочатку перетворити підсистему АРП в окремий файл Simulink з роздільною здатністю sxl. Для цього потрібно пройти всі перевірки системи на відповідність створення еталонної моделі. На рис. 3.4 представлені пройдені перевірки створення підсистеми.

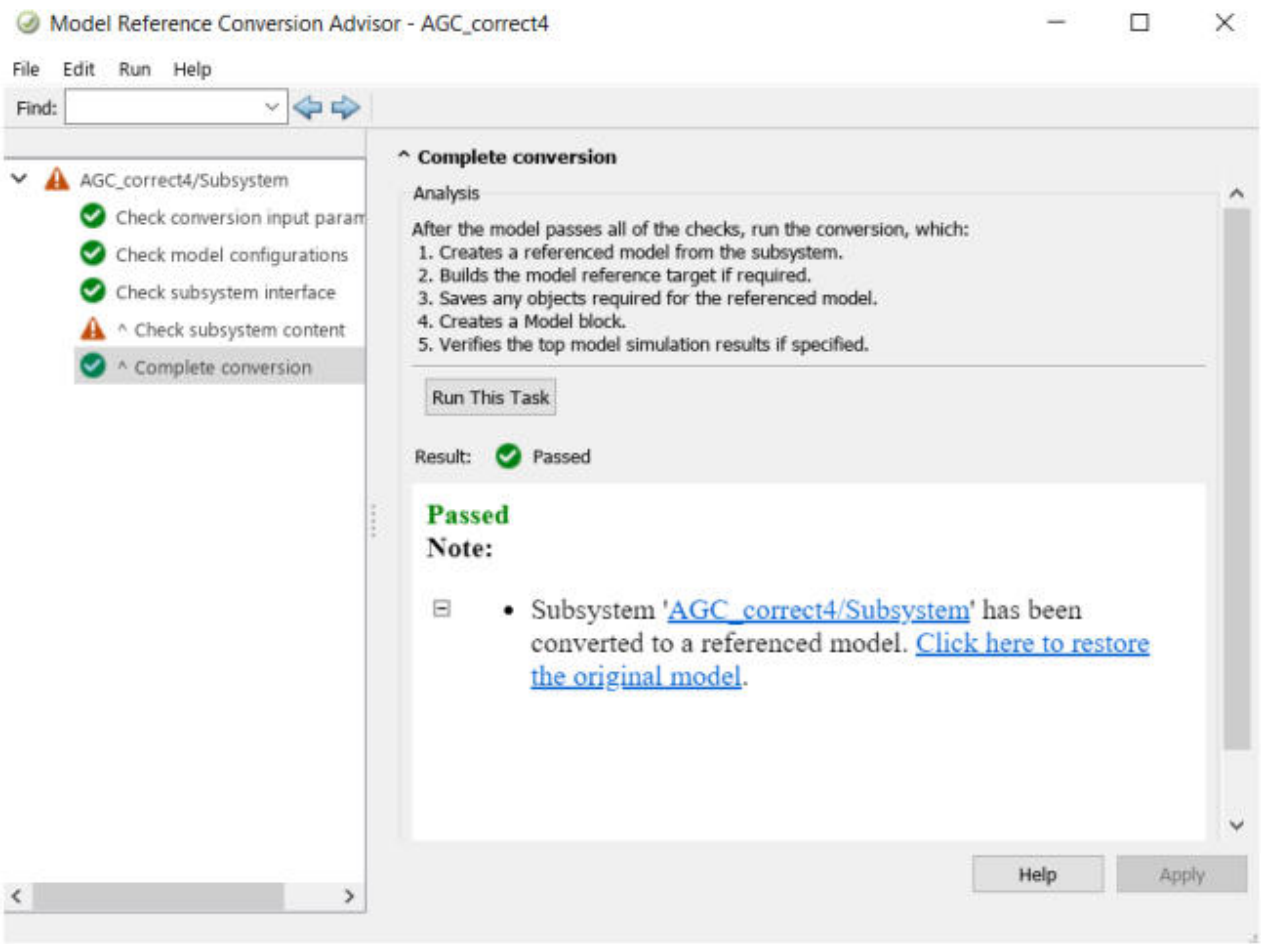

Рисунок 3.4 – Вікно інтерактивного перетворення моделі

Для більш точного вибору типів даних із фіксованою крапкою у цій системі використовується режим роботи «ітеративне перетворення». Він автоматизує загальні завдання зі збирання даних про мінімальний і максимальний діапазон під час моделювання для використання при автоматичному виборі типів даних з фіксованою крапкою для блоків. Також можна вказати тип даних для ключових блоків вручну [9].

Для підготовки моделі до перетворення типів даних створюється резервна версія моделі, яка перевіряється на сумісність з процесом перетворення та на наявність непідтримуваних конструкцій. На рис. 3.5 представлено звіт про підготовку моделі.

