

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Науково-Навчальний інститут атомної та теплової енергетики
Кафедра автоматизації енергетичних процесів

«На правах рукопису»
УДК 62-533.66

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____/ **Володимир ВОЛОЩУК**/
“ ____ ” _____ 2022 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою
*“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології
кібер-енергетичних систем”*
зі спеціальності
*151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані
технології”*

на тему: Полігон імітаційного SIL-моделювання ІВС теплоенергетичних
режимних параметрів

Виконав: студент ІІ курсу, групи ТА-11мп

Лядишев Дмитро Костянтинівич

(прізвище ім’я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доц., к.т.н, Батюк С. Г.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”

Інститут Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра Автоматизації енергетичних процесів

Рівень вищої освіти – другий(магістерський)

Спеціальність 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Освітньо-професійна програма (“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем”)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) /ВОЛОДИМИР ВОЛОЩУК/

“ “ _____ (ім’я, ПРІЗВИЩЕ)
_____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Лядишева Дмитра Костянтиновича

(прізвище, ім’я, по-батькові)

1. Тема дисертації Полігон імітаційного SIL-моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів

науковий керівник дисертації Батюк Сергій Георгійович, доц., к.т.н.

(прізвище, ім’я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» 11 2022 р. № 4067-с

2. Термін подання студентом дисертації «14» грудня 2022 р.

3. Об’єкт дослідження Полігон імітаційного SIL-моделювання алгоритмів фільтрації в ІВС теплоенергетичних режимних параметрів.

4. Вихідні дані віртуальний стенд для моделювання фільтрації в об’єктах управління.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити огляд сучасного стану проблеми, існуючих рішень, дослідження та розробка алгоритмів фільтрації для

використання в навчальних SIL – полігонах.

6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
Електронна презентація.

7. Орієнтований перелік публікацій
2 статті, 1 тези.

8. Дата видачі завдання " 01 " вересня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	01.09.2021	
2	<i>Дослідження літератури</i>	05.06.2022	
3	<i>Дослідження програмного забезпечення</i>	08.10.2022	
4	<i>Опис базових методів фільтрації</i>	20.10.2022	
5	<i>Розробка та моделювання SIL - полігону</i>	17.11.2022	
6	<i>Опис функціоналу Codesys частини полігону</i>	14.11.2022	
7	<i>Опис функціоналу MatLab частини полігону</i>	16.11.2022	
8	<i>Опис функціоналу WebStudio частини полігону</i>	27.11.2022	
9	<i>Створення стартап-проекту</i>	01.10.2022	
10	<i>Перевірка на плагіат</i>	16.12.2022	
11	<i>Підпис керівника магістерської дисертації</i>		
12	<i>Попередній захист магістерської дисертації</i>	17.12.2022	
13	<i>Захист</i>		

Студент

_____ (підпис)

_____ (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

_____ (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1. Огляд ІВС теплоенергетичних режимних параметрів	14
1.1. Перелік типових ВК ІВС	16
1.2. Схеми структурні ВК	19
1.3. Схеми принципів електричні ВК	26
1.4. Схеми структурні ПТЗ САР	31
1.5. Функції первинної та вторинної обробки даних в ПЛК	34
1.5.1. Типові функції первинної обробки даних в ПЛК	34
1.5.2. Постановка завдання	35
1.5.4. Похибка вимірювання	36
1.5.5. Вплив ППВ і СПВ на роботу САР	42
1.5.6. Загальні висновки щодо фільтрації	45
2. Огляд задач і способів фільтрації сигналів і даних в промисловості	49
2.1. Основні цілі фільтрації	49
2.2. Найбільш поширені фільтри в промисловості	59
2.3. Методи видалення шуму	60
2.4. Фільтри для видалення викидів	70
2.5. Інші фільтри	73
2.6. Перспективи застосування фільтрів:	74
2.7. Особливі випадки фільтрації	75
3. Функціональне імітаційне моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів в СКМ MatLab Simulink	85
4. Реалізація функцій первинної обробки сигналів в софтПЛК CoDeSys	100
5. Структурне імітаційне моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів на SIL-полігоні Simulink - CoDeSys - WebStudio	111
6. Розроблення стартап-проєкту веб-порталу "Time Remaining"	126
6.1. Інформаційна карта проєкту	126
6.2. Формування команди стартапу	128
6.3. Морфологічна карта	132
6.4. Синхронізація завдань	140
6.5. Бізнес модель	141

6.6.	Розроблення ринкової стратегії проєкту	142
6.7.	Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	144
6.8.	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту	146
6.9.	Виробничий план	150
6.10.	Організаційний план	156
ВИСНОВКИ		160
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....		161
ДОДАТОК.....		162

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

SIL – Software-in-the-Loop

АСР – автоматична система регулювання

АСУ – автоматизована система управління

АТК – автоматизований технологічний комплекс

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ВК – вимірювальний канал

ІВС – інформаційно-вимірювальна система

ПЛК – програмований логічний контролер

ПТКЗА – програмно технічний комплекс засобів автоматизації

САР – система автоматичного регулювання

СКВ – середнє квадратичне відхилення

ФВЧ – фільтр високих частот

ФНЧ – фільтр низьких частот

ФСЧ – фільтр смуги частот

ЦАП – цифрово-аналоговий перетворювач

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному світі розповсюдження інформаційних технологій набуває значного масштабу, з кожним роком створюють нові підприємства, які обладнані сучасними засобами автоматизації. Також, слід зазначити, що й стандарти зв'язку та передачі даних намагаються встигати за новими трендами та потребами.

Зараз особливо цінується швидкість і якість передачі інформації оскільки з кожним роком збільшується кількість пристроїв, які допомагають нам у житті наприклад комп'ютери, смартфони, камери відеоспостереження, різноманітні датчики, та різноманітні виконавчі механізми, які нас оточують.

Всі ці пристрої отримують та передають сигнали для керування та моніторингу станів, тому слід зазначити, що будь-який електричний сигнал, який передається через дроти або за допомогою радіохвиль, створює в просторі певні перешкоди різного характеру. Ці перешкоди можуть заважати передачі інших сигналів, тому стає дуже актуальною задачею вирішення фільтрації та пригнічення перешкод, що створюють пристрої та інші чинники.

Важливою задачею в промисловості є фільтрація, оскільки саме там необхідно постійно передавати та отримувати точні дані. Їх передають датчики та контролери. Зараз, як і раніше, галузі промисловості переходять на автоматизоване управління лініями та конвеєрами за допомогою передачі керування деяких процесів від людей до ПЛК, які можуть отримувати сигнали одночасно з сотень датчиків та керувати ВМ-ми в реальному часі.

Об'єктом дослідження є принципи та алгоритми фільтрації, які застосовуються в промисловості.

Предметом дослідження є імітаційне моделювання та реалізація ІВС теплоенергетичних режимних параметрів.

Мета роботи:

- 1) зробити огляд ІВС теплоенергетичних режимних параметрів;
- 2) зробити огляд задач і способів фільтрації сигналів і даних в промисловості;
- 3) виконати функціональне імітаційне моделювання ІВС в СКМ Matlab Simulink;
- 4) виконати реалізацію функцій первинної обробки сигналів в софтПЛК CoDeSys;
- 5) виконати структурне імітаційне моделювання ІВС в програмно-технічному SIL-симуляторі на платформі Simulink – CoDeSys – WebStudio.

Наукова новизна полягає у наступному:

1. Розроблено полігон імітаційного SIL-моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів для використання в навчальному процесі кафедри.
2. Проаналізовано, що внутрішня програмна фільтрація в контролерах є неефективна для сигналів в замкненому контурі регулювання.
3. Досліджено, що апаратна фільтрація є не достатньо ефективна, так як вона пропускає низькочастотну перешкоду, яка накладається на корисний сигнал регулювання в ПЛК.

Практична цінність результатів роботи:

1. Полігон планується до використання в навчальному процесі кафедри АЕП (дисципліна «Інформаційно-вимірювальні системи»).
2. Полігон може бути використаний в якості програмно-технічного симулятора при проектуванні, модернізації і тиражуванні промислової АСУТП.

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи плануються до оприлюднення на XX міжнародній науково-практичній конференції аспірантів,

магістрів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» (Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського).

Тези:

Батюк С.Г., Лядишев Д.К. Полігон імітаційного SIL-моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів.

Публікації. Основні результати дисертації висвітлені в двох статтях в фахових виданнях.

1. Батюк С.Г., Лядишев Д.К. Імітаційне моделювання теплоенергетичних автоматизованих технологічних комплексів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2022. Том 33 (72). № 4. С. 39-47.
2. Батюк С.Г., Лядишев Д.К. Моделювання фільтрації в теплоенергетичних системах автоматичного регулювання. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2022. Том 33 (72). № 4. С. 48-55.

Структура та обсяг роботи. Магістерська дисертація складається зі вступу, шести розділів та висновків.

У Вступі подано загальну характеристику роботи, зроблено оцінку сучасного стану проблеми, обґрунтовано актуальність напрямку досліджень, сформульовано мету і задачі досліджень, показано наукову новизну отриманих результатів і практичну цінність роботи, наведено відомості про апробацію результатів і їхнє впровадження.

У першому розділі зроблено огляд ІВС теплоенергетичних режимних параметрів.

У другому розділі зроблено огляд задач і способів фільтрації сигналів і даних в промисловості.

У третьому розділі виконано функціональне імітаційне моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів в СКМ MatLab Simulink.

У четвертому розділі розроблено реалізацію функцій первинної обробки сигналів в софтПЛК CoDeSys.

У п'ятому розділі виконано структурне імітаційне моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів в програмно-технічному SIL-симуляторі на платформі Simulink – CoDeSys – WebStudio.

У шостому розділі розроблено стартап проєкт для веб-порталу «Time Remaining»

У Висновках представлені основні теоретичні і практичні результати дисертації.

Дисципліна "Інформаційно-вимірювальні системи" призначена для вивчення технічних і програмних засобів інформаційно-вимірювальних систем в складі промислових АСУТП.

Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК інженерних теплоенергетичних режимних параметрів призначений для: 1) використання в навчальному процесі кафедри АТЕП; 2) використання в якості програмно-технічного симулятора при проєктуванні, модернізації і тиражуванні АСУТП інженерних систем.

Полігон імітаційного SIL-моделювання АТК теплоенергетичних режимних параметрів підтримує виконання віртуальних лабораторних робіт з дисциплін «Інформаційно-вимірювальні системи», «Автоматизовані системи управління», «Супервізорні засоби автоматизації».

Полігон надає єдиний програмно-модельний інструментарій. В полігоні демонструються різні алгоритми фільтрації та наводяться їхні переваги та недоліки.

Технологічний об'єкт управління (ТОУ) – це технологічний агрегат, який автоматизується. Структурно ТОУ складається з окремих об'єктів управління (ОУ) – каналів передачі дії «регульовальна дія – регульований параметр». Сучасні автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП; надалі просто АСУ) ТОУ є дворівневими. Програмно-технічною платформою контролерного (нижнього) рівня АСУ є програмовані логічні контролери (ПЛК). Бізнес-логіка (неперервне регулювання і програмно-логічне управління) в ПЛК реалізується функціональними блоками (ФБ).

Програмно-технічною платформою супервізорного (верхнього) рівня АСУ є HMI/SCADA-системи (надалі системи ЛМІ – людино-машинного інтерфейсу). Візуалізація в ЛМІ реалізується графічними вікнами з вставленими і анімованими графічними елементами і контролами (меню, мнемосхеми, аларми, тренди, рецепти, розклади, звіти тощо). Оператор технологічного процесу (ОТП) через ЛМІ реалізує автоматизоване (за участі людини) управління технологічними процесами ТОУ. Автоматизований технологічний комплекс (АТК) – це ТОУ з АСУ, якою ОТП управляє цим ТОУ. АТК – це сукупність систем автоматичного регулювання (САР).

Автоматична система регулювання (АСР) – це сукупність програмно-технічних засобів (сенсори; засоби візуалізації; регулятори; актуатори) в складі САР. АСУ – це сукупність АСР. САР – це ОУ (як канал передачі дії) з АСР, яка управляє цим ОУ. САУ – система автоматичного управління, яка об'єднує декілька функціонально взаємодіючих САР.

Сучасна АСУ функціонально поділяється на дві підсистеми: інформаційно-вимірювальна система (ІВС) і регульовальна-виконавча система (РВС).

ІВС – це сукупність вимірювальних каналів (ВК) технологічних параметрів (сенсори або давачі Д; реєструючі прилади РП; вхідні модулі – аналогово-цифрові перетворювачі АЦП – ПЛК).

РВС – це сукупність регулювально-виконавчих каналів (РВК) технологічних параметрів (ФБ в ПЛК; вихідні модулі – цифро-аналогові перетворювачі ЦАП – ПЛК; актуатори або виконавчі механізми ВМ; блоки ручного управління БРУ для вибору режимів автоматичного (від ПЛК), або ручного і дистанційного управління з пульта оператора ВМ в ручному режимі; регулюючі органи РО).

Програмно-технічні засоби (ПТЗ) АСР – це сукупність ВК і РВК в складі АСР (в складі САР).

1. Огляд ІВС теплоенергетичних режимних параметрів

Успішне вирішення наукових і технічних задач, у тому числі забезпечення якості продукції, у значній мірі залежить від ступеня досягнення єдності і вірогідності (точності) вимірювань. Єдність вимірювань – стан вимірювань, за якого їхні результати виражені в узаконених одиницях, а похибки, або невизначеності вимірювань відомі із заданою ймовірністю і не виходять за встановлені границі.

Єдність вимірювань необхідна для забезпечення порівнюваності результатів вимірювань, проведених у різних місцях, в різний час з використанням різних методів і засобів вимірювання. Точність вимірювань – характеристика ступеня наближення результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

Для конкретних умов і цілей вимірювання існує свій раціональний рівень точності, котрий недоцільно перевищувати через зростання складності відповідних вимірювань. У сучасній промисловості затрати праці на виконання вимірювань складають близько 10% загальних затрат праці на всіх стадіях створення і експлуатації продукції, а в окремих галузях промисловості досягають 50-60% (електронна, радіотехнічна тощо). Ефективність цих затрат визначається достовірністю і відтворюваністю вимірювань.

Технологічний об'єкт управління (ТОУ) – це технологічний агрегат, який автоматизується. АСУТП (надалі просто АСУ) – автоматизована система управління технологічними процесами ТОУ. Програмно-технічною платформою АСУ є програмовані логічні контролери (ПЛК) і системи людинно-машинного інтерфейсу (ЛМІ). Оператор технологічного процесу через ЛМІ реалізує автоматизоване (за участі людини) управління технологічними процесами ТОУ. ІВС – інформаційно-вимірювальна система – підсистема в складі АСУ. ІВС – це сукупність вимірювальних каналів (ВК) технологічних параметрів (сенсори; реєструючі прилади; вхідні модулі ПЛК).

Технологічні параметри ТОУ – це параметри технологічного агрегату, які вимірюються для автоматизації технологічного агрегату. Виміряні технологічні параметри ТОУ підрозділяються за призначенням на три групи. 1. Режимні параметри – технологічні параметри, стабілізація яких на заданому значенні забезпечує ефективне функціонування ТОУ. Стабілізація режимних параметрів ТОУ – це управляючі функції АСУ, які реалізуються системами автоматичного регулювання (САР) режимних параметрів в складі АСУ. 2. Захисні параметри – технологічні параметри, вимірювання (неперервне) або контроль (датчики-реле параметрів) яких забезпечує реалізацію захистів ТОУ від неправильного управління. Реалізація технологічних захистів на основі захисних параметрів ТОУ – це захисні функції АСУ. 3. Контрольні параметри – технологічні параметри, які не приймають участі в реалізації управляючих або захисних функцій АСУ, а використовуються для додаткового інформування оператора.

Інформаційні функції АСУ – це функції вимірювання технологічних (режимних, захисних і контрольних) параметрів ТОУ.

Вимірювання технологічних параметрів в автоматизації технологічних процесів має дві мети: 1) використання в САР режимних параметрів ТОУ, тобто в замкненому контурі регулювання; 2) інформування оператора про стан ТОУ. Відповідно, інформаційні функції АСУ – це не тільки просте фізичне вимірювання технологічних параметрів сенсорами, але і реалізація надзвичайно важливих функцій первинної обробки виміряних сигналів в ПЛК і вторинної обробки виміряних даних в ЛМІ.

1.1. Перелік типових ВК ІВС

Загалом виділяють такі основні вимірювальні канали:

- ВК температури
- ВК витрати (енергоносіїв)
- ВК тиску
- ВК розрідження
- ВК вмісту кисню в димових газах
- ВК рівня середовища
- ВК ваги
- ВК дистанційного контролю

Кожен з перелічених каналів, являє собою окремий давач, кожен з яких використовують відповідно для того, які саме дані необхідно отримати для подальшого керування установками.

До ВК температури входять давачі: термопари; термометри опору; пірометри.

До ВК тиску і розрідження входять давачі: п'єзометри; диференціальні манометри.

До ВК витрати входять давачі: об'ємні витратоміри; масові витратоміри.