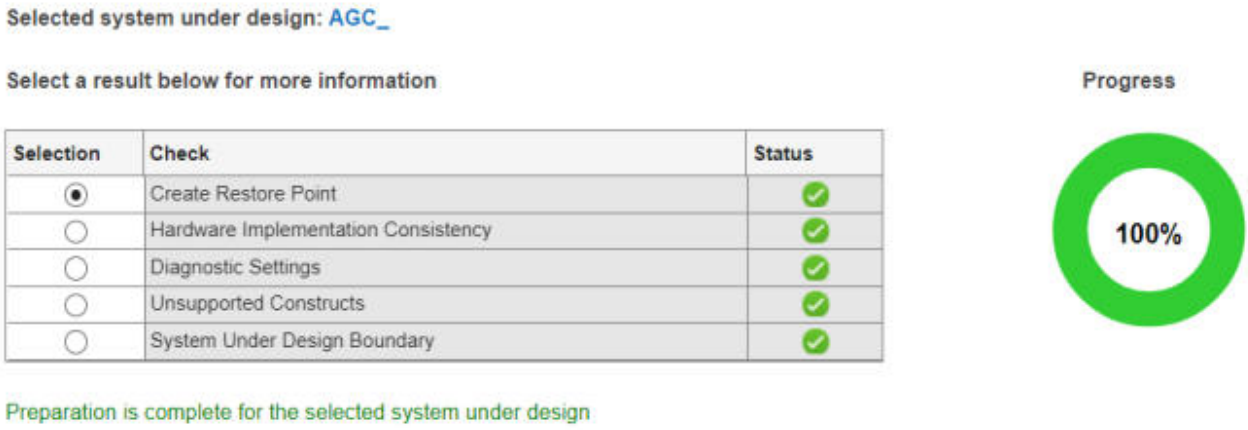

Рисунок 3.5 – Звіт про підготовку моделі до перетворення

Далі виконується збір мінімальних та максимальних діапазонів. ПЗ моделює модель у режимі перевизначення типів даних і зберігає результати у новому форматі. Перевизначення типів даних дозволяє виконати глобальне перевизначення типів даних з фіксованою крапкою, тим самим уникаючи ефектів квантування [9]. Результати збору діапазонів та нових типів даних, запропонованих ПЗ , представлені на рис. 3.6.

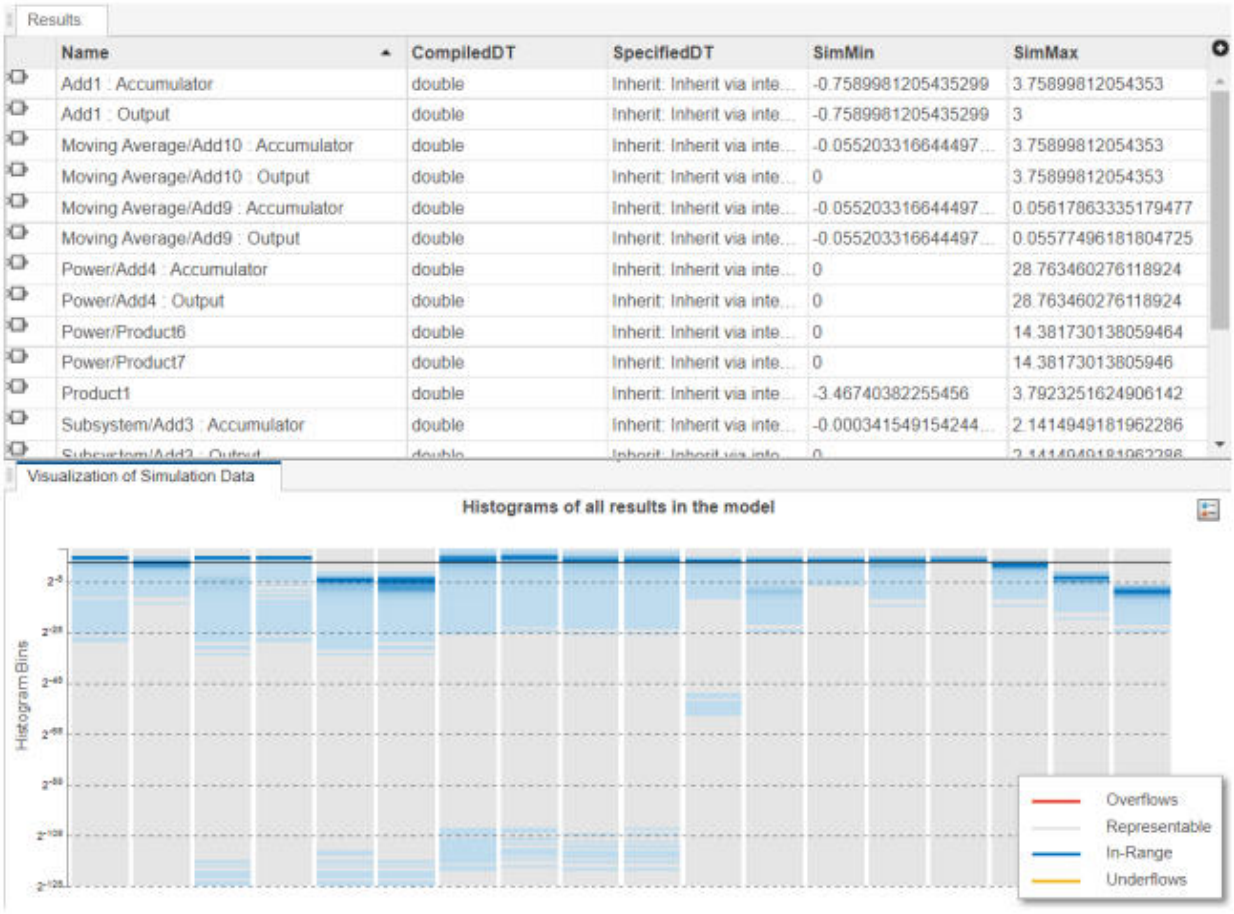

Рисунок 3.6 – Результати збору діапазонів та нових типів даних

У таблиці використані такі позначення стовпців:

– найменування блоку Simulink;

– «CompiledDT» – скомпільований тип даних;

– "SpecifiedDT" - заданий на даний момент тип даних блоку;

– "SimMin" - найменше значення блоку;

– "SimMax" - найбільше значення блоку;

Внизу рис. 3.6 представлена гістограма для наочнішого уявлення про діапазон чисел для кожного з блоків.

Гістограма показує розподіл чисел у різних точках моделі. Після застосування типів із фіксованою крапкою на гістограмі додатково відображаються потенційні випадки переповнення або відкидання молодших розрядів (рис. 3.7).

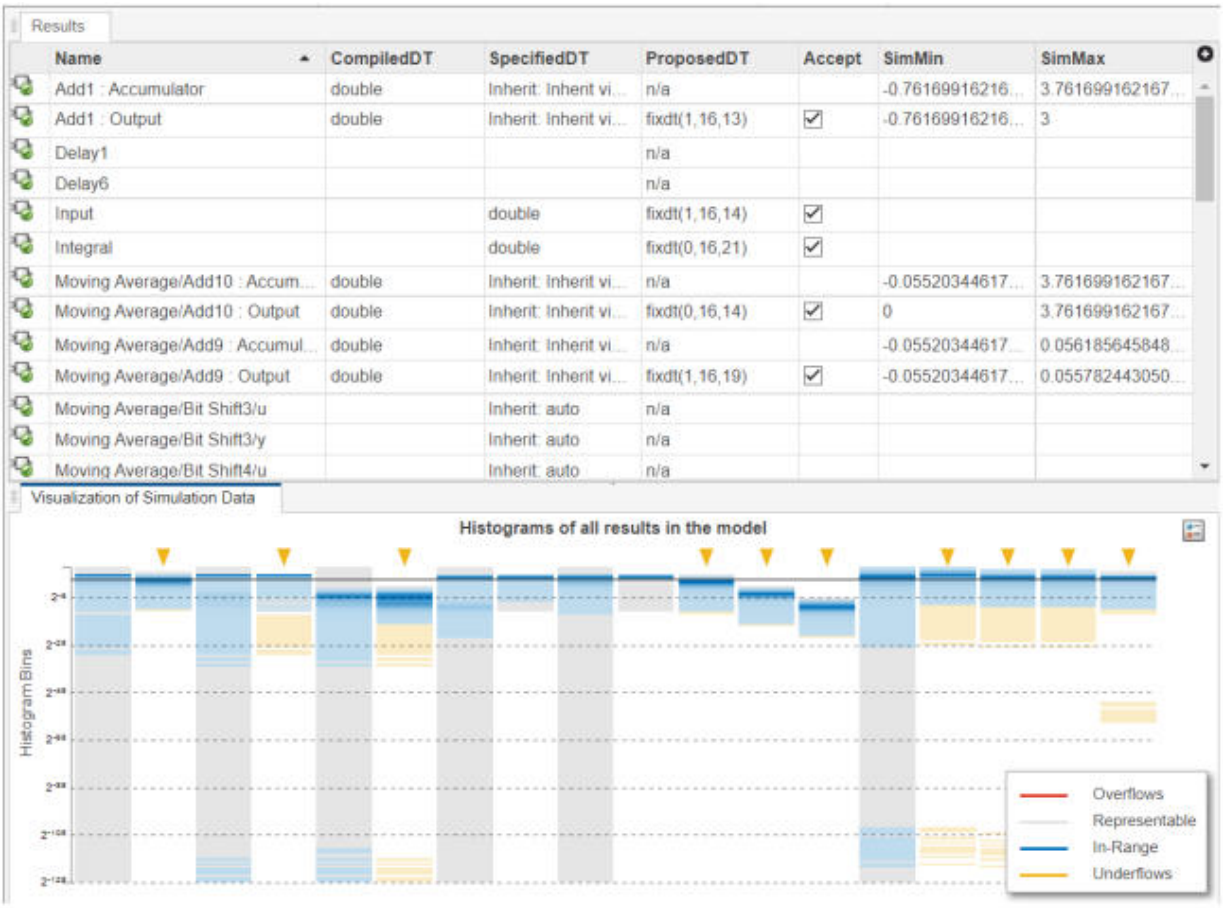

Рисунок 3.7 – Додавання розрядної сітки

Після застосування типів із фіксованою крапкою виконується повторне моделювання системи для аналізу продуктивності між оригінальною та перетвореною моделями. На рис. 3.8 представлена різниця між вихідними сигналами з фіксованою крапкою та з плаваючою крапкою.