До ВК рівня і ваги середовища входять давачі: гідростатичні рівнеміри; рівнеміри; тензометри.

До ВК концентрації газів і рідин входять давачі: газоаналізатори; солеміри; рН-метри; гігрометри.

Дистанційний контролінг реалізується: датчиками-реле, датчиками положення і переміщення, датчиками швидкості і прискорення.

Вирізняють природні і уніфіковані електричні сигнали давачів і приладів.

Природні сигнали

- 0..100 мВ (мілівольти) постійного струму – термопари.
- 0..200/4000 Ом (Ohm) – термометри опору (і прилади реостатної системи передачі сигналів).
- 0..10 мГн (мілігенри) або 0..2 В змінного струму – прилади індуктивної, феродинамічної і дифтрансформаторної систем передачі сигналів.

Уніфіковані сигнали

- Аналогові сигнали 0..+10 В (раніше також -10..+10 В, 0..+5 В).
- Аналогові сигнали 4..20 мА або 0..20 мА (раніше також 0..5 мА). Примітка: мА – міліампери; мкА – мікроампери.
- Дискретні сигнали 0..24 В постійного струму (VDC) або 220 В змінного струму (VAC).

Переваги природних сигналів – простота реалізації і експлуатації.

Недоліки природних сигналів – деякі давачі (класичний приклад – термопари) потрібно підключати не мідним дротом, а спеціальним дротом (для термопар – так званим компенсаційним дротом), який значно дорожчий за мідний дріт.

Переваги уніфікованих сигналів – саме уніфікація.

Недоліки уніфікованих сигналів – давачі мають вбудовані мікропроцесор і електричну схему, тому складніші, дорожчі і обмежені в температурних умовах експлуатації (0..40 °С).

Сучасні ПЛК і вторинні показуючі і реєструючі прилади підтримують підключення як природних, так і уніфікованих сигналів.

Сучасною є система передачі сигналів постійного струму (0..10 В), або (0/4..20 мА). Струмова система забезпечує передачу сигналу електричного струму (0/4..20 мА) на декілька кілометрів. Сигнал напруги (0..10 В) передається на десятки метрів. З неструмових систем передачі сигналів ще частково продовжує використовуватись диференціально-трансформаторна система передачі сигналів (передача сигналів на сотні метрів).

1.2. Схеми структурні ВК

Серед структурних схем ВК ІВС виділяють 7 основних:

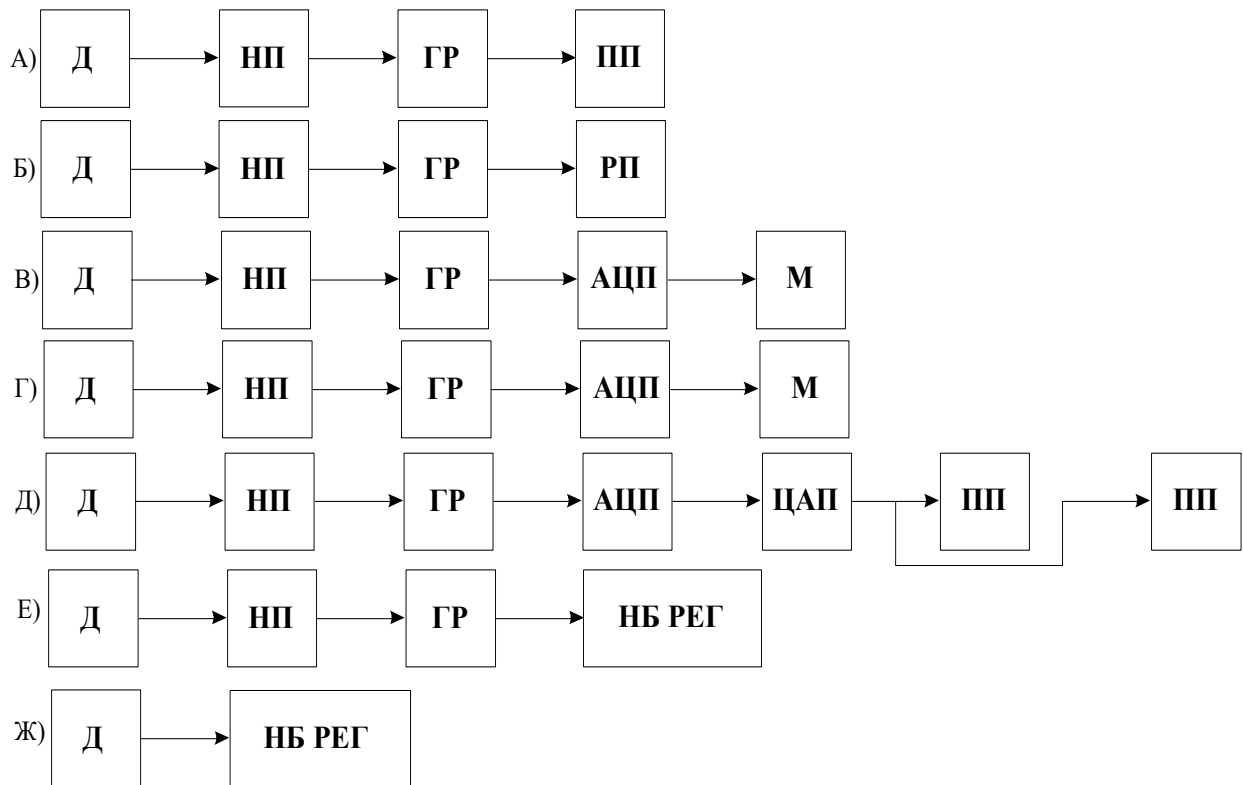


Рисунок 1.2.1 – Основні структурні схеми ВК

Давач (Д) виконує вимірювання фізичних параметрів і перетворення їх в вихідний електричний сигнал. Давач складається з: 1) чутливого елемента, який вимірює фізичний параметр і перетворює його в проміжний електричний сигнал; 2) перетворювача, який підсилює і перетворює проміжний електричний сигнал в вихідний електричний сигнал; 3) корпусу, в якому монтуються компоненти давача; сам корпус монтується на об'єкті вимірювання. Якщо немає необхідності в перетворювачі, давач може містити тільки один закорпусований чутливий елемент.

Нормуючий перетворювач (НП) виконує нормалізацію сигналу.

Нормалізація — перетворення природного тобто неуніфікованого електричного сигналу від давача в уніфікований електричний сигнал і лінеаризація сигналу (якщо залежність вихідного сигналу давача або приладу від вхідного сигналу давача або приладу є нелінійною; класичний приклад – термopара).

Гальванічний роздільник (ГР) забезпечує кондуктивну розв'язку електричних спільних точок, тобто сигнальних мінусів або плюсів, давачів і приладів. Часто давач, НП і ГР змонтовані в єдиному корпусі давача. Часто НП і ГР входять в склад МВВ ПЛК. На рисунку. 1.2.2 зображено загальну структурну схему ВК АСР.

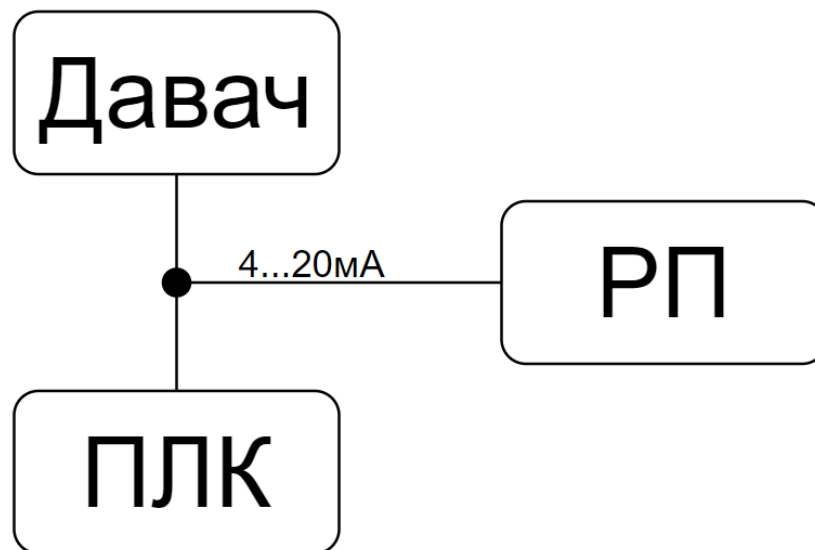


Рисунок 1.2.2 – Схема структурна ВК (загальна)

Давач підключається до (ПЛК) контролера і (РП) реєструючого приладу. Відповідно для кожної варіації ВК будемо мати відповідну структурну схему:

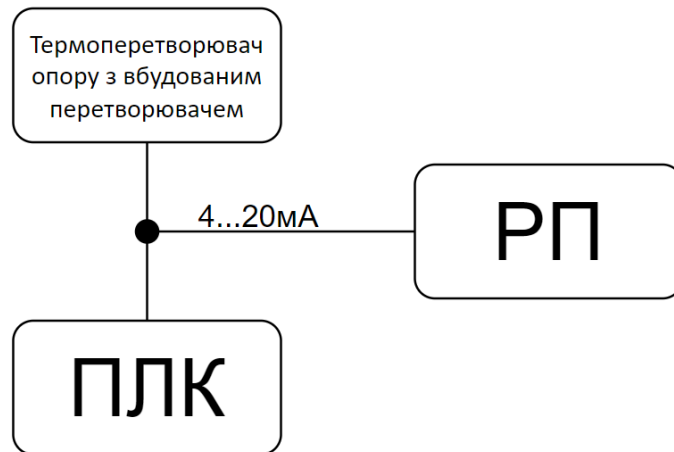


Рисунок 1.2.3 – Схема структурна ВК температурного параметру

ВК температури: Інформаційно вимірювальна система температури складається з датчика, контролера та реєструючого приладу. Датчик термоперетворювач опоры, з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА (вбудований перетворювач).

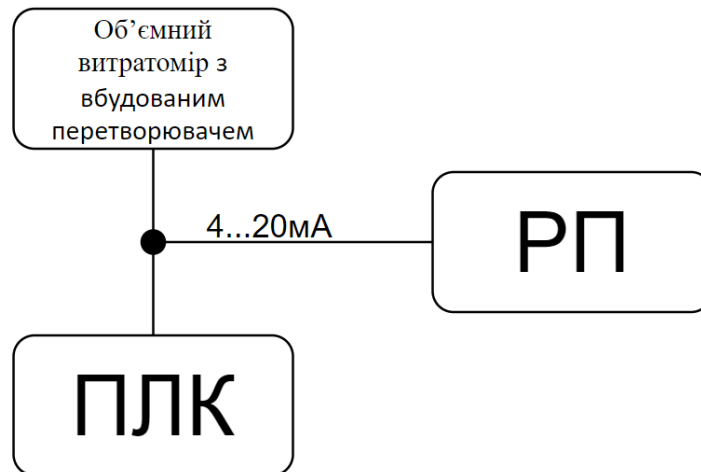


Рисунок 1.2.4 – Схема структурна ВК витратного параметру

ВК витрати (палива): Інформаційно вимірювальна система витрати складається з датчика, контролера та реєструючого приладу. Датчик об'ємний витратомір, з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА.

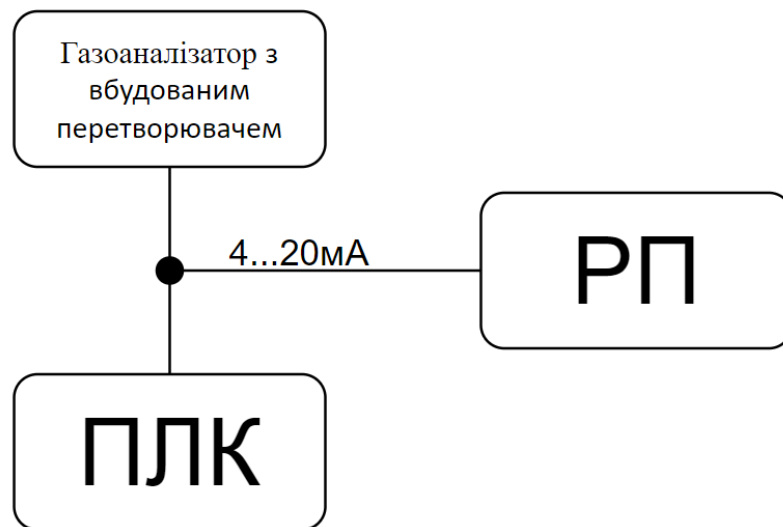


Рисунок 1.2.5 – Схема структурна ВК температурного параметру концентрації газів

ВК вмісту кисню в димових газах: Інформаційно вимірювальна система концентрація газів складається з давача, контролера та реєструючого приладу. Давач газоаналізатор, з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА.

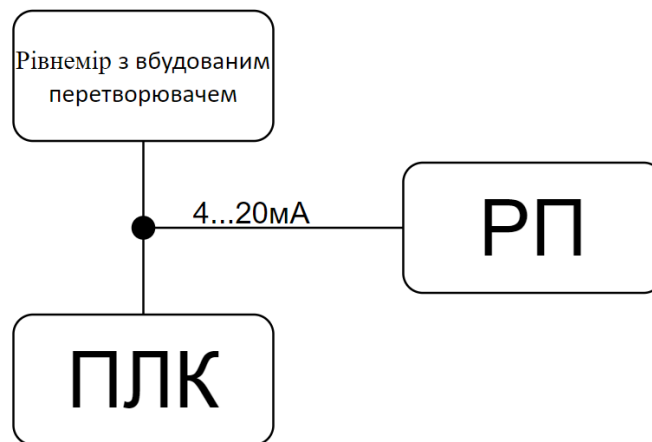


Рисунок 1.2.6 – Схема структурна ВК параметру рівня середовища

ВК рівня середовища: Інформаційно вимірювальна система рівня речовини складається з давача, контролера та реєструючого приладу. Давач рівнемір, з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА.

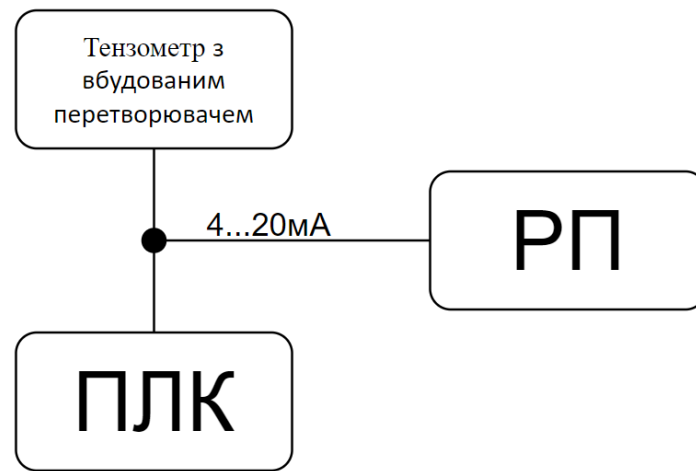


Рисунок 1.2.7 – Схема структурна ВК вагового параметру.

ВК ваги: Інформаційно вимірювальна система ваги складається з давача, контролера та реєструючого приладу. Давач тензометри, з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА

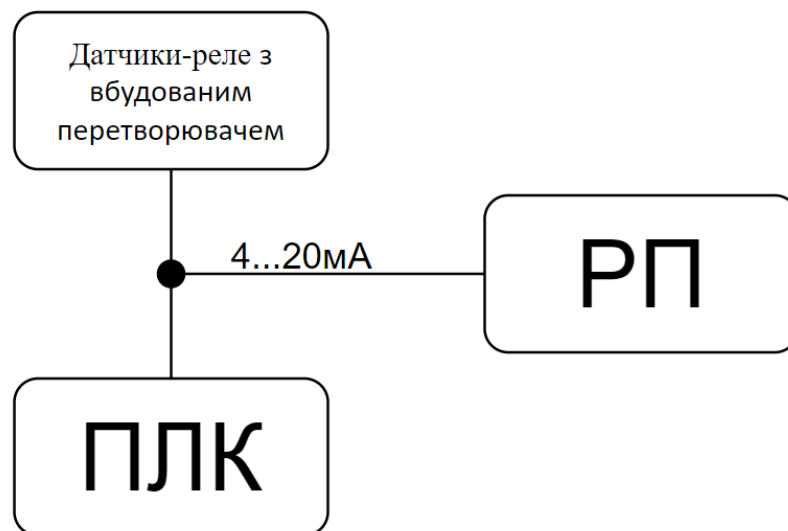


Рисунок 1.2.8 – Схема структурна ВК дистанційного контролю параметру

ВК дистанційного контролю: Інформаційно вимірювальна система положення складається з давача, контролера та реєструючого приладу. Давач датчики-реле, з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА.