Різниця між результатами моделювання становить менше, ніж 2%, що є цілком прийнятним.

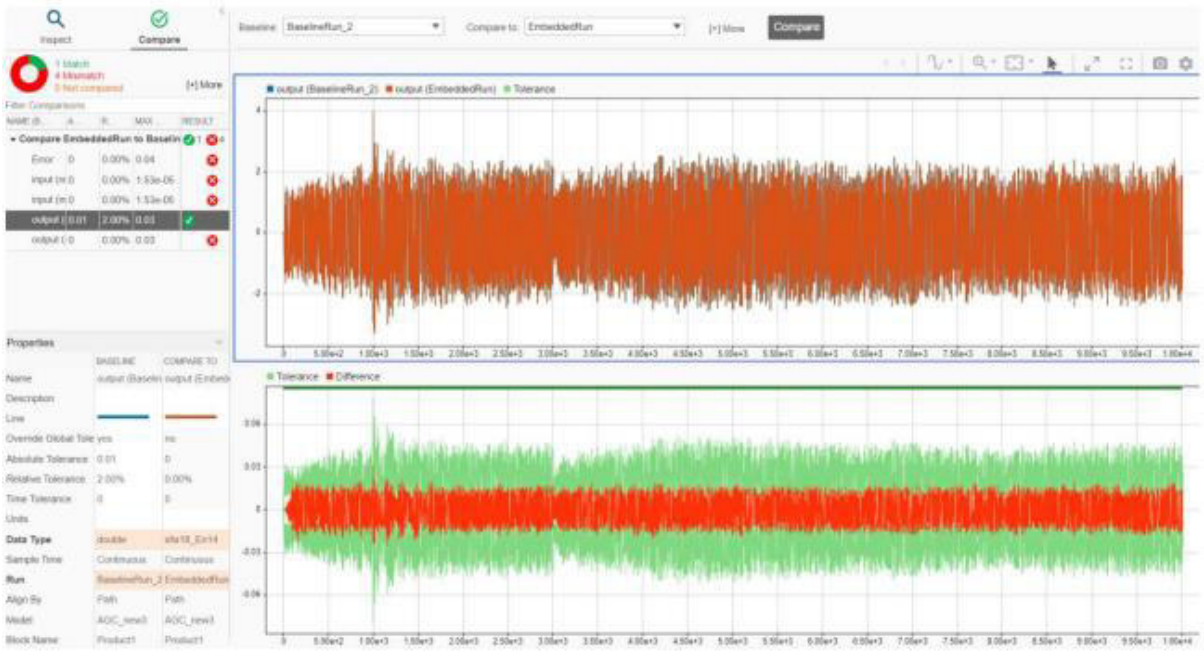

Рисунок 3.8 – Різниця між вихідними сигналами

3.3 Генерація коду мовою опису апаратури та синтез проекту

Для створення коду використовується інструмент HDL Coder. Після проходження всіх перевірок на сумісність з даним інструментом, генерується код мовою опису апаратури. У нашому проекті використовується мова Verilog. У ПЗ Vivado проект синтезується і на основі згенерованого коду синтезує RTL- схему (Register Transfer Level, рівень реєстрових передач) системи АРП, яка представлена на рис. 3.9.

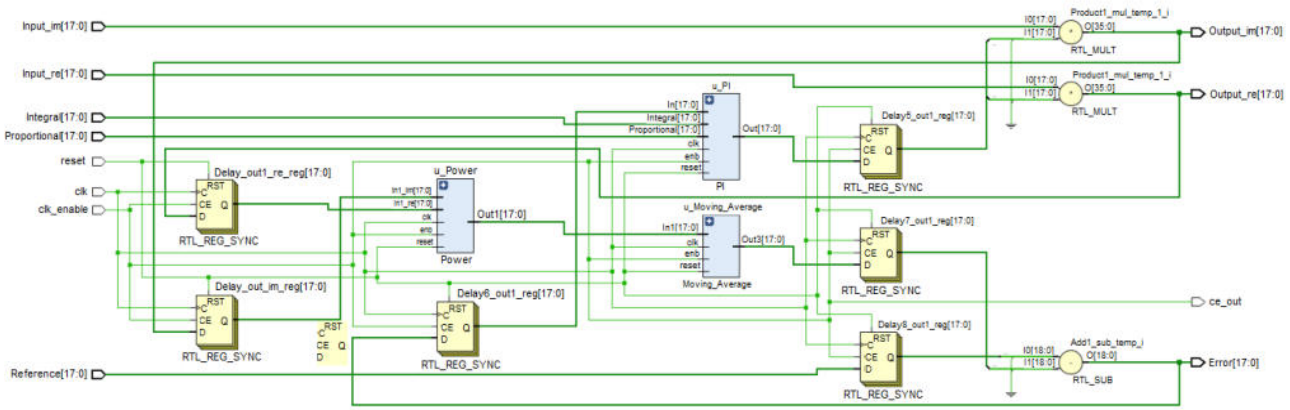

Рисунок 3.9 – RTL-схема системи АРП

Задля більшої зручності використання було створено IP-ядро системи АРП. Блок IP-ядра наведений на рис. 3.10.

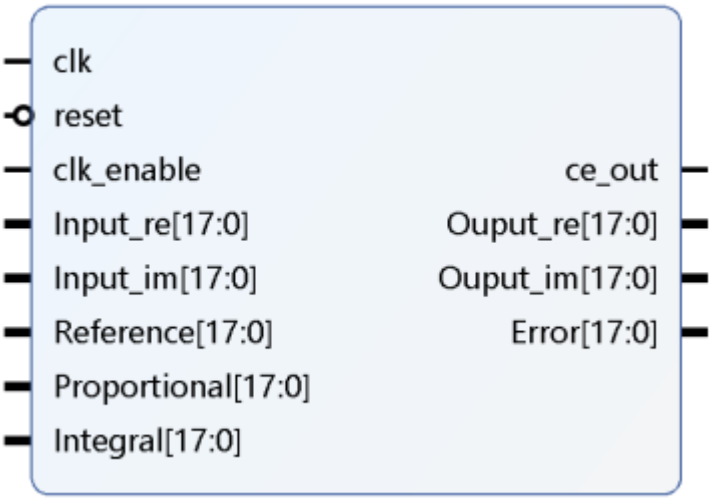

Рисунок 3.10 – Блок IP-ядра

3.4 Висновки до третього розділу

У розділі описано процес розробки системи АРП, включаючи реалізацію ключових компонентів АРП, корекцію типів даних, генерацію коду та синтез проекту.

Розглянуто інструменти Simulink, вони успішно застосовані у роботі.

У ході роботи реалізована та промодельована система АРП на ПЛІС.

Результати моделювання підтвердили працездатність розробленої системи.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом

Розроблювана комп'ютеризована система живиться від мережі 220 Вольт, таким чином в разі поломки, чи при неправильному користуванні можливе ураження працівника електричним струмом. В разі виникнення такої ситуації потрібно виконати наступні дії [19]:

1) Розірвати контакт потерпілого з провідником струму.

– підходити до потерпілого можна, ізолювавши ноги від струму (вдягнути гумове взуття, покласти на підлогу матеріал, який не проводить струм);

– розірвати зв'язок потерпілого з провідником струму. Для цього потрібно відключити живлення на приладі, або, в разі напруги до 1000 В, можна фізично відштовхнути потерпілого за допомогою предметів, що не проводять струм;

– відтягнути потерпілого від джерела струму за допомогою предметів що не проводять струм на відстань не менше 10 м.

2) Перевірити стан дихальної та серцево судинної системи:

– перевірити наявність дихання і пульсу у постраждалого;

– звільнити прохідність дихальних шляхів. Для цього потрібно підняти постраждалому підборіддя, відтягнути нижню щелепу і закинути голову назад. Якщо виникає підозра на перелом хребта, то ці дії робити заборонено.

3) Якщо у постраждалого відсутні дихання і пульс, йому потрібно надати первинну допомогу:

– непрямий масаж серця. Постраждалого потрібно положити на спину на рівну поверхню. Рятівник натискає по середині грудної клітки з частотою 60 натискань за 1 хвилину. При натисканнях грудна клітка має прогинатись на 5-6 см (рис. 4.1)

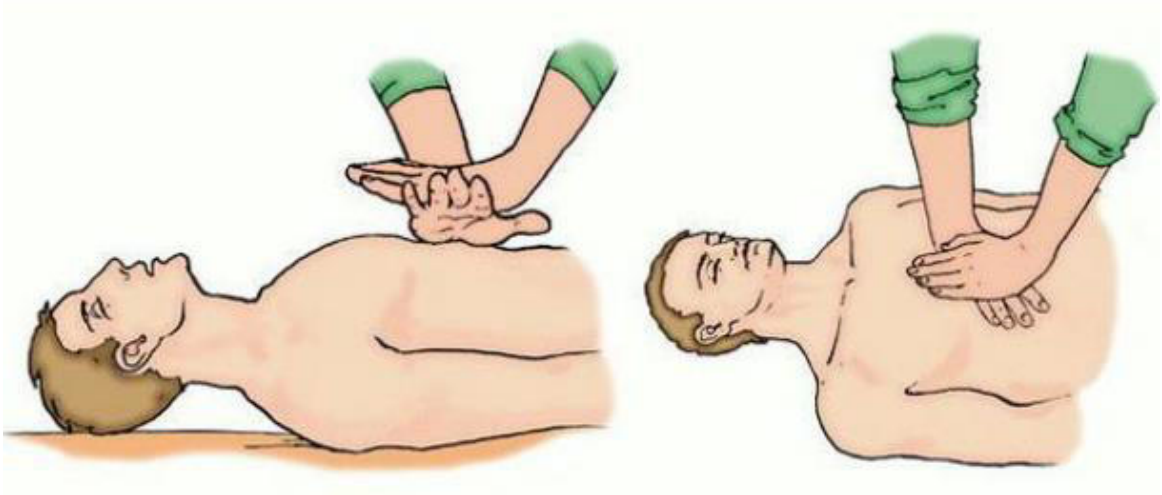

Рисунок 4.1 – Непрямий масаж серця

– Дихання рот в рот. Через кожні 12-15 натискань на грудну клітку здійснюється 2 повних видихи. При неможливості даного способу допустимо використовувати лише непрямий масаж серця див.рис.4.2.