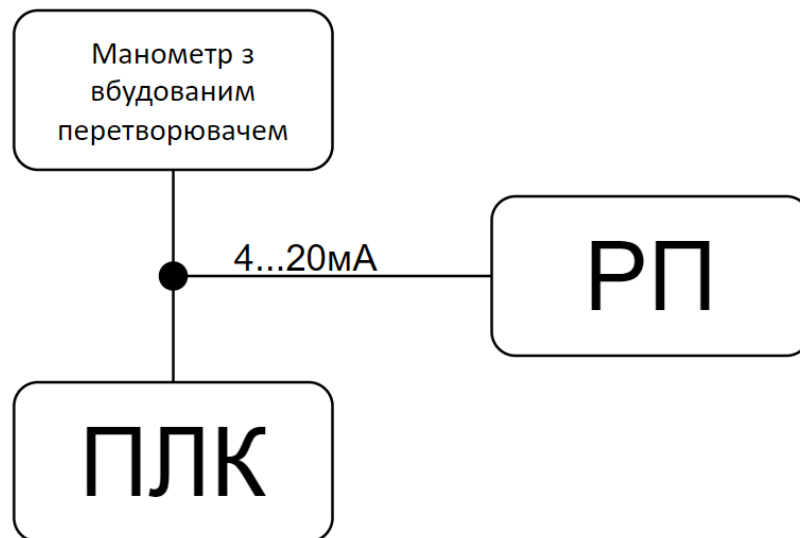


Рисунок 1.2.9 – Схема структурна ВК параметру тиску

ВК тиску: Інформаційно вимірювальна система тиску складається з давача, контролера та реєструючого приладу. Давач манометр з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА.

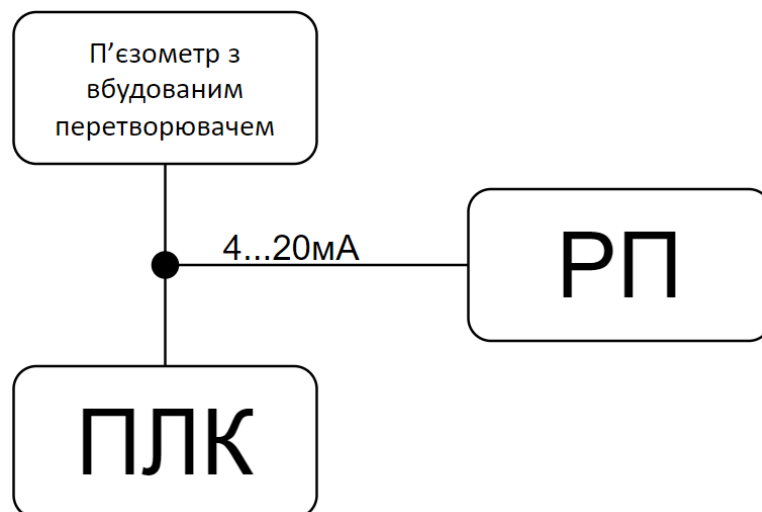


Рисунок 1.2.10 – Схема структурна ВК параметру розрідження

ВК перепаду тиску: Інформаційно вимірювальна система перепаду тиску складається з давача, контролера та реєструючого приладу. Давач п'єзометр з уніфікованим вихідним сигналом $4\div 20$ мА.

Вхідні і вихідні сигнали розглянутих давачів і приладів вимірювальних каналів ІВС для кожного окремого випадку є уніфікованими.

Після того, як давач зафіксував режимний параметр в своєму індивідуальному діапазоні та якісній мірі, згенерований сигнал буде уніфікована за допомогою вбудованого перетворювача який знаходиться в давачі. Після його відправки ПЛК та реєструючи пристрій уже отримують сигнал в діапазоні (4 – 20)мА, або (0 – 10)В. І далі уніфікований сигнал буде оброблятися в контролері однаково незалежно від того, з якого саме датчика надійшов сигнал.

Наприклад для ІВС температури:

- вхідний сигнал датчика: температура (градуси Цельсія °С);
- вихідний сигнал датчика: уніфікований струмовий сигнал (4÷20 мА);
- вхідний сигнал ПЛК : уніфікований струмовий сигнал, (4÷20 мА);
- вхідний сигнал реєструючого приладу: уніфікований струмовий сигнал, (4÷20 мА).

Так само для ІВС тиску:

- вхідний сигнал датчика: тиск, (Па);
- вихідний сигнал датчика: уніфікований струмовий сигнал, (4÷20 мА);
- вхідний сигнал ПЛК : уніфікований струмовий сигнал, (4÷20 мА);
- вхідний сигнал реєструючого приладу: уніфікований струмовий сигнал, (4÷20 мА).

І так для інших ІВС.

В промисловості широко використовуються станції ВВ сигналів. Така станція фактично є спеціалізованим контролером обміну даними – вона має

процесорний модуль МЦП, модулі ВВ (модулі АЦП, ДЦП, ЩП, ЦАП, ЦДП, ЦПП) і мережевий модуль ММ. Давачі напряму або через нормуючі перетворювачі підключаються до вхідних модулів станції. Так як такі станції можуть розташовуватись віддалено від ПЛК, їх називають станціями віддаленого ВВ, а ПЛК – центральним ПЛК. Локальні станції віддаленого ВВ опитуються центральним контролером, він збирає всі дані, потім на їх основі здійснює неперервне регулювання і програмно-логічне управління, також, агрегує дані і по запити передає їх в HMI/SCADA-систему.

1.3. Схеми принципові електричні ВК

Для підключення ВК до ПЛК або модулів розширення використовують схеми підключення з маркуванням конкретних входів на контролері. Сучасні давачі мають уніфікований струмовий вихідний сигнал $4\div 20$ мА і підключаються в основному за двопровідною схемою: де контакт (+) блока живлення підключаємо до контакту (+) давача; контакт (-) давача підключається до (+) струмової клеми контролера; контакт (-) контролера підключається до контакту (+) реєстратора; контакт (-) блока живлення підключається до контакту (-) реєстратору. Послідовно до контролера підключається реєструючи прилад. Паралельно до кожного з них вмикаються стабілітрони задля підтримання системи у робочому стані навіть при розриві кабелю. Для приладів без уніфікованого сигналу до схеми додається нормуючий перетворювач, який перетворює вати в ампери та апроксимує їх.

Схеми електричні підключення вказані на рис 1.3.1 – 1.3.3.

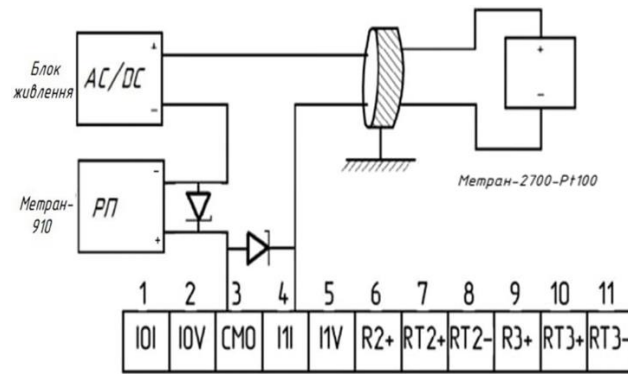


Рисунок 1.3.1 – Схема принципних електрична ВК АСР режимного параметру (дво-провідне підключення)

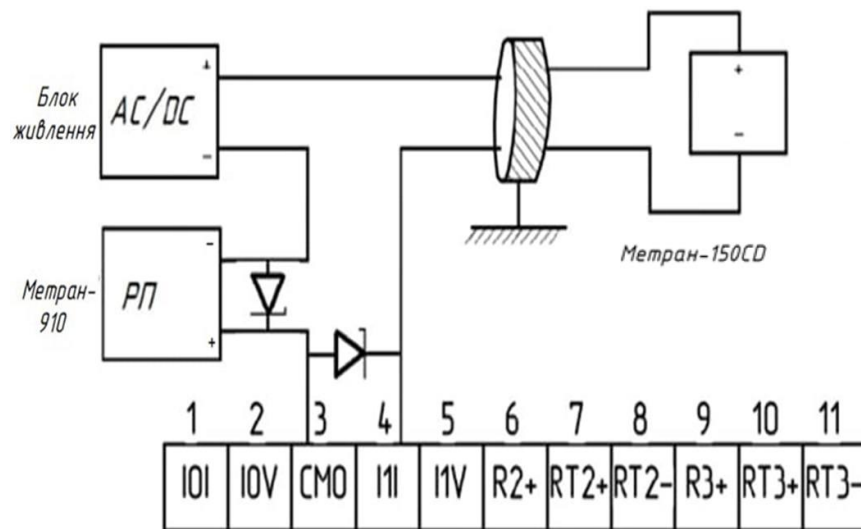


Рисунок 1.3.2 – Схема принципова електрична ВК АСР режимного параметру (дво-провідне підключення)

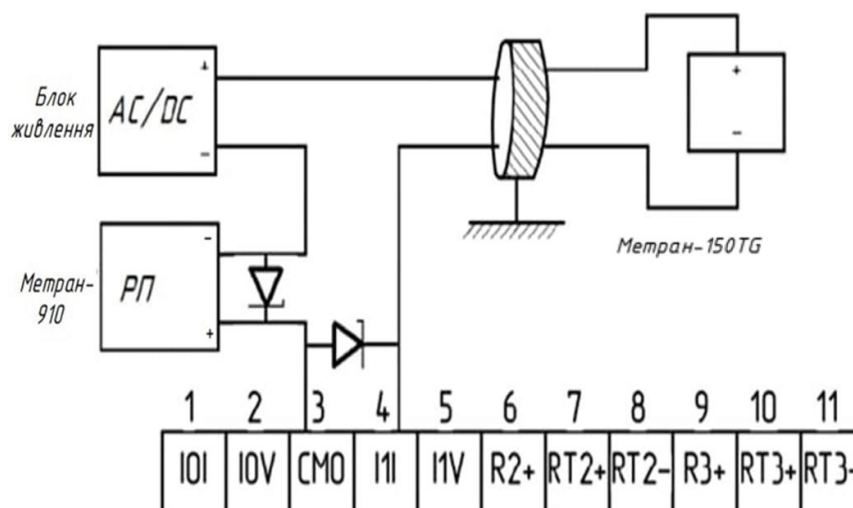


Рисунок 1.3.3 – Схема принципова електрична ВК АСР режимного параметру (дво-провідне підключення)

Для пристроїв що мають чотири або три провідну схему підключення використовують відповідні електричні схеми, що вказані на рис. 1.3.4 – 1.3.7.

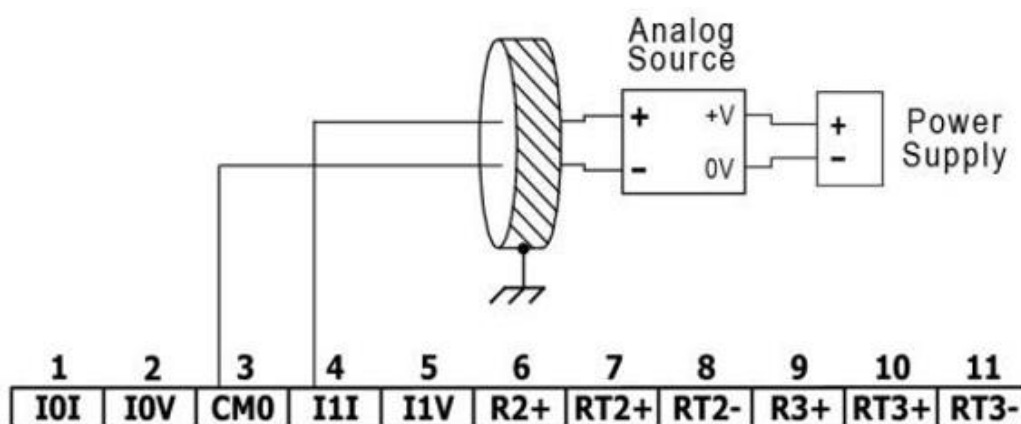


Рисунок 1.3.4 – Схема електрична підключення уніфікованого вхідного сигналу 4..20 мА до ПЛК (чотири провідне підключення)

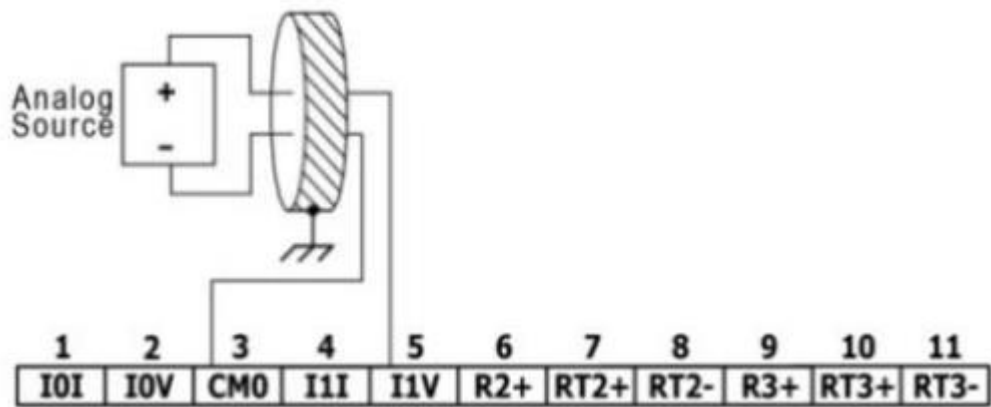


Рисунок 1.3.5 – Схема електрична підключення уніфікованого вхідного сигналу 0..10 В до ПЛК (чотири провідне підключення)

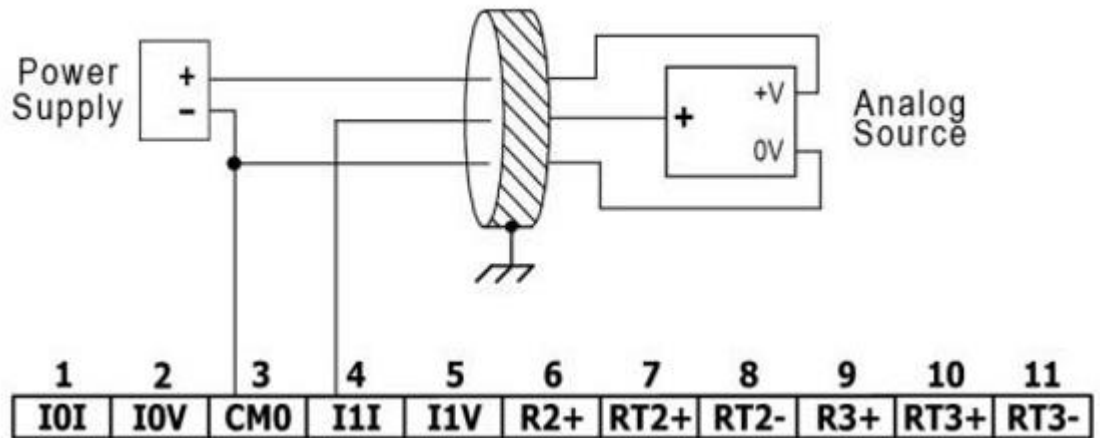


Рисунок 1.3.6 – Схема електрична підключення уніфікованого вхідного сигналу 4..20 мА до ПЛК (три провідне підключення)

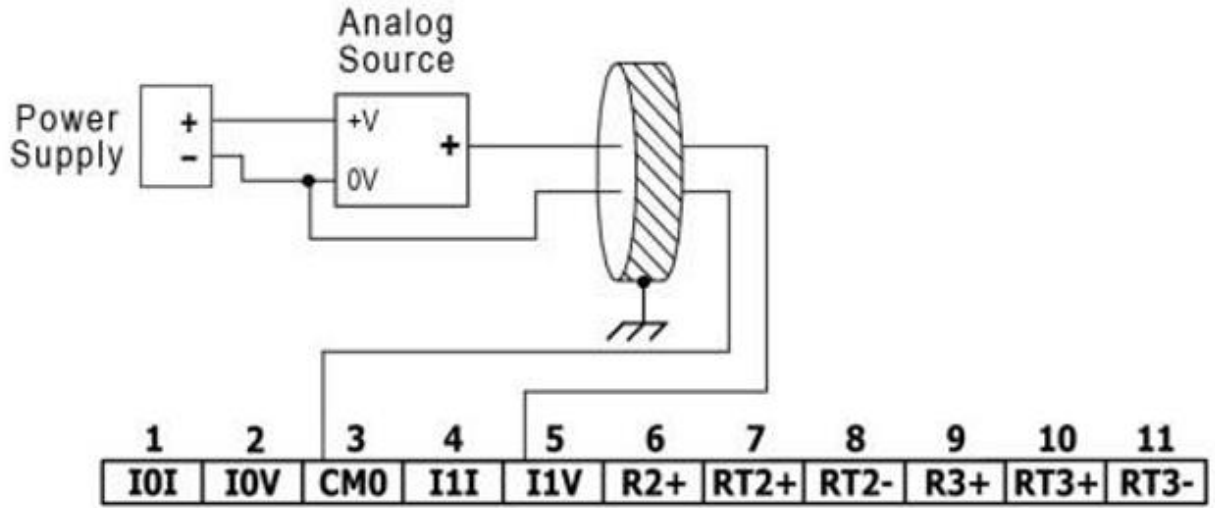


Рисунок 1.3.7 – Схема електрична підключення уніфікованого вхідного сигналу 0..10 В до ПЛК (три провідне підключення)

1.4. Схеми структурні ПТЗ САР

На рисунку 1.4.1 представлена схема структурна сучасної ПТЗ типової каскадної САР (на конкретному прикладі). Схема демонструє: 1) вимірювання параметрів давачами Д1 і Д2 і вхідними АЦП ПЛК (регульований параметр – температура зворотної води; параметр з проміжної точки – температура прямої води); 2) первинну обробку виміряних сигналів в ПЛК (ФБ на схемі не вказані); 3) каскадне регулювання в ПЛК (ФБ коригуючого регулятора температури зворотної води змінює завдання ФБ стабілізуючого регулятора температури прямої води); 4) видачу управляючого сигналу з ПЛК через вихідний ЦАП і БРУ на ВМ, який реалізує регульовальну дію – переміщення РО на подачі води в гріючий контур теплообмінника; 5) вторинну обробку виміряних даних в ЛМІ (обмін даними ПЛК-ЛМІ за протоколом OPC-UA; ЛМІ SQL-запитами записує історичні дані в SQL-СУБД; ЛМІ, як MQTT-публікатор (паблішер) передає файл даних на MQTT-брокер, де він зчитується MQTT-підписувачем (сабскрайбером)).