Рисунок 4.2 – Проведення штучного дихання рот в рот

– Реанімаційні заходи проводять до приїзду швидкої допомоги або до появи ознак життя (шкіра набула рожевого кольору, з’явилися дихання і пульс). Постраждалого в якого з’явились ознаки життя потрібно перевернути на бік і в такому положенні чекати приїзду швидкої. Реанімаційні заходи потрібно проводити не більше 30 хв.

– Медикаментозне лікування (проводиться реанімаційною бригадою швидкої). У випадку, якщо наведені вище заходи не дали результату, то протягом 2-3 хвилин вводиться 1 мл адреналіну.

– Первинна обробка опіків. Якщо в наслідок ураження струму на тілі постраждалого з'являються опіки, то на них потрібно накласти суху марлеву пов'язку.

– Знеболюючі. Якщо постраждалий при свідомості то до приїзду швидкої йому можна дати знеболювальне і заспокійливе.

– Транспортування потерпілого потрібно здійснюватив лежачому положенні.

4.2 Методи боротьби з монотонністю праці на виробництві

У перекладі з грецької монотонність означає одноманітність. Монотонною вважається робота, яка відповідає таким ознакам: невелика кількість виконуваних дій, простота дій, часта повторюваність дій. Таким чином робота з розроблюваною комп'ютерною системою є монотонною, оскільки оператор повинен лише перемикатись між датчиками, слідкувати за їхніми показами і фіксувати їх, а також час від часу вносити поправки в налаштування [20].

В залежності від виду роботи і навантаження на організм людини виділяють два типи монотонності:

– рухова монотонність – характерна для робіт, де основне навантаження припадає на опорно – руховий апарат. Така робота характеризується одноманітними рухами і діями, а основне навантаження припадає на якусь обмежену групу м'язів. Прикладом таких робіт є прості верстатні роботи, робота на конвеєрі, ручні допоміжні роботи, тощо;

– сенсорна монотонність – характерна для робіт, пов'язаних з обробкою інформації. В них вимагається постійне напруження сенсорних органів, уваги, пам'яті. Прикладом таких робіт є тривале пасивне спостереження.

При тривалому виконанні монотонних робіт у працівників виникає втома, зменшується увага, погіршується якість виконаної роботи. Це все може призвести до помилкових дій і аварійних ситуацій. В довго строковій перспективі монотонна роботи може мати такі наслідки:

– швидкий розвиток втоми в зв’язку з локалізацією м’язових і нервових навантажень;

– гіподинамія;

– розвиток неврозів;

– незадоволення роботою і зниження творчої активності працівника;

– підвищена плинність кадрів.

Для боротьби з монотонністю існують два підходи:

– зробити роботу менш одноманітною. Для цього робочий процес потрібно переробити так, щоб кількість окремих робіт зменшилась, але вони стали більш складними, наприклад об’єднати кілька простих процесів в один складний. Також, можна регулювати навантаження в залежності від стану робітників, наприклад, при роботі за конвеєром можна пускати його швидше чи повільніше;

– додати сторонні подразники. Оскільки однією з причин монотонності є мала кількість подразників, то можна збільшити їх штучно, наприклад ввімкнувши на робочому місці музику. Звісно додавати додаткові подразники можна лише за умови, якщо вони не будуть відволікати працівників від основної роботи.

При роботі з розроблюваною системою перший метод не підходить, оскільки слідкувати за виміряними параметрами потрібно з певною частотою, яку не можна змінити.

Також потрібно чергувати монотонну працю з якоюсь іншою [20]. При зміні діяльності потрібно враховувати наступне:

– операції, що підбираються для чергування, не повинні завантажувати ті самі органи й системи організму. Доцільно чергувати фізичну роботу з розумовою, навантаження на орган зору з роботою, де беруть участь інші

аналізатори (слухові, дотикальні й ін.), роботу з керування механізмами — з ручною працею;

– при зміні форм діяльності необхідно враховувати вік працівників, тому що в молодих людей цей метод дає більший ефект, чим у людей похилого віку;

– систематичне чергування видів праці можна вводити лише тоді, коли працівники повністю опановують кожною з виконуваних операцій;

– робота, що сполучається, повинна бути помірною або легшою, порівняно з основною; – при сполученні робіт найкращого результату можна досягти коли більш інтенсивна робота заміняється менш інтенсивною, важча й складніша — простішою;

– чергуючі роботи повинні відрізнятися за характером робочої пози, навантаженням на різні ланки рухового апарата, забезпечувати перемикання діяльності з одних м’язових груп на інші. Статична напруга м’язів у відомих межах є стимулятором динамічної роботи. Це необхідно враховувати при сполученні робіт;

– залежно від швидкості перебудови робочого динамічного стереотипу (це залежить від складності робіт) чергування виконуваних робіт у часі може здійснюватися протягом робочої зміни, тижня або більше тривалих відрізків часу;

– на ділянках з несприятливими умовами праці сполучення операцій застосовується з метою скорочення часу впливу несприятливих факторів на організм людини.

4.3 Висновки до четвертого розділу

В цьому розділі проаналізовано важливі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, висвітлено питання надання долікарської допомоги при ураженні електричним струмом та методи боротьби з монотонністю праці на виробництві.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було проаналізовано алгоритми АРП. Встановлено, що для втілення на базі ПЛІС оптимальним є використання зворотного АРП, оскільки тут точніше налаштування, схема є простішою та має ширше використання.

Розроблено програмну модель АРП в Matlab/Simulink із вибором елементної бази ПЛІС та проведено її моделювання. Як методика проєктування використано МОП.

Проведено перетворення системи для апаратної реалізації. Розроблена апаратна реалізація АРП. Виконано синтез проекту включно із корекцією типів даних та генерацією коду.

Отримані результати під час симуляції засвідчили роботоздатність побудованої системи. Результати тестування показали, що розроблене АРП працює стабільно і забезпечує достатню точність регулювання.

Поставлені завдання проектування виконані, мета роботи успішно досягнута.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сучасна компонентна база електронних систем: навч. посібник для студентів ЗВО / І.М. Бондаренко, О.В. Бородін, В.П. Карнаушенко. Харків: ХНУРЕ, 2020. 268 с.
2. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп’ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с
3. Proakis J., Manolakis D. Digital Signal Processing :4th Edition. London: Pearson, 2013. 1019 рю
4. Куцик А., Місюренко В. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах: Навчальний посібник. Львів: Львівська політехніка, 2011. 200 с..
5. Intel завершила придбання корпорації Altera. URL: https://www.overclockers.ua/news/hardware/2015-12-29/117241/ (дата звертання: 27.04.2026).
6. Офіційний сайт фірми "Xilinx". URL: http://www.xilinx.com/ products (дата звертання: 27.04.2026)
7. Simulink // MATLAB: офіційний сайт. URL: https://www.mathworks.com/products/simulink.html (дата звертання: 29.04.2026).
8. Види ковзних середніх (SMA, EMA, WMA). URL: https://berg.com.ua/indicators-overlays/types-of-moving-averages/ (дата звертання: 30.04.2026).
9. Use the Fixed-Point Tool to Rescale a Fixed-Point Model // MATLAB: офіційний сайт. URL: https://www.mathworks.com/help/fixedpoint/ug/fixed-point-tool.html (дата звертання: 02.05.2026).
10. Модельно-орієнтоване проектування лінійки продуктів. URL: https://visuresolutions.com/uk/посібник-з-PLM/інженерія-лінійки-продуктів-на-основі-моделі/ (дата звертання: 03.05.2026).

11. Обробка цифрових сигналів на ПЛІС в радіотехнічних системах: Лабораторний практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; автори: С.Б.Могильний, О.Ю.Мирончук. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 87 с.

12. Компонентна база телекомунікаційних і радіотехнічних систем (частина 1): навчальний посібник / В. М. Кичака, І. В. Слободяна, В. В. Кичака – Вінниця: ВНТУ, 2022. 131 с.

13. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

14. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

15. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.

16. Yatsyshyn V., Pastukh O., Palamar A., Zharovskyy R. Technology of relational database management systems performance evaluation during computer systems design. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2023. Vol. 109, No 1. P. 54–65

17. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304

18. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies:

Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022), Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204

19. Толок А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. 2011. 215 с.

20. Основи охорони праці: Підручник.; 3-те видання, доповнене та перероблене / За ред. К. Н Ткачука. К.: Основа, 2011. 480 с.

Додаток А.

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп’ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп’ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“___” _____2026 р

КОМП’ЮТЕРНА СИСТЕМА ЦИФРОВОГО АВТОМАТИЧНОГО ПІДСИЛЕННЯ СИГНАЛУ НА БАЗІ ПЛІС

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на _*8*_ листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп’ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»	«ВИКОНАВЕЦЬ»
Керівник кваліфікаційної роботи	Студентка групи СІз-41
_____ к.т.н., доц. Баран І.О.	_____ Сеник С.Я.
«____» _____ 2026 р.	«____» _____ 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп’ютерна система цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.601.00.00

1.2 Виконавець

Студентка групи СІз-41, факультету комп’ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп’ютерної інженерії, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Сеник Софія Ярославівна.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№ 4/9-222 від 08.05.2026 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 11.05.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 15.06.2026 р.

1.5 Порядок оформлення та пред’явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ІСО, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред’явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред’явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп’ютерна система цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС призначена для компенсування зміни амплітуди сигналу (шляхом його підсилення) в різних умовах роботи, таких як зміна рівня шумів, зміна довжини переданого сигналу та згасання сигналу.

До складу системи повинні входити як апаратна складова, так і програмна.

Доцільність створення системи зумовлена реалізацією потреби зниження енергоспоживання, що важливо для портативних пристроїв і систем з обмеженою енергетичною ємністю, забезпеченням живучості, гнучкості і продуктивності системи, так як реконфігурованість ПЛІС дозволяє змінювати налаштування системи без необхідності фізичної обробки обладнання. Також реалізація АРП на базі ПЛІС значно знижує вартість розробки.