Структура передачі даних має певні спільні особливості для всіх вимірювальних каналів і відрізняється типом давача.

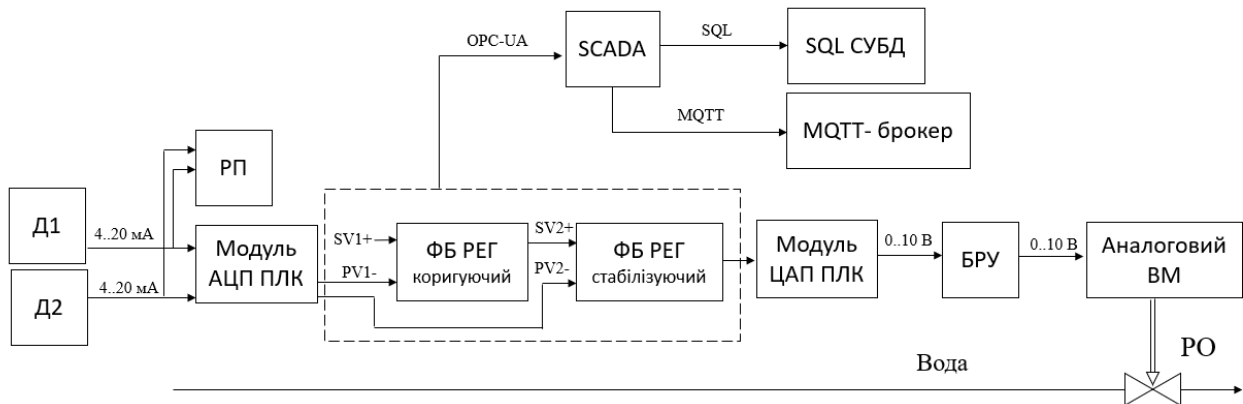


Рисунок 1.4.1 – Схема структурна ПТЗ каскадної САР температури зворотної води в незалежній системі центрального опалення. Регульовальна дія – зміна витрати води в гріючому контурі теплообмінника

Задачами імітаційного моделювання ПТЗ промислових САР є моделювання окремих функцій ПТЗ і моделювання взаємодії структурних компонентів ПТЗ (ВК і РВК) з спільним використанням сучасного програмно-технічного інструментарію АСУ і систем комп'ютерного моделювання [2].

Моделювання об'єктів – це маніпулювання аналогами реальних об'єктів замість маніпулювання реальними об'єктами. Аналоги об'єктів можуть бути спрощеними, адекватними або складнішими порівняно з реальними об'єктами.

Різновиди моделювання динамічних систем: фізичне моделювання (фізичні аналоги фізичних об'єктів), аналітичне моделювання (математичні аналоги динамічних систем), програмне (імітаційне) моделювання (обчислювальні аналоги динамічних систем).

На рисунку 1.4.2 – зображено структурну ПТЗ АСР (одно контурна САР температури первинної пари).

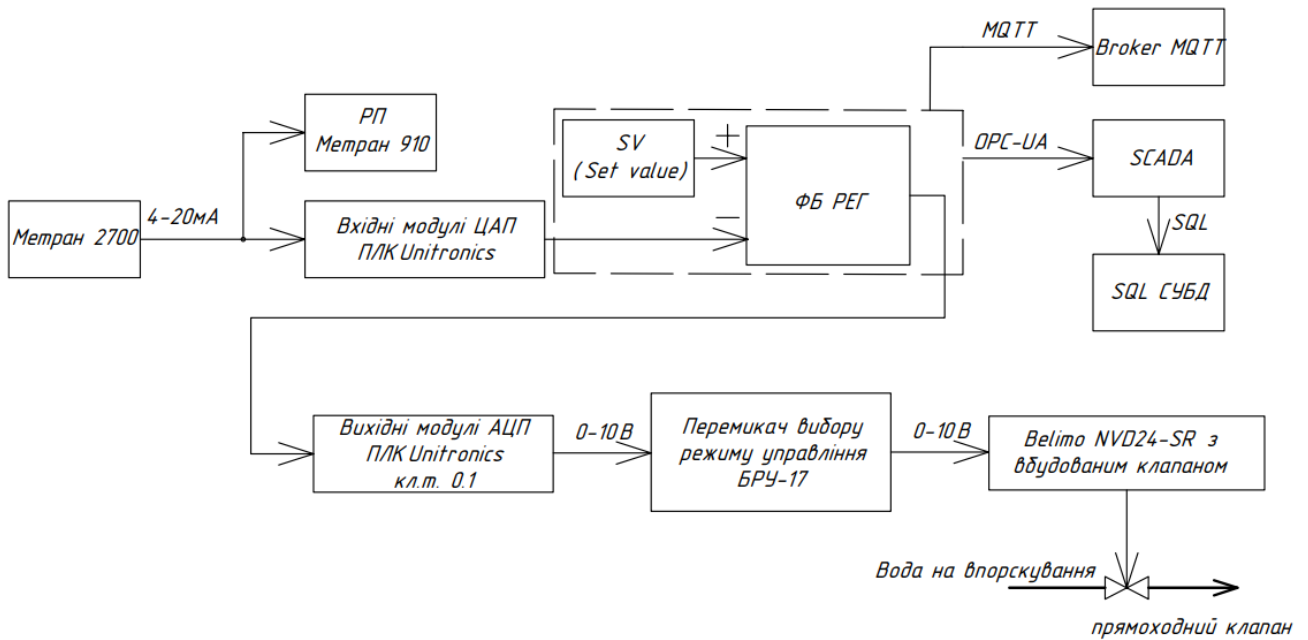


Рисунок 1.4.2 – Схема структурна ПТЗ АСР (САР температури первинної пари)

На рисунку 1.4.3 – зображено структурну ПТЗ АСР (одно контурна САР розрідження в зоні сушки).

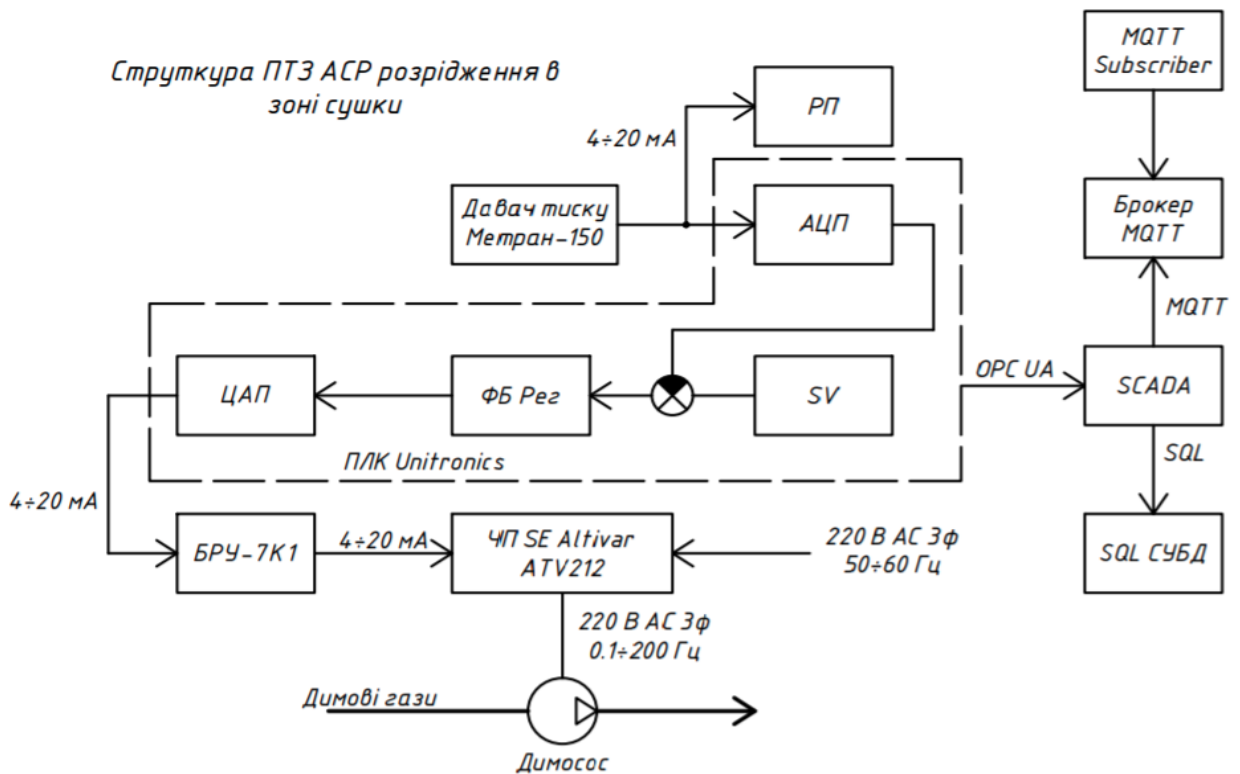


Рисунок 1.4.3 – Схема структурна ПТЗ АСР (САР розрідження)

Імітаційне моделювання АТК є ефективним інструментарієм для перевірки роботи здатності і налагодження АСУ за відсутності доступу до реального фізичного ТОУ і неможливості розрахунку динаміки систем автоматичного регулювання з використанням складних математичних моделей ТОУ. Імітаційне моделювання АТК використовується на стадіях проектування (розробки і програмування), впровадження, тиражування і модернізації АСУ.

Вирізняють: імітаційне SIL-моделювання АТК (Software-In-the-Loop: софтПЛК в колі зворотного зв'язку; модель ТОУ реалізована в СКМ; ЛМІ – зовнішня SCADA-система); імітаційне HIL-моделювання АТК (Hardware-In-the-Loop: хардПЛК в колі зворотного зв'язку; модель ТОУ реалізована прямо в хардПЛК; ЛМІ – НМІ-панель самого хардПЛК); імітаційне VIL-моделювання АТК (Viewer-In-the-Loop: модель ТОУ, ПЛК і ЛМІ реалізовані в НМІ/SCADA-системі).

1.5. Функції первинної та вторинної обробки даних в ПЛК

1.5.1. Типові функції первинної обробки даних в ПЛК

1. Фільтрація – програмно реалізована фільтрація вимірних сигналів.
2. Апроксимація – кусочно-лінійна апроксимація. Лінеаризація нелінійної характеристики вимірювання. Обмеження мінімального і максимального значень (нелінійність типу насичення).
3. Масштабування – лінійне перетворення діапазону (шкали) вимірювання.
4. Сповільнення – обмеження швидкості зміни параметру (нелінійність типу насичення).
5. Порівняння – порівняння з уставкою. РІВНО, БІЛЬШЕ, МЕНШЕ, ДІАПАЗОН. Обмеження значення (нелінійність типу насичення).
6. Гістерезис – реалізація зони нечутливості і зони повернення (двопозиційна нелінійність; релейне регулювання).

7. Алармування – формування події тривоги (аларму) технологічної (попереджувальної) або аварійної.
8. Аналітика – статистичний аналіз. Виділення найменшого, найбільшого і середнього значень. Розрахунок дисперсії.
9. Інтегрування – лінійне інтегрування параметру (площа під графіком зміни параметру).
10. Лічильник – математична інкрементація і декрементація. Обрахування дискретних подій до уставки лічильника.
11. Таймер – реалізація часових затримок на величину уставки таймеру.
12. NOT – логічна операція НІ. Значення виходу протилежне значенню входу.
13. AND – логічна операція І. Вихід = 1, якщо два входи = 1.
14. OR – логічна операція АБО. Вихід = 1, якщо хоча б один з входів = 1
15. XOR – логічна операція виключного АБО. Вихід = 1, якщо тільки один з входів = 1.
16. Генератор – генерація аналогових і дискретних даних константних і періодичних.
17. Перетворення типів даних – вимушене явне перетворення типів даних, як правило, REAL>INT.

Типовий порядок первинної обробки аналогових сигналів (INT, REAL) в ПЛК: Сигнал > Фільтрація – Апроксимація – Масштабування – Сповільнення – Порівняння, Аналітика, Алармування > Дані.

Порядок обробки дискретних сигналів (BOOL) в ПЛК – залежить від логіки обробки і не може бути типовим.

1.5.2. Постановка завдання

Найважливішою функцією первинної обробки вимірних сигналів в ПЛК є функція фільтрації сигналів і даних. Теплоенергетичні ТОУ – «повільні» ТОУ, які самі є фільтрами низьких частот. Оптимальна фільтрація даних на

теплоенергетичних об'єктах в умовах значних промислових перешкод – актуальна технічна задача, що може бути ефективно вирішена (наприклад, як в роботі авторів [1]). Дослідження ефективності зовнішньої і внутрішньої фільтрації в АСУ і її впливу на якість регулювання в САР і якість візуалізації для оператора – важлива задача моделювання фільтрації і аналізу практичної реалізації алгоритмів фільтрації в ПЛК.

1.5.3. Результати моделювання

Далі розглядаються питання класифікації похибок вимірювання, класифікації перешкод, функціонального моделювання фільтрації сигналів в САР і реалізації алгоритмів фільтрації в ПЛК. Моделі реалізовані в системі комп'ютерної математики (СКМ) MatLab Simulink.

1.5.4. Похибка вимірювання

Похибка вимірювання – це кількісне значення точності вимірювання. Це характеристика ступеня відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Для конкретних умов і цілей вимірювання існує свій раціональний рівень похибки, котрий недоцільно зменшувати через зростання складності відповідних вимірювань. Чим більше похибка вимірювання, тем менше точність; чим менша похибка, тим вища точність вимірювання. В лінійних системах всі похибки є адитивними, тобто додаються (+ або –) до істинного значення величини, тому вони однакові у всьому діапазоні вимірювання.

Похибки вимірювання залежать від перешкод процесу вимірювання. Похибку вимірювання класифікують за 1) джерелом походження перешкоди вимірювання і 2) способом походження перешкоди вимірювання. За джерелом походження перешкоди вирізняють внутрішню (інструментальну) і зовнішню (методичну) похибки вимірювання.

1. Внутрішня похибка вимірювання – це похибка самих компонентів ВК і залежить від типу і якості компонента (наприклад, давача). Вона не залежить від

величини самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.

2. Зовнішня похибка вимірювання – це результат впливу на компонент ВК зовнішніх перешкод і способу (методу) монтажу компонента (наприклад, давача). Вона не залежить від величини самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.

За способом походження перешкоди вимірювання вирізняють постійну (систематичну) і стохастичну (випадкову) похибки вимірювання.

3. Постійна похибка вимірювання (ППВ) – це постійне відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Вона не залежить від величини самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання.

4. Стохастична похибка вимірювання (СПВ) – це випадкове відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Вона не залежить від величини самого істинного значення, тому вона однакова у всьому діапазоні вимірювання. До визначення СПВ: з позицій теорії ймовірності і математичної статистики СПВ є результатом дії багатьох випадкових чинників.

В цьому випадку розподілення значень вимірювання підкоряється нормальному закону розподілення Гауса. Тому результат випадкового розподілення значень вимірювання характеризується двома детермінованими показниками – математичним очікуванням і дисперсією. Математичне очікування – це середнє арифметичне всіх значень вимірювання в генеральній сукупності (велика кількість вимірювань). Це і є значення вимірюваної величини. Реальна сукупність вимірювань має кінцеву кількість вимірювань і називається вибіркою вимірювань. Середнє арифметичне вибірки відрізняється від математичного очікування і характеризується дисперсією. Дисперсія – це середнє значення квадратів відхилення результатів вимірювання від середнього арифметичного вимірювань, тобто від вимірюваного значення величини (примітка:

квадрат відхилення береться тому, щоб відхилення з різними знаками не компенсували один одного). Корінь квадратний із дисперсії називається середньоквадратичним відхиленням (СКВ) або стандартним відхиленням. Достовірність вимірювання характеризується довірчим діапазоном вимірювання $ДДВ = 3 \times СКВ$. Саме в цей діапазон попадають 99,9% результатів вимірювання.

Для засобів вимірювання клас точності являє собою межу основної допустимої похибки вимірювання.

Термін «межа» має статистичний характер і вказує на те, що з ймовірністю 0,999 всі випадкові відхилення вимірюваної величини вкладаються в довірчий діапазон вимірювання ДДВ.

Термін «основна» вказує на те, що клас точності нормує похибку для нормальних умов експлуатації (тобто коли задовольняються вимоги до температури, вологості і тиску навколишнього середовища і вимоги до живлення приладів). Якщо вказані технічні вимоги не виконуються, з'являється додаткова похибка і сумарна похибка перевищує клас точності приладу.

Похибка всього ВК (сумарна похибка ВК) дорівнює квадратичній сумі похибок окремих компонентів ВК. Нижче наведені формули для розрахунку відповідно відносної і абсолютної похибок ВК на основі похибок компонентів ВК (якщо діапазони вимірювання компонентів ВК однакові).

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} \qquad \Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$$

Слід розрізняти похибку одноразового вимірювання і похибку багаторазового вимірювання. На практиці ці поняття часто не розрізняють, і говорять про похибки вимірювання, маючи на увазі саме похибки одноразового вимірювання. Різниця між цими поняттями принципова. Похибка одноразового вимірювання визначається класом точності приладу. Нижче наведені формули для розрахунку відповідно відносної і абсолютної похибок багаторазового

вимірювання на основі похибка одноразового вимірювання і кількості (k) послідовних вимірювань (формула середньоквадратичного значення).

$$\frac{\varepsilon}{\sqrt{k}}$$

$$\frac{\Delta}{\sqrt{k}}$$

При багаторазовому вимірюванні навіть на низько точному приладі можливо отримати високу точність вимірювання. Наприклад, для 100 вимірювань похибка вимірювання знижується квадратично, тобто в 10 разів. Так як в перехідному процесі в САР динамічне вимірювання є одноразовим, а статичне – багаторазовим, то клас точності ВК впливає на якість перехідного процесу (динамічні показники якості), але не впливає на точність стабілізації в кінці перехідного процесу (статичний показник якості) – ПІ-регулятор при будь-якій стохастичній похибці вимірювання забезпечує нульову статичну помилку регулювання.

До визначення похибки вимірювання компоненту ВК

Внутрішня ППВ компонента ВК виникає внаслідок несправності компонента. Зовнішня ППВ виникає внаслідок неправильного монтажу і неправильної експлуатації компонента ВК, електростатичного наведення і неправильного заземлення (виникає додаткова різниця потенціалів, тобто напруга). Сумарну внутрішню і зовнішню ППВ об'єднують в єдину ППВ.

Кожний компонент ВК має внутрішню СПВ, яка характеризується класом точності компонента. Клас точності визначає значення ДДВ цього компонента.

Наприклад, ВК виміряв значення температури 30 градусів. ДДВ, обчислений на основі класу точності ВК, є, наприклад, 5 градусів. Це означає, що виміряний параметр з ймовірністю 99,9% знаходиться в діапазоні 30 ± 5 градусів, тобто в діапазоні 25..35 градусів.

Зовнішня СПВ – це результат впливу на компонент ВК зовнішніх стохастичних перешкод внаслідок, в основному, електромагнітного наведення

від силових кабелів і потужного електротехнічного обладнання (яке працює під великим струмом, так як «наводить струм, а не напруга»).

Пригнічення похибки (= пригнічення перешкоди = пригнічення впливу перешкоди) – зменшення похибки до прийнятного рівня, котрий недоцільно зменшувати через зростання складності засобів і алгоритмів пригнічення похибки.

Пригнічення ППВ полягає в усуненні джерела виникнення ППВ, тобто в ремонті компоненту ВК, правильному монтажі і правильній експлуатації компоненту ВК, ліквідації електростатичного наведення і правильного заземлення.

Радикальний спосіб пригнічення ППВ – коректування похибки адитивним зміщенням на величину похибки виміряного значення параметру або заданого значення виміряного регульованого параметру. Легше всього це зробити в ПЛК, можливо зробити в багатоканальному реєстраторі. Але це хибний шлях і виправданий тільки як тимчасовий засіб.

Внутрішня СПВ компоненту ВК не може бути пригнічена, вона може бути тільки врахована при визначенні ДДВ всього ВК. ДДВ ВК розраховується на основі паспортних ДДВ компонентів ВК.

Зовнішня СПВ компоненту ВК пригнічується фільтрацією вхідних (виміряних) сигналів. Використовуються фільтри низьких частот (ФНЧ), фільтри високих частот (ФВЧ) і фільтри смуги частот (ФСЧ).

На рисунку 1.5.1 представлені функціональні моделі ФНЧ, ФВЧ і ФСЧ в СКМ Matlab Simulink.

Фільтри нижніх частот, верхніх частот, смуговий

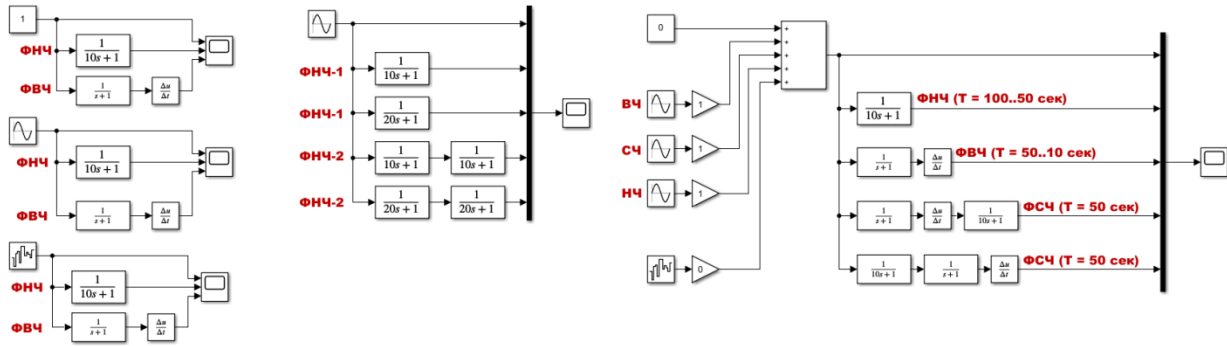


Рисунок 1.5.1 – Моделі ФНЧ, ФВЧ, ФСЧ в СКМ Matlab Simulink

ФНЧ пропускає з входу на вихід сигнали низьких частот, а пригнічує сигнали високих частот. Пригнічення високих частот полягає в зменшенні амплітуди вихідного сигналу, а частота вихідного сигналу зберігається. Приклади ФНЧ 1-го і 2-го порядків – аперіодичні ланки 1-го і 2-го порядків. Частота відфільтрованого і пригніченого сигналів визначається так званою частотою частотою зрізу. Частота зрізу – це частота, вище якої потужність вихідного сигналу (квадрат амплітуди) фільтра зменшується вдвічі від потужності в смузі пропускання (тобто, амплітуда вихідного сигналу зменшується до $\sim 70\%$ від вхідного сигналу).

ФВЧ пропускає з входу на вихід сигнали високих частот, а пригнічує сигнали низьких частот. Пригнічення низьких частот полягає в зменшенні амплітуди вихідного сигналу, а частота вихідного сигналу зберігається. Приклади ФВЧ 1-го і 2-го порядків – ланки реального диференціювання 1-го і 2-го порядків. Частота відфільтрованого і пригніченого сигналів визначається так званою частотою частотою зрізу. Частота зрізу – це частота, нижче якої потужність (квадрат амплітуди) вихідного сигналу фільтра зменшується вдвічі від потужності в смузі пропускання (тобто, амплітуда вихідного сигналу зменшується до $\sim 70\%$ від вхідного сигналу).

ФСЧ пропускає з входу на вихід сигнали смуги частот f_1 і f_2 , а пригнічує сигнали нижчих за f_1 частот і вищих за f_2 частот. Пригнічення низьких і високих

частот полягає в зменшенні амплітуди вихідного сигналу, а частота вихідного сигналу зберігається. ФСЧ є послідовним з'єднанням: або ФНЧ (фільтрація нижчих за f_2 частот) і ФВЧ (фільтрація вищих за f_1 частот); або ФВЧ (фільтрація вищих за f_1 частот) і ФНЧ (фільтрація нижчих за f_2 частот). Частоти відфільтрованого і пригніченого сигналів визначаються так званими частотами зрізу. Частоти зрізу – це дві частоти, нижче якої і вище якої потужність вихідного сигналу (квадрат амплітуди) фільтра зменшується вдвічі від потужності в смузі пропускання (тобто, амплітуда вихідного сигналу зменшується до $\sim 70\%$ від вхідного сигналу).

1.5.5. Вплив ППВ і СПВ на роботу САР

ППВ є найбільш небезпечною похибкою. ППВ можливо пригнітити 2-ма способами: 1) усунути джерело похибки; 2) скоригувати значення з давача на величину похибки (наприклад, якщо справжня температура 30 градусів, а давач показує 25 градусів, то в САР потрібно задавати значення 25 градусів, «тримаючи в умі», що насправді це 30 градусів; так само з виведенням значення на ПП/РП – треба «тримати в умі», що насправді показуються не 25, а 30 градусів). Крім того, ППВ важко, а в багатьох випадках неможливо виявити.

Внутрішня СПВ компоненту ВК враховується при визначенні ДДВ всього ВК на основі класів точності компонентів ВК.

ППВ і СПВ по різному (навіть протилежно) впливають на якість регулювання, тобто на якість перехідних процесів в САР. ППВ не впливає на динаміку перехідного процесу і його динамічні показники, але впливає на статичну похибку регулювання (відхилення від завдання в сталому значенні регульованого параметру в кінці перехідного процесу). СПВ впливає на динаміку перехідного процесу і його динамічні показники, але не впливає на статичну похибку регулювання (відхилення від завдання в сталому значенні регульованого параметру в кінці перехідного процесу).

Зовнішня СПВ має бути пригнічена фільтрацією. Розрізняють зовнішню і внутрішню фільтрацію ВК. Зовнішня фільтрація – це використання зовнішніх до ВК і ПЛК фільтрів.

Зовнішня фільтрація

- Екранування компонентів ВК і ПЛК від електромагнітних наведень шляхом встановлення в спеціалізовані металеві шафи з їх заземленням. Це запобігає проникненню паразитних струмів в електричні кола компонентів ВК.

- Прокладання сигнальних кабелів окремо від силових кабелів, тобто в окремих кабельних каналах і в окремих металевих трубах. Це запобігає електромагнітному наведенню і, відповідно, проникненню паразитних струмів в електричні кола компонентів ВК.

- Використання скручених пар (біфілярні провідники – розташовані один біля одного провідники; біфілярна скручена або вита пара – twisted pair – скручені навколо один одного два провідники) для: 1) зменшення площі електромагнітного наведення за рахунок біфілярності провідників і, відповідно, зменшення електромагнітного наведення паразитних струмів; 2) додаткової взаємної компенсації наведених паразитних струмів в плюсовому і мінусовому провідниках за рахунок взаємно-протилежних напрямів струмів в плюсовому і мінусовому провідниках внаслідок різнополярності плюсового і мінусового провідників.

- Заземлення екранів кабелів. Заземлення металевих труб, в яких прокладені сигнальні кабелі. Електромагнітно наведені паразитні струми «стікають в землю» і не проникають в електричні кола компонентів ВК.

Правильне заземлення – заземлення системи в одній точці; тобто точки заземлення всіх приладів повинні бути індивідуально підключені до єдиної спільної заземленої точки заземлення системи (бажано до металевого шасі шафи). Фізичне заземлення в одній фізичній точці заземлення запобігає

виникненню паразитних струмів в провідниках між заземленими точками заземлення.

Внутрішня фільтрація – програмна фільтрація в ПЛК

Програмна фільтрація в ПЛК здійснюється або функціональними блоками (графічна мова ПЛК), або різницеvими рівняннями (текстова мова ПЛК) ФНЧ – аперіодичними ланками 1-го або 2-го порядків. ФВЧ і ФСЧ в ПЛК не використовуються, так як 1) корисний сигнал завжди низькочастотний (тобто він може пригнічуватись), 2) сам ОУ і сама САР є ФНЧ (тобто сам ОУ і сама САР пригнічує високочастотні перешкоди), 3) програмно ФВЧ і ФСЧ (відповідно програмний реальний диференціатор і програмна інтегро-диференціальна ланка) в ПЛК реалізується неефективно (неефективною є реалізація саме операції ідеального диференціювання).

Задача внутрішньої фільтрації сигналу в ПЛК – відфільтрувати корисний сигнал (значення регульованого параметру) і пригнітити перешкоду. Корисний сигнал завжди низькочастотний. Якщо сигнал перешкоди високочастотний, то треба використовувати ФНЧ, і це ефективно. Якщо сигнал перешкоди нижчої частоти, ніж корисний, то треба використовувати ФВЧ, що неефективно. Саме тому зовнішні фільтри не мають пропускати на вхід САР низькочастотну перешкоду, так як вона буде фактично однакової частоти з корисним сигналом (в цьому випадку САР буде реагувати на перешкоду як на корисний сигнал хибним регулюванням, що неприпустимо). Саме тому зовнішні фільтри для САР мають бути ФВЧ, або, краще, ФСЧ (пригнічувати низькочастотну перешкоду; пропускати більш високочастотний корисний сигнал; пригнічувати ще більш високочастотну перешкоду). Це відрізняється від радіоприладів (смартфонів), де принципово використовуються внутрішні ФНЧ, які пригнічують високочастотну перешкоду (атмосферні електромагнітні наведення) і пропускають низькочастотний корисний сигнал (голосовий сигнал).

Моделювання зовнішньої і внутрішньої фільтрації в типовій теплоенергетичній САР дало наступні результати (типовість промислової САР як теплоенергетичної визначена «повільними» параметрами об'єкту управління і «повільними» параметрами ПІ-регулятора).

Зовнішня фільтрація є більш ефективною, ніж внутрішня, хоча і набагато дорожчою. Треба використовувати дорогі зовнішні фільтри у вигляді електромагнітних екранів, дорогих скручених пар, сучасної кабельної системи, сучасної системи заземлення. Ці фільтри є фільтрами низьких частот (ФНЧ), тобто зовнішня фільтрація (фільтрація екрануванням і заземленням) є низькочастотною фільтрацією.

Треба розрізняти, для чого використовується відфільтрований сигнал – для регулювання чи виключно для інформації (візуалізації, алармування, архівації).

Задачею класичної зовнішньої фільтрації є пригнічення високочастотних перешкод і пропускання низькочастотних сигналів, які вважаються корисними, тобто робочими; це ФНЧ. Але для промислових ТОО цього недостатньо, так як не всі низькочастотні сигнали є корисними, а можуть бути низькочастотними перешкодами; САР такі перешкоди не відрізняє від низькочастотних коливань регульованих параметрів і реагує хибним регулюванням; крім того, сама САР є ФНЧ, тобто практично не реагує на високочастотні перешкоди. Введення додаткових внутрішніх ФНЧ в замкнений контур регулювання погіршує якість регулювання. Таким чином, з позицій регулювання як зовнішня, так і внутрішня низькочастотна фільтрація (ФНЧ) є неефективною. Навпаки, ефективною є високочастотна (краще смугова) фільтрація перешкод; але: 1) високочастотна фільтрація (ФВЧ) і смугова фільтрація (ФСЧ) практично не можуть бути реалізовані, як зовнішньо (екрануванням), так і внутрішньо (програмно); всі фільтри, які практично можливо реалізувати, є ФНЧ; 2) високочастотна фільтрація перешкод може пригнічувати корисний низькочастотний сигнал (а не тільки шкідливу низькочастотну перешкоду).

Зовнішня і внутрішня низькочастотна фільтрація (ФНЧ) є ефективною саме для інформаційних задач (систем), де немає замкнених контурів регулювання. Ефективна зовнішня фільтрація реалізується ефективним екрануванням. Ефективна внутрішня фільтрація реалізується програмно розробленими ФНЧ; переважно достатньо аперіодичної ланки 1-го порядку, інколи 2-го порядку. Для промислових інформаційних систем високочастотна і смугова фільтрації (ФВЧ і ФСЧ) не мають сенсу; високочастотна фільтрація (ФВЧ) зрідка має сенс тільки для швидкісних технологічних процесів, наприклад, для зварювання (необхідно відфільтрувати корисні високочастотні сигнали і пригнітити низькочастотну перешкоду, як правило, за живленням, тобто частотою змінного струму 50 Гц). В загальному випадку, найбільш шкідливими для інформаційних систем є саме відносно низькочастотні перешкоди частотою 50 Гц, продукуванні електромагнітним наведенням. Задача зовнішньої і внутрішньої фільтрації для інформаційних систем – пригнітити перешкоду 50 Гц і відфільтрувати (пропустити на вихід) корисний низькочастотний сигнал (частотою, меншою за 50 Гц).

Так як АСУ є як автоматичною, так і інформаційною системою (включає в себе як ІВС в складі САР, так і автономні ІВС), то зовнішня і внутрішня низькочастотна фільтрація є необхідною для АСУ (саме для автономних ІВС, які є невід’ємною частиною АСУ; автономні інформаційні функції є такі ж важливі, як і функції регулювання).

Таким чином, фінансові вкладення в коштовну зовнішню фільтрацію є ефективними і рекомендованими, так як зменшать загальну вартість володіння (ТСО – total cost of ownership) АСУТП за період життєвого циклу ТОУ.

Висновки і рекомендації.

1. Зовнішня низькочастотна фільтрація (апаратно реалізоване екранування від електромагнітних наведень) програмно-технічних засобів САР є неефективною, так як вона пропускає на вхід регулятора низькочастотну

перешкоду, яку регулятор не може відрізнити від низькочастотного виміряного регульованого параметру, сприймає як зміну регульованого параметру і відповідно реалізує регулювальну дію, яка, в даному випадку, є зайвою і помилковою. Екранування має сенс виключно як засіб запобігання електромагнітних уражень апаратури САР.

2. Використання внутрішнього ФНЧ в ПЛК (програмно реалізованого ФНЧ в ПЛК) в замкненому контурі регулювання є неефективним, так як фактично вносить додаткову інерційність в контур регулювання. Так як ОУ сам ФНЧ, то високочастотні перешкоди практично не впливають на якість регулювання в САР.

3. Використання внутрішнього ФНЧ в ПЛК є ефективним для фільтрації сигналу, який передається для візуалізації на реєструючий прилад, або в HMI/SCADA-систему.

4. Як внутрішній програмний ФВЧ в ПЛК, так і зовнішня апаратна високочастотна фільтрація не може бути реалізована, так як ФВЧ повинен мати в своєму складі ланку реального диференціювання, що практично неможливо реалізувати як апаратно, так і програмно[3].

2 Огляд задач і способів фільтрації сигналів і даних в промисловості

2.1. Основні цілі фільтрації

У наш час передача інформації є надзвичайно важливою задачею, особливо коли передача відбувається швидко та без помилок. Оскільки зараз інформація зазвичай набуває вигляду цифрового електричного сигналу то передача її від передавача до приймача перетворюється на задачу яку не так легко виконати як відправити листа. Зараз електричні сигнали у великій кількості передаються та сприймаються одночасно, також вони можуть перетворюватись та шифруватись, цифрові звісно як і усі електронні сигнали створюють магнітні поля, та мають властивості звичайного струму, отже на них можуть впливати електромагнітні та інші перешкоди, а також самі сигнали можуть бути, тому цифрова фільтрація займає важливе місце для якісної передачі сигналів для бідь якої серйозних задачі, особливо на підприємствах та фабриках.

Тому для того щоб передавати сигнали без перешкод в найбільш можливій якості почали використовувати інформаційні фільтри.

Задача фільтру відокремити інформаційний сигнал від шуму що може передаватися разом з ним за певних обставин. Проілюстровано ідеологію роботи інформаційного фільтру на рисунку 2.1.1.

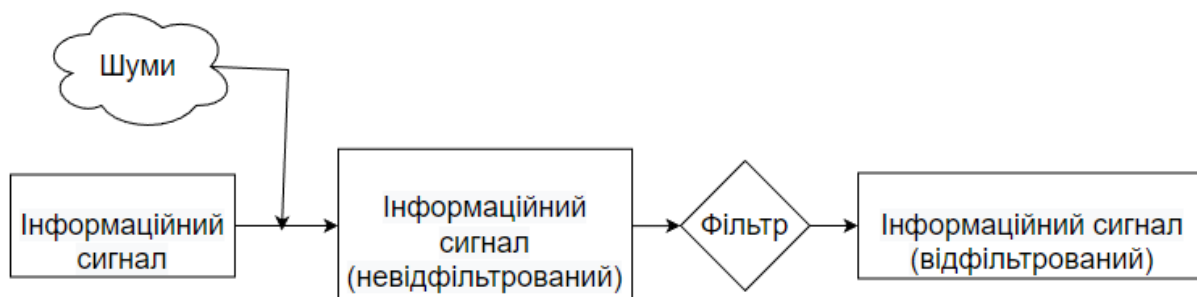


Рисунок 2.1.1 – Принцип дії інформаційного фільтру

Будь-який безперервний (аналоговий) $s(t)$ сигнал може бути підданий дискретизації за часом і квантування за рівнем (оцифрування), тобто представлений в цифровій формі. Якщо частота дискретизації сигналу F_d не

менше, ніж подвоєна найвища частота у спектрі сигналу F_{\max} (тобто $F_d \geq 2 * F_{\max}$ за теоремою Найквіста-Котельнікова), то отриманий дискретний сигнал $s(k)$ еквівалентний сигналу $s(t)$ у тому сенсі, що $s(t)$ може бути точно відновлений з $s(k)$ [3].

За допомогою математичних алгоритмів $s(k)$ перетворюється на інший сигнал $s_1(k)$, що має необхідні властивості. Процес перетворення сигналів називається фільтрацією, а пристрій, який виконує фільтрацію, називається фільтром. Оскільки відліки сигналів надходять із постійною швидкістю F_d , фільтр повинен встигати обробляти поточний відлік до наступного, тобто обробляти сигнал у реальному часі. Для обробки сигналів (фільтрації) у реальному часі застосовують спеціальні обчислювальні пристрої – цифрові сигнальні процесори.

Цифровий фільтр — поняття в електроніці, будь-який фільтр, що обробляє цифровий сигнал з метою відокремлення та/або придушення певних частотних складових цього сигналу. На відміну від цифрового, аналоговий фільтр має справу з аналоговим сигналом, його властивості не дискретні, відповідно, передаточна функція залежить від внутрішніх властивостей його складових елементів.

Сьогодні цифрові фільтри застосовуються практично всюди, де потрібна обробка сигналів, зокрема у спектральному аналізі, обробці зображень, обробці відео, обробці мови та звуку і багатьох інших додатках.

Перевагами цифрових фільтрів перед аналоговими є:

- Висока точність (точність аналогових фільтрів обмежена допусками на елементи).
- На відміну від аналогового фільтру передавальна функція не залежить від дрейфу характеристик елементів.
- Гнучкість налаштування, легкість зміни.

- Компактність — аналоговий фільтр на дуже низьку частоту (долі герца, наприклад) вимагав би надзвичайно громіздких конденсаторів або індуктивностей.

Недоліками цифрових фільтрів у порівнянні з аналоговими є:

- Важкість роботи з високочастотними сигналами.
- Смуга частот обмежена частотою Найквіста, рівною половині частоти дискретизації сигналу. Тому для високочастотних сигналів застосовують аналогові фільтри, або якщо на високих частотах немає корисного сигналу, спочатку придушують високочастотні складові за допомогою аналогового фільтру, потім обробляють сигнал цифровим фільтром.
- Важкість роботи в реальному часі — обчислення мають бути завершені протягом періоду дискретизації.

Для більшої точності та високої швидкості обробки сигналів потрібен не тільки потужний процесор, але і додаткове, можливо високовартісне, апаратне забезпечення у вигляді високоточних та швидких ЦАП і АЦП.

Розрізняють два види реалізації цифрового фільтру: апаратний та програмний.

Апаратні цифрові фільтри реалізуються на елементах інтегральних схем, тоді як програмні реалізуються за допомогою програм, виконуваних процесором або мікроконтролером.

Перевагою програмних перед апаратними є легкість втілення, а також налаштувань та змін, а також те, що у собівартість такого фільтру входить тільки праця програміста.

Недолік — низька швидкість, що залежить від швидкодії процесора, а також важкість написання цифрових фільтрів високого порядку.

Цифрові фільтри поділяються на два види зокрема на: фільтр з нескінченною імпульсною характеристикою (рекурсивний фільтр, НІХ-фільтр) — електронний фільтр, що використовує один, або більше своїх виходів як вхід, тобто утворює зворотний зв'язок.

Основною властивістю таких фільтрів є те, що їх імпульсна перехідна характеристика має нескінченну довжину у часовій області, а передавальна функція має дробово-раціональний вигляд.

Такі фільтри можуть бути як аналоговими, так і цифровими. Також фільтр зі скінченною імпульсною характеристикою (нерекурсивний фільтр, СІХ-фільтр) — один з видів електронних фільтрів, характерною особливістю якого, є обмеженість по часу його імпульсної характеристики (з якогось моменту часу вона стає точно рівною нулеві). Такий фільтр називають нерекурсивним через відсутність зворотного зв'язку. Знаменник передавальної функції такого фільтру — певна константа.

Лінійний фільтр — динамічна система, яка застосовує певний лінійний оператор до вхідного сигналу виділення чи придушення певних частот сигналу та інших функцій з обробки вхідного сигналу[10].

Найчастіше вони використовуються у тому, щоб пригнітити небажані частоти вхідного сигналу, або щоб виділити потрібну смугу частот в сигналі.

Існує велика кількість різних типів та модифікацій лінійних фільтрів, у статті описані найпоширеніші.

Незважаючи на природу фільтра - механічну, оптичну, електронну, програмну або електричну, а також на частотний діапазон, в якому вони працюють, математична теорія лінійності є універсальною і може бути застосована до будь-якого з них.

По виду частотної характеристики фільтри поділяються на:

- 1) Фільтр низьких частот – пропускає низькі частоти сигналу.

Фільтр низьких частот (low-pass filter) — фільтр, який пропускає низькі частоти, та послаблює частоти, розташовані вище за частоту зрізу фільтра.

Реактивний опір конденсатора зменшується з частотою, а отже конденсатор пропускає тільки високочастотні сигнали, й тим краще, чим вища частота. У результаті на високих частотах конденсатор шунтує сигнал. На виході такого чотириполосника залишиться лише сигнал низької частоти.

Частотна характеристика RC фільтру: $\omega = \frac{1}{RC}$

Існує багато цифрових фільтрів, які розроблені так, щоб повторювати характеристики фільтрів низьких частот. Широко використовуються як, рекурсивні фільтри так і фільтри із скінченною імпульсною характеристикою, а також фільтри із застосуванням перетворення Фур'є.

2) Фільтр високих частот – пропускає високі частоти сигналу.

Тобто це електронний фільтр, що пропускає високочастотні сигнали, але зменшує амплітуду сигналів з частотами нижче частоти зрізу. Фактична величина ослаблення для кожної частоти варіюється у різних фільтрів. Фільтр верхніх частот зазвичай моделюється як лінійна стаціонарна система. Високочастотні фільтри застосовують для блокування постійного струму від електричної схеми чутливої або ненульової середньої напруги або радіочастотного пристрою. Вони також можуть бути використані разом із фільтром нижніх частот, для побудови смугового фільтру.

Цей фільтр, як і фільтр низьких частот, можна реалізувати як фізично так і в програмному вигляді:

Простий електронний фільтр високих частот першого порядку, реалізується шляхом під'єднання вхідної напруги до послідовно з'єднаних резистора та конденсатора і з використанням напруги на резисторі як вихідного сигналу. Результат добутку значень опору та ємності ($R \times C$) є часова константа (τ); вона обернено пропорційна частоті зрізу f_c , тобто:

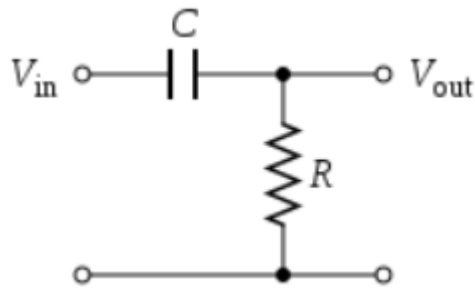


Рисунок 2.1.2 – Пасивний, аналоговий, високочастотний фільтр першого порядку, реалізований за допомогою RC-ланцюжка

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC}$$

де f_c вимірюється в герцах, τ — в секундах, R — в Омах, а C — в Фарадах.

На рисунку 2.1.3 показана електронна реалізація активного високочастотного фільтру першого порядку з використанням операційного підсилювача. У цьому випадку фільтр має кутову частоту.

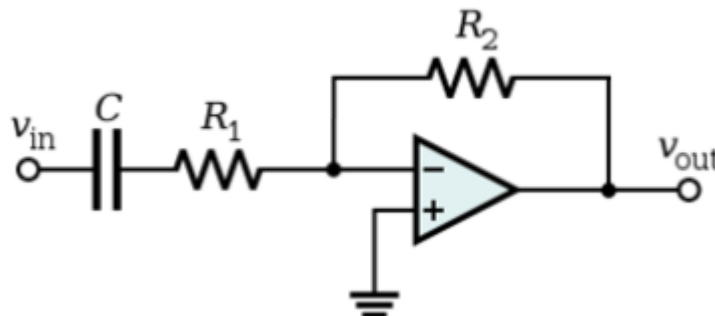


Рисунок 2.1.3 – Активний фільтр високих частот

Смуговий фільтр – пропускає обмежену смугу частот сигналу.

Смуговий фільтр — електронний фільтр, що пропускає сигнали в певному діапазоні частот, і послаблює (вирізає) сигнали частот за межами цієї смуги. Наприклад, смуговий фільтр на 1800 - 1900 МГц пропускає тільки сигнали, частота яких лежить в інтервалі 1800 ÷ 1900 МГц. При цьому частота 1800 МГц

називається нижньою частотою зрізу, а 1900 МГц — верхньою частотою зрізу. На цих частотах придушення сигналу повинно складати 3 дБ.

Смуговий фільтр може бути представлений як комбінація фільтрів низьких і високих частот, якщо смуга пропускання достатньо широка, щоб два фільтри не надто сильно взаємодіяли. Більш загальний підхід полягає в тому, щоб спроектувати прототип фільтра низьких частот, який потім можна перетворити на смуговий обмежувач. Показаний простий режекторний фільтр можна безпосередньо проаналізувати. Передатна функція є:

$$H(s) = \frac{s^2 + \omega_z^2}{s^2 + \frac{\omega_p}{Q}s + \omega_p^2}$$

Тут ω_z — нульова кругова частота, ω_p — полюсна кругова частота, нульова частота — частота зрізу, а ω_p — встановлює тип стандартного режекторного фільтра, коли $\omega_z = \omega_p$ низька частота ($\omega_z > \omega_p$) і верхня частота ($\omega_z < \omega_p$) фільтри. Q позначає Q-фактор [10].

Для стандартного різкового фільтра формулювання можна переписати як:

$$H(s) = \frac{s^2 + \omega_0^2}{s^2 + \omega_c s + \omega_0^2}$$

де ω_0 — центральна частота відхилення, а ω_c — ширина відхиленої смуги.

- Фазовий фільтр – пропускає всі частоти сигналу, але змінює його фазу.

Фазовий фільтр — електронний або будь-який інший фільтр, що пропускає всі частоти сигналу з рівним посиленням, проте змінює фазу сигналу. Відбувається це при зміні затримки пропускання по частотах. Зазвичай такий фільтр описується одним параметром — частотою, на якій фазове зрушення досягає 90°.

Реалізація з використанням фільтра низьких частот

Базовий повно прохідний фільтр операційного підсилювача, що містить фільтр низьких частот [13].

Схема операційного підсилювача, показана на сусідньому малюнку, реалізує однополюсний активний повний фільтр, який має фільтр низьких частот на неінвертуючому вході операційного підсилювача. Передаточна функція фільтра визначається як:

$$H(s) = -\frac{s - \frac{1}{RC}}{s + \frac{1}{RC}} = \frac{1 - sRC}{1 + sRC}$$

Фільтр має один полюс в $-1/RC$ і один нуль в $1/RC$ (тобто вони є відображенням один одного через уявну вісь комплексної площини). Величина і фаза $H(i\omega)$ для деякої кутової частоти ω .

Фільтр має одиничну величину посилення для всіх ω . Фільтр вводить різну затримку на кожній частоті та досягає квадратури вхід-вихід при $\omega=1/RC$ (тобто фазовий зсув становить 90°).

Ця реалізація використовує фільтр низьких частот на неінвертуючому вході для генерування фазового зсуву та негативного зворотного зв'язку[11].

- На високих частотах конденсатор замикається, створюючи інвертуючий підсилювач (тобто фазовий зсув на 180°) з одиничним коефіцієнтом посилення.
- На низьких частотах і постійному струмі конденсатор є відкритим ланцюгом, створюючи буфер напруги з одиничним посиленням (тобто без зсуву фази).
- На кутовій частоті $\omega=1/RC$ фільтра низьких частот (тобто, коли вхідна частота дорівнює $1/(2\pi RC)$), схема вводить зсув на 90° (тобто вихідний

сигнал є квадратурним із входом; вихід виглядає як затримуватися на чверть періоду від введення).

Насправді фазовий зсув фільтра всіх частот вдвічі перевищує фазовий зсув фільтра низьких частот на його не інвертуючому вході.

Зазвичай такі фільтри використовуються для компенсації інших небажаних фазових спотворень, що виникають в системі.

Лінійні фільтри всіх видів можуть бути однозначно описані за допомогою їх амплітудної та фазо-частотної характеристик або імпульсної характеристики. З математичної погляду безперервні НІХ-фільтри описуються лінійними диференціальними рівняннями, які імпульсні характеристики — функції Гріна цих рівнянь. Безперервні фільтри також можуть бути описані за допомогою перетворення Лапласа імпульсної характеристики (у разі дискретних фільтрів використовується Z-перетворення).

Для проектування фільтрів широко застосовуються графічні способи, наприклад, за допомогою діаграм Боде або Найквіста, а також проектування на комплексній площині шляхом розміщення нулів і полюсів передавальної функції фільтра.

Існує ряд різних типів фільтрів на вигляд частотної характеристики, які забезпечують якісне виконання тих чи інших завдань.

Найбільш поширені типи НІХ-фільтрів:

- Фільтр Бесселя
- Фільтр Баттерворта
- Фільтр Чебишева
- Еліптичний фільтр

KIX-фільтри можуть бути здійснені за допомогою згортки сигналу з імпульсною характеристикою фільтра.

В свою чергу нелінійний фільтр — пристрій обробки сигналів, вихід якого є лінійним оператором від вхідного сигналу.

Нелінійний фільтр використовує такі методи вирішення задачі нелінійної фільтрації:

- Подання нелінійної системи за допомогою нескінченної суми інтегралів Вольтерра. В ідеалі забезпечує мінімум середнього квадрата помилки оцінювання. Незважаючи на те, що одержуване таким чином рішення не реалізується в точному вигляді, наближені рішення можуть зменшити середньоквадратичну помилку порівняно з використанням оптимальної лінійної системи.
- Обмеження класу досліджуваних процесів одновимірними Марківськими чи компонентами багатовимірних Марківських процесів.
- Використання квазілінійних методів, заснованих на використанні малого параметра.

Нелінійна фільтрація найчастіше використовується для цифрової обробки зображень і є незручною в лінійних систем, в промисловості звісно, в реальних системах, ідеальних лінійних сигналів не існує і всі сигнали є нелінійними і неможливо проводити фільтрацію окремо від регулювання, тому на практичних об'єктах використовують різні фільтри які враховують нелінійні параметри.

Але, оскільки в навчальному посібнику ми розглядаємо саме тему фільтрації і її вплив на сигнали, то ми будемо розглядати лінійні системи бо в них нам не буде потрібно враховувати зміни сигналу під час регулювання що будуть вносити збурення в лінійні фільтри.

2.2. Найбільш поширені фільтри в промисловості

У деяких програмах рекомендується невелика фільтрація даних або її відсутність. Це часто стосується сигналів, що надсилаються до алгоритмів алармування або систем збору даних, а також сигналів, що подаються в інтерфейсі людина-машина для критичних параметрів процесу (тобто тих, що впливають на якість продукту) у процесах, регульованих «поточною належною виробничою практикою» (сGMP).

У таких програмах важливо відстежувати та записувати справжні деталі відхилень процесу, а не зменшувати сприйняту величину або збільшити сприйняту тривалість сплесків процесу за допомогою фільтрації.

У деяких випадках може бути корисним використання та запис двох форм змінної процесу, одна з яких є необробленими даними з приладу (корисно для аналізу деталей процесу або зміни системи), а друга — відфільтрована версія, корисна для ПІД-регулювання або трендові сюжети для презентації та публікації[4].

Кілька різних технологій фільтрації даних використовуються в системах промислової автоматизації. У цій статті обговорюються деякі з них, включно з коментарями щодо плюсів і мінусів, і систематизується за категоріями видалення шуму, видалення викидів і видалення паразитного сигналу.

Більшість систем управління (розподілені системи управління, програмовані логічні контролери або ПК) не мають широкого меню параметрів фільтрації даних для вибору; деякі мають лише один або два, які зазвичай застосовуються в переробній промисловості. Однак більшість систем мають певну форму блоків обчислень, які користувачі можуть програмувати або налаштовувати як частину прикладного програмного забезпечення, тому

користувачі можуть реалізувати будь-який алгоритм фільтрації даних, який вважається відповідним.

2.3. Методи видалення шуму

Концепція полягає в тому, що процес утримує постійне значення в часі, а сигнал спотворюється випадковими флуктуаціями. Мета фільтра — виявити основне значення.

Фільтр ковзного середнього (MA- moving average): фільтр ковзного середнього повідомляє звичайне середнє значення даних у вікні:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

у якому $i = 1$ вказує на найновіші дані, i середнє – за останні N значень даних.

Це називається вікном даних. При кожній вибірці вікно переміщується, вводяться найновіші дані, а виходять найстаріші. Користувачеві потрібно вказати довжину вікна або як тривалість часу, або як кількість даних у вікні. Чим більше даних, тим менша мінливість у середньому. У стабільному стані (номінальне значення не змінюється, але вимірювання коливаються випадковим чином через вплив шуму), мінливість середнього пов'язана з мінливістю окремих даних:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma_{x_i} / \sqrt{N}$$

Вплив \sqrt{N} вірний для будь-якої міри мінливості, наприклад діапазону. Примітка: варіацію не можна усунути усередненням, чи просто зменшити. Користувачеві потрібно вибрати значення N . Більше N означає меншу варіацію, але це також означає, що середньому знадобиться більше часу, щоб наблизитися до нового значення, коли значення даних змінюється.

На рисунку 2.3.1 показаний процес (дані є маркерами), який спочатку перебуває в стабільному стані з шумом при номінальному значенні 2, а потім

робить ступінчасту зміну до нового значення 5 на 30-й вибірці. Значення даних відкладено по вертикальній осі, а номер зразка – по горизонтальній. Спайк даних, помилковий сигнал із значенням нуль, виникає при вибірці 120. Тонка пунктирна лінія з'єднує точки даних, щоб допомогти виявити тенденцію. Наступні малюнки покажуть результати різних методів фільтрації тих самих даних.

На рисунку 2.3.1 суцільна лінія представляє фільтр ковзного середнього з $N=3$, а пунктирна лінія — з $N=30$. Зверніть увагу на кілька особливостей:

МА з $N=3$ швидше підвищує нове значення даних, але його варіація більша, ніж МА з $N=30$.

Характер відповіді МА-фільтра на ступінчасту зміну сигналу є лінійним нахилом до нового значення, який триває N вибірок.

Відповідь на одноразовий викид є імпульсом, який має тривалість N вибірок і величину $1/N^{(\text{th} \text{ спробу})}$ відхилення викиду.

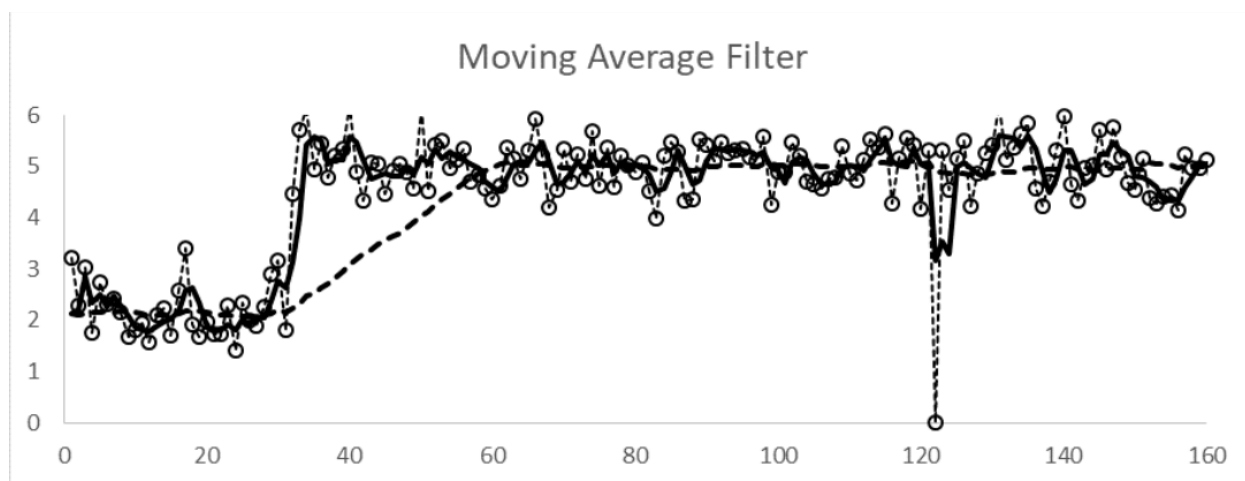


Рисунок 2.3.1 – Характеристика продуктивності фільтра ковзного середнього до зміни кроку процесу та стрибка

Перевагою МА-фільтра є те, що концепція усереднення зрозуміла, і вибір налаштування довжини вікна N легко пов'язати. Наприклад, ковзні середні є поширеними у звітах про ефективність акцій компанії. За наявності періодичних

збурень довжина вікна, вибрана відповідно до періоду, призведе до сигналу, який переходить до нового середнього значення за один період. Однак алгоритм викликає деяку затримку в аварійних сигналах процесу та програмах керування процесом, які усвідомлюють і реагують на раптову зміну процесу. Алгоритм не відхиляє викиди даних[4].

Фільтр першого порядку (FoF): фільтр першого порядку має кілька альтернативних імен, зокрема експоненціально зважене ковзне середнє (EWMA) і авторегресійне ковзне середнє (ARMA). FoF представляє методи аналогового пристрою для фільтрації електронного резистора-конденсатора або пневматичного обмеження та сільфона, але його можна виконати цифровим способом. Перевагою є те, що він простіший в обчисленні, ніж MA-фільтр, який повинен зберігати та обробляти всі дані у вікні. Рівняння FoF:

$$X_{f,i} = \lambda X_i + (1 - \lambda) X_{f,i-1} .$$

Тут лямбда, λ , є коефіцієнтом фільтра (вона не пов'язана з лямбда-налаштуванням). Вона коливається від 0 до 1, $0 < \lambda < 1$.

X_i — останні вимірювання даних; $X_{f,i-1}$ — попереднє відфільтроване значення; а $X_{f,i}$ — нове відфільтроване значення. Якщо вивести рівняння як наближення до методу ковзного середнього, по суті:

$$\lambda = 1/N$$

Іноді використовують символ f для коефіцієнта фільтра, а деякі змінюють значення λ і $(1-\lambda)$. Якщо вивести FoF з диференціального рівняння, що представляє RC-ланку першого порядку, тоді:

$$\lambda = 1 - e^{-\Delta t/\tau},$$

де Δt – інтервал дискретизації, а τ – постійна часу. При значній фільтрації постійна часу приблизно пов'язана з кількістю даних, $\tau \cong \Delta t N$. Користувач повинен знати, як виробник представляє фільтр.

FoF також пом'якшує, але не усуває шум. Тут, якщо процес є сталим, з випадковими флуктуаціями, співвідношення для ослаблення мінливості є:

$$\sigma_{x_f} = \sigma_{x_i} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}.$$

Користувач вибирає значення λ (або альтернативно f для τ), щоб зменшити шум. Хоча перевага FoF над фільтром МА полягає в простоті обчислень, негативною стороною є постійний вплив давно минулих даних. У МА, коли значення даних виходить за межі вікна, воно більше не впливає на середнє значення. Однак у FoF минулі значення експоненціально зважені, згасаючи з часом, але ніколи повністю не зникаючи.

Рисунок 2.3.2 ілюструє продуктивність FoF. Відфільтроване значення створює реакцію першого порядку на зміну в процесі. Значення лямбда (суцільна лінія) і i (пунктирна лінія) вибрано для представлення того самого шумозаглушення, отриманого за допомогою значень $N = 3$ і $N = 30$ МА-фільтра, $\lambda = 2 / (N + 1)$.

Примітка:

Обидва відфільтровані значення показують експоненціальне зростання до нового значення, вимагаючи трьох-чотирьох констант часу з періодом $N \cong 3,5/\lambda$, щоб зробити приблизно 97 відсотків зміни, щоб досягти близькості до нового значення.

Після сплеску в зразку 120 відбувається поступова релаксація назад до відфільтрованого значення.



Рисунок 2.3.2 – Характеристика продуктивності фільтра першого порядку до зміни кроку процесу та стрибка

Ключова перевага FoF над фільтром МА полягає в тому, що алгоритм простий в обчислювальному плані. Однак інтерпретація коефіцієнта фільтра або постійної часу менш інтуїтивно зрозуміла, ніж вибір N у ковзному середньому. І FoF не відхиляє викиди [1].

У МА або FoF користувач повинен вибрати значення коефіцієнта фільтра, щоб найкраще збалансувати період затримки або наростання та бажано пом'якшити зміну. У будь-якому випадку користувач повинен усвідомити, що затримка може бути шкідливою для керування, якщо вона подібна за величиною до основної постійної часу або мертвого часу процесу. Постійну часу фільтра не слід вибирати такою, щоб вона перевищувала $1/5$ основної постійної часу.

Фільтрування може бути в будь-якій кількості місць (наприклад, на приладі чи датчику, у системі передачі даних, на платах вводу-виводу, у пристрої керування або як опція в алгоритмі керування). З правильно реалізованим контролером, який використовує режим похідної, фільтрація CV може взагалі не знадобитися. Обидва алгоритми приховують справжню величину та тривалість стрибків процесу.

Фільтр Баттерворта: фільтри Баттерворта — це сімейство фільтрів для адресації шуму низьких, високих або обмежених смугою частот. Фільтр низьких частот Баттерворта першого порядку такий самий, як і FoF. Коли порядок фільтра збільшується, тим гострішим є амплітудний відгук на частоті зрізу, але в систему вводиться більше затримки.

Амплітудно-частотна характеристика $G(\omega)$ фільтра Баттерворта n -го порядку може бути отримана з передавальної функції $H(s)$:

$$G^2(\omega) = |H(j\omega)|^2 = \frac{G_0^2}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}} \text{ де}$$

- n – порядок фільтра
- ω_c – частота зрізу (частота на якій амплітуда дорівнює -3 дБ)
- G_0 – коефіцієнт посилення за постійною складовою (посилення на нульовій частоті)

Полюси передавальної функції розташовані на колі радіуса ω_c рівновіддалено один від одного в лівій напівплощині. Тобто передавальну функцію фільтра Баттерворта можна визначити лише визначенням полюсів його передавальної функції в лівій напівплощині s -площині. k -й полюс визначається з наступного виразу:

$$-\frac{s_k}{\omega_c} = (-1)^{\frac{2k-1}{n}} = e^{\frac{j(2k-1)\pi}{n}} \quad k=1,2,3,\dots,n$$

звідки

$$s_k = \omega_c e^{\frac{j(2k+n-1)\pi}{2n}} \quad k=1,2,3,\dots,n$$

Передачу функцію можна записати у вигляді:

$$H(s) = \frac{G_0}{\prod_{k=1}^n (s - s_k) / \omega_c}$$

Аналогічні міркування застосовні і до цифрових фільтрів Баттерворта, з тією лише різницею, що співвідношення записуються не для s - площини, а для z - площини. Знаменник цієї передавальної функції називається поліномом Баттерворта [14].

GoF усуває високочастотний шум (варіація від даних до даних), але відстежує середнє значення. Однак у деяких електронних додатках, що базуються на частоті, користувач бажає мати як фільтр низьких частот, так і фільтр високих частот. Незважаючи на те, що він популярний в електронних додатках, він рідко використовується для моніторингу або контролю процесів. Деякі системи керування використовують низькочастотний фільтр Баттерворта другого порядку через його точнішу реакцію на зміни процесу (тобто нижча частота зрізу може бути використана для отримання такого самого бажаного загасання).

Статистичний фільтр: один із кількох підходів базується на прагненні «Шість сігма» (статистичне керування процесом) створене для запобігання втручанню. У розглянутих фільтрах, навіть за стабільних умов, фільтр буде постійно повідомляти про невеликі відхилення, і якщо він використовується в автоматичному управлінні, контролер намагатиметься виправити цей залишковий шум. Концепція запобігання втручання полягає у зберіганні єдиного відфільтрованого значення, доки не буде статистично достовірного підтвердження того, що значення процесу змінилося, а потім змінить відфільтроване значення. В одному методі спостережуваною метрикою є кумулятивна сума (CUSUM) відхилень вимірювання від відфільтрованого значення. Якщо CUSUM стає статистично значущим (можливо, на рівні 3-сігма), то є адекватне обґрунтування для зміни відфільтрованого значення.

$$IF \left(\frac{CUSUM}{\sigma\sqrt{N}} > 3 \right) THEN (X_{SPC} = \chi_{SPC} + CUSUM/N) \cdot$$

На рисунку 2.3.3 показано фільтр CUSUM для тих самих даних. Зауважте, що відфільтрований сигнал не змінюється протягом початкового стаціонарного періоду та швидко змінюється, коли відбувається реальна зміна. Знадобилося близько п'яти зразків, щоб бути статистично впевненим у зміні від 2 до 5. У цьому наборі даних фільтр не стрибнув досить далеко, але зробив виправлення після того, як зразки в період від 40 до 60 забезпечили достатню достовірність. Також зауважте, що викид (різкий стрибок) у зразку 120 було відхилено.

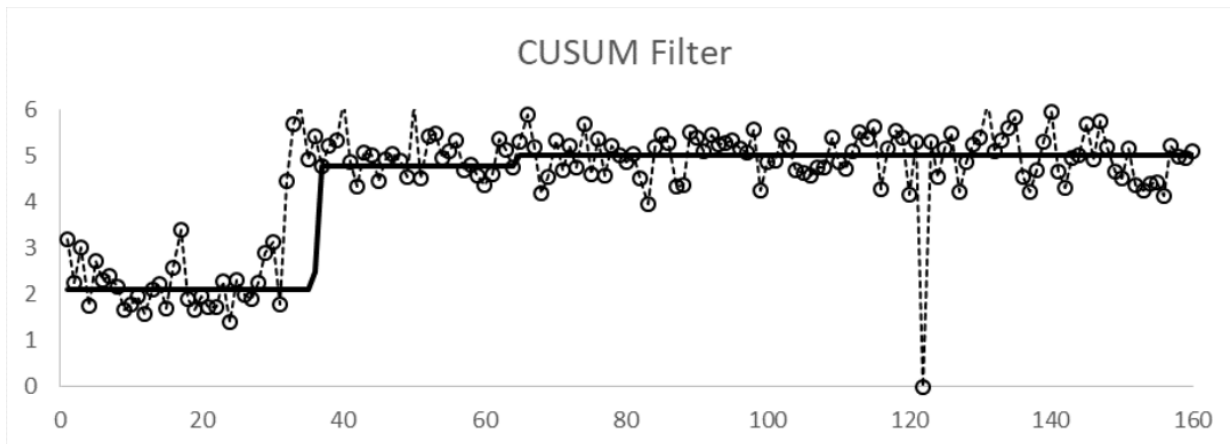


Рисунок 2.3.3 – результат фільтрації сигналу за допомогою фільтра CUSUM

Статистичні фільтри не залежать від масштабу; вони адаптуються до амплітуди шуму. Один автор часто застосовує фільтр CUSUM до виходу контролера, щоб зменшити дію контролю, а не маскувати вхідну активність CV. Однак додавання зони нечутливості або обмеження швидкості до вихідного сигналу також є ефективним у темперуванні контролера, хоча така дія не є самоадаптивною до змін амплітуди шуму. Статистичні фільтри також корисні для регулювання коефіцієнта процесу.

Фільтр на основі статистики швидко рухається, коли зміна впевнено виявлена та зберігає постійне значення між ними. Коли амплітуда шуму процесу змінюється, чутливість автоматично змінюється. Однак код для цього фільтра CUSUM складається приблизно з 10 рядків і вимагає, щоб шум був відносно сумісним з основою незалежних флуктуацій від вибірки до вибірки. Інтерпретація статистичного тригера користувачем буде незнайомою для багатьох.

Фільтр Калмана — це статистичний фільтр, який значно складніший за інші фільтри, підсумовані в цій статті. Він порівнює дані з моделлю, а потім повідомляє значення, яке має більшу статистичну достовірність.



Рисунок 2.3.4 – Діаграма з основними кроками фільтрування Калмана: передбачення та уточнення

Також ілюструє, як цей фільтр відстежує не лише середнє значення стану, але й оцінену дисперсію [15].

Фільтр Калмана відстежує оцінюваний стан системи та дисперсію або невизначеність оцінки. Оцінка оновлюється з використанням моделі переходу, та вимірювань. позначає оцінку стану системи у момент часу k до того, як k -те вимірювання u_k було взято до уваги; є відповідною невизначеністю.

Хоча він поширений в електронній та аерокосмічній промисловості, де лінійні моделі доречні, а швидкі комп'ютери є виправданими, воно не є поширеним у СРІ.

2.4. Фільтри для видалення викидів

Тут концепція полягає в тому, що сигнал постійний, але трапляється випадкова подія, яка забезпечує одноразове (або короткочасне) абсолютно нехарактерне значення. Це часто називають викидом, фантомом або фіктивною подією. Мета фільтра полягає не в усередненні, а в тому, щоб ігнорувати цей викид, який може бути пов'язаний із випадковим випаданням даних або електричним сплеском. Джерела електрики включають стрибки напруги або струму внаслідок удару блискавки поблизу, радіозв'язку (RFI), запуску двигунів поблизу або електричних “підлогочисток”. Ослаблені чи корозійні з'єднання проводів, датчики, які зазнають механічних ударів, або випущені пакети даних у перевантаженій системі зв'язку також можуть спричинити короткочасні або одно вибірккові викиди.

Медіанний фільтр: Медіанний фільтр повідомляє середину останніх значень — не середину в хронологічному порядку, а середину за значенням. Наприклад, якщо останні три значення дорівнюють 5, 6 і 3, повідомляється середнє значення 5. Часто використовуються резервні датчики, у яких середнє з трьох вимірювань береться як значення процесу, у процедурі, яка називається голосуванням. Однак голосування є окремим випадком одночасно паралельних вимірювань. У медіанному фільтрі середнє з трьох – це послідовність даних. Медіанний фільтр може базуватися на трьох, п'яти, семи чи близько того послідовних даних. Якщо ви підозрюєте, що два викиди можуть виникати послідовно через якусь загальну причину, тоді медіана 5 відхилить їх. Медіанний фільтр трохи пом'якшує шум, але метою програми має бути видалення викидів.

На рисунку 2.4.1. показано медіанний фільтр (середина з 3), застосований до того самого набору даних. Примітка:

- Коли сигнал ступінчасто змінюється на 30-й вибірці, фільтр має затримку приблизно в половину кількості даних.
- Викид у зразку 120 повністю ігнорується.
- У всьому, примхи сигналу по суті імітують вимірювання.

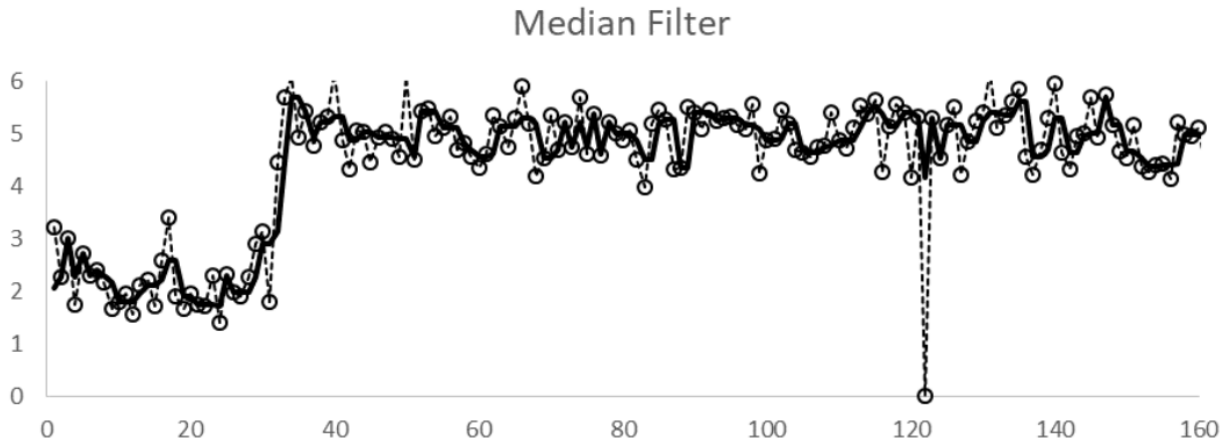


Рисунок 2.4.1 – Характерна продуктивність медіани (середина 3) до зміни кроку процесу та стрибка

Медіанний фільтр усуває викиди та швидко відстежує реальні зміни. Однак користувач повинен вибрати N , яке є достатньо великим, щоб виключити постійні викиди. Маскування викидів може спотворити важливі функції, а шум не буде видалено.

Узгодження даних: тут концепція полягає в тому, що датчик або кілька датчиків отримують систематичне зміщення, а звітні вимірювання піддаються не лише випадковому шуму, але й систематичній похибці. Гарне та часте калібрування могло б усунути цю проблему, але часто постійне повторне калібрування приладу незручне. Метою узгодження даних є використання простих моделей процесів для вилучення значень систематичних помилок із даних. Це потужна техніка, але вона вимагає дійсних моделей, резервних вимірювань процесів і онлайн-обчислень, які на порядок вище інших алгоритмів, які тут обговорюються.

Евристичні методи: вони визначаються користувачем, якщо це доцільно, і можуть ґрунтуватися на будь-якій кількості перевірок узгодженості даних або перевірок, які спостерігач може використати для оцінки правдивості. Наприклад, якщо раптова зміна в одному вимірюванні корелює з одночасною або попередньою зміною в іншому, тоді одноразовий ефект можна інтерпретувати як реальний, а не як викид. Логіка зазвичай реалізується як правила «якщо-тоді-інше», які пропускають дійсні дані та, можливо, позначають те, що здається викидами. Позначені дані потім можуть бути «викинуті» або проігноровані програмами керування процесом, але все одно зберігаються для цілей запису історії.

Створення та керування великими наборами правил «якщо-тоді» для перевірки даних, а також інших додатків (наприклад, діагностика процесів у реальному часі, інтелектуальна сигналізація) є сильною стороною експертних систем реального часу. Однак більшість комерційних систем автоматизації можуть легко впоратися з використанням малих і середніх наборів правил if-then-else[2].

Хоча математичні рівняння є основою звичайних фільтрів, людські логічні твердження можуть бути потужними додатковими способами «очищення» даних. Як застереження, може бути легко створити суперечливі евристики. Хоча експертні системи можуть допомогти, їх використання представляє додаткову парадигму для навчання та підтримки користувачів.

2.5. Інші фільтри

Аліасинг – це коли блукаючий високочастотний сигнал змішує сигнал вибірки даних. Джерела включають гармоніки від обертових електродвигунів, силових трансформаторів і радіопередач. Фільтр згладжування відкидає спотворений сигнал. У багатьох промислових платформах фільтр згладжування є простим фільтром першого порядку з постійною часу, яка встановлюється трохи швидше, ніж базова швидкість сканування для системи введення-виведення. Це здебільшого усуне вплив будь-яких сигналів із періодами, швидшими за ті, на які контролер може відреагувати, і запобіжить їх «відчуванню» як повільніші та триваліші періоди порушення. Високоякісні вхідні карти з відповідними фільтрами згладжування усувають радіодефекти для більшості поширених сигналів процесу [5].

У контурі є багато фільтрів, які можуть послаблювати шуми з різних джерел. Наприклад, термогільза діє як фільтр для пом'якшення коливань температури в рідині, коли пара та рідина транспортуються. Відставання в датчиках, таких як транспорт іонів через рН-мембрану, коливання концентрації температури. Усереднення в накопиченні зразка перед аналізом зменшує коливання. Інженер-технолог міг відрегулювати похідний фільтр, налаштувати позиціонер клапана або додати зону нечутливості на виході контролера чи приводі. Інженер-технолог може вибрати ефекти демпфування сигналу на діафрагмовому перетворювачі dP. Крім того, багато датчиків у промисловості сьогодні постачаються з власним мікропроцесором, який забезпечує певні функції, а деякі включають вбудовану фільтрацію даних, для якої клієнтам доступні певні налаштування (тобто постійна налаштування).

2.6. Перспективи застосування фільтрів:

- Фільтрування може бути використано або для зменшення шуму, або для усунення викидів. Використовуйте правильний інструмент фільтрації для різних програм.
- Якщо сигнал безшумний (і позбавлений збурень), тоді немає необхідності розглядати фільтрацію.
- Деякі додатки (через нормативні міркування) також можуть вказувати на те, що фільтрація не використовується в певних системах, хоча фільтри там присутні.
- Якщо рівень шуму змінюється, то користувачеві необхідно відрегулювати коефіцієнт фільтра, щоб підтримувати бажаний баланс послаблення шуму до затримки.
- Статистичні фільтри автоматично адаптуються до змін амплітуди шуму.
- Фільтрування додає затримку, що може погіршити дію керування або вимагати альтернативного налаштування контролера.
- Різноманітні методи фільтрації можна використовувати в комбінації, наприклад медіанний фільтр для усунення викидів, а потім FoF для зменшення шуму.
- Ефекти та параметри фільтрів є майже на кожному пристрої, тому їх застосування є ефективним у багатьох випадках.

Після того як було розглянуто найбільш поширені види фільтрів та аспектів фільтрації надалі у посібнику буде акцент уваги на лінійні системи з якими будуть проводитися дослідження які базовані на принципах суперпозиції, так як фільтрація в лінійних системах теоретично і принципово результати фільтрації співпадають з роботою фільтрів на реальних промислових об'єктах.

2.7. Особливі випадки фільтрації

Також, слід зазначити, що існують ситуації коли для фільтрації сигналів використання фільтру є не ефективним рішенням, і необхідний новий підхід для вирішення проблеми.

Для прикладу буде наведено уривок матеріалу зі статті яку розробили (УДК 681.5.08) і застосували на реальному об'єкті, а саме Київської ТЕЦ-6.

Основною задачею було виконати фільтрацію даних температурного контролю турбогенераторів в умовах значних промислових перешкод.

Добре відомо, що основне обладнання ТЕС України експлуатується вже довгий час і повністю або майже повністю використало свій ресурс. Внаслідок цього підвищується ймовірність відмов у роботі обладнання, що призводить до розвитку позаштатних та аварійних ситуацій і навіть до зупинки енергоблоків.

Суттєве поліпшення ситуації можливо за рахунок використання сучасних інформаційних систем. Чинниками цього є:

- підвищення ефективності роботи оперативного персоналу за рахунок своєчасного надання достовірної і повної технологічної інформації в зручному для сприйняття вигляді,
- запобігання аварійних ситуацій за рахунок безупинного контролю за ходом технологічного процесу, своєчасного виявлення порушень і аварійних подій, реалізації функцій сигналізації

Типовим прикладом задачі контролю за роботою основного обладнання є стеження за температурним режимом роботи електричного генератора енергоблоку 250МВт. Контроль за станом генератора під час роботи здійснюється вимірюванням температури в контрольних точках. В залежності від конструкції генератора нараховується до 50-150 точок вимірювання.

Контроль температурного режиму дозволяє виявити локальні перегриви. причинами яких можуть бути порушення в роботі систем водяного та водневого охолодження, руйнування ізоляції, вібрації тощо. Вимірювання виконуються неперервно. Температурні показники характеризують роботу обладнання і використовуються в схемах блокування. Звичайно у якості датчиків використовуються мідні термоперетворювачі опору, які підключаються до логометрів, автоматичних мостів або уніфікованих шаф типу А 701. Всі ці рішення морально застаріли і не дозволяють забезпечити достатній контроль за і роботою генератора. Сучасне рішення полягає у використанні промислових мікропроцесорних вимірювальних пристроїв. Проте великі труднощі вимірювань, що викликаються особливими умовами на потужному енергетичному обладнанні, є значною перешкодою для використання подібних засобів.

Крім того результати вимірювань можуть використовуватись іншими системами, наприклад, системами діагностики. Ці системи можуть вводити свої додаткові вимоги до якості вимірювань. Наприклад, в зв'язку з тим, що генератор енергоблоку 250 МВт є до сить інерційним тепловим об'єктом, постійна часу якого складає кілька хвилин, в нормальному режимі цілком достатньо мати двоххвилинний період опитування датчиків температури. Проте при виникненні і розвитку аварії можливі значні швидкі зміни температурного режиму, на які необхідно реагувати значно оперативніше. Тому звичайно прийнятним вважається десяти-секундний цикл отримання інформації в системі температурного контролю.

Схема вимірювань складається з трьох компонентів: датчик, з'єднувальні проводи та вимірювальний блок. Вимірювальний блок перетворює температуру в деяку умовну чи слову величину, на основі якої в інформаційній системі в

подальшому визначається температура. Величину будемо називати дискрета. Температура лінійно залежить від дискретизації за формулою $\theta = k(D - D_0)$

D - дискрета, що відповідає опору термоперетворювача, k , D_0 , коефіцієнти перетворення, які залежать від типу АЦП, що використовується. В нашому випадку залежність температури від дискрети мала вигляд:

$$\theta = 0.025(D - 1000)$$

Задачу фільтрації будемо вважати розв'язаною, якщо будуть досягнуті показники: амплітуда коливань у часі величини що вимірюються, навколо її математичного очікування - не більше 8 дискрет (в перерахунку на температуру не більше 0.2 градусів Цельсія); - тривалість перехідних процесів в системі фільтрації - не більше двох хвилин.

Сформулюємо мету згладжування: забезпечити найменші флуктуації параметрів, що вимірюються при мінімальному часі їх опитування. Тобто:

$$I = \min_{t_0=t_{\text{техн}}} \sum_{i=1}^n |A_i|$$

Формулювання найменших флуктуацій параметрів

де t_0 - період опитування;

$t_{\text{техн}}$ - необхідна періодичність спостережень, що визначається технологічним процесом;

A - амплітуда коливань сигналу, що вимірюється;

n -кількість вимірів під час циклу опитування. Задача температурного контролю обладнання за звичай має справу зі стаціонарним або квазістаціонарним процесом з математичним очікуванням, що практично не змінюється в часі. У першій формулі наведена загальна методика пригнічення перешкод, що

передбачає декомпозицію перешкод на групи з однаковими характеристиками і почергове подолання їх. В зв'язку з великою складністю процесів, що відбуваються на енергетичному обладнанні ТЕС, відсутністю адекватних математичних моделей впливу промислових перешкод на вимірювальні засоби розв'язання задачі можливе тільки шляхом експериментальних досліджень з подальшою математичною обробкою їх.

Процедура пошуку алгоритм в згладжування інформації передбачала наступні