2.2 Мета створення системи

Основна мета розробки комп’ютерної системи цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС полягає у створенні системи на базі ПЛІС для реалізації АРП, яка дозволяє змінювати налаштування системи без необхідності фізичної обробки обладнання та забезпечення продуктивності, гнучкості та інтеграції з іншими функціями.

Для того, щоб досягти поставленої мети роботи, необхідно розв’язати наступні задачі:

- огляд предметної галузі, аналіз систем та алгоритмів АРП;
- вибір алгоритму АРП для реалізації;
- реалізація моделі АРП в середовищі моделювання MATLAB та її

тестування;

– генерація опису розробленої системи АРП мовою Verilog;

– підготовка IP АРП.

2.3 Характеристика об'єкту

2.3.1 Основні задачі та функції об’єкту

Основні функції, що вимагають реалізації в комп’ютерній системі цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС, що розробляється:

– вимірювання рівня вхідного сигналу;

– обчислення сигналу помилки;

– налаштування підсилення;

– висока швидкість перетворення існуючої інформації через програмне управління;

– застосування в складних системах передачі та обробки інформації.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна бути спроектована так, щоб до її складу без особливих зусиль можна інтегрувати різні елементи управління, а також нові пристрої, не порушуючи при цьому структуру системи.

У проектованій системі повинні бути забезпечені:

– перетворення амплітуди сигналу на величину, пропорційну його потужності або амплітуді;

– виділення потрібного діапазону частот і придушення небажаних сигналів чи шумів;

– керування змінним підсиленням усередині підсилювача;

– продуктивність роботи програмного забезпечення;

– стабільність зворотного зв'язку.

– захист від перевантаження.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система має наступні функціональні блоки:

– детектор потужності;
– ФНЧ (фільтр низьких частот);
– детектор помилки;
– фільтр зворотного зв'язку та підсилювач.

Для прийому та обробки даних використовується ПЛІС.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв’язку між компонентами системи

Пропоноване рішення застосовує потокову передачу даних та HDL-оптимізовані блоки.

3.1.3 Вимоги по діагностуванню системи

Діагностика комп’ютерної системи цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС відбувається у відповідності до затвердженого розкладу профілактичних заходів.

3.1.4 Перспективи розвитку, модернізація системи

Перспективами розвитку та модернізації комп’ютерної системи цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС є можливість подальшого розширення функціоналу за рахунок використання сучасніших ПЛІС.

Існуюча апаратна складова системи при цьому не повинна зазнавати значних змін, а програмне забезпечення системи повинно передбачати гнучкість та здатність до масштабування.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Комп’ютерна система цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС повинна бути захищена на як на фізичному, так і на програмному рівнях. Фізичний рівень захисту повинен забезпечувати надійність щодо доступу до апаратного забезпечення, зокрема ПЛІС та під’єднаних до нього компонентів.

Програмний рівень захисту повинен передбачати захист від сторонніх втручань і впливів.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функціональні вимоги та задачі, які повинна реалізовувати комп’ютерну систему цифрового автоматичного підсилення сигналу на базі ПЛІС полягають в наступному:

– відстеження рівня сигналу на вході підсилювача та АРП для досягнення необхідного рівня на виході;
– компенсування зміни амплітуди сигналу в різних умовах роботи
– припинення роботи у разі виявлення несправностей;
– надання точних та адекватних результатів на запит користувачів;
– забезпечення зручності використання програмної частини.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

– ПЛІС Xilinx

3.1.8 Вимоги до програмного забезпечення

– HDL Workflow Advisor;
– пакет Vivado Design Suite
– мова опису апаратури Verilog;
– система моделювання Matlab/Simulink.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

– пояснювальної записки;
– графічного матеріалу:

1 Структурна схема та Реалізація моделі АРП зі зворотним зв'язком у Simulink
2 Структурні схеми складових елементів системи
3 Скріншоти вікон роботи інструменту «Fixed-Point Tool» в Simulink
4 RTL-схема системи АРП та Блок IP-ядра

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

5 Техніко-економічні показники

Планована собівартість комп'ютеризованої системи декодування кадрів інформації повинна становити не більше 15 000 грн.

*Примітка: собівартість системи може змінюватись під час розрахунку в процесі розробки.

6 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	11.05 – 12.05
2.	Підбір джерел про системи автоматичного регулювання підсилення сигналу на ПЛІСі	12.05 – 14.05
3.	Опрацювання літературних джерел	15.05 – 17.05
4.	Виконання дослідження щодо моделювання системи цифрового автоматичного регулювання підсилення сигналу на базі ПЛІС	18.05 – 20.05
5.	Написання програмного коду	21.05 – 22.05
6.	Оформлення розділу «Аналіз технічного завдання»	23.05 – 24.05
7.	Оформлення розділу «Проектна частина»	25.05 – 26.05
8.	Оформлення розділу «Практична частина»	27.05 – 28.05
9.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	26.05 – 30.05
10.	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	01.06 – 02.06
11.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	02.06 – 6.06
12.	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	09.06 – 13.06
13.	Захист кваліфікаційної роботи	18.06

7 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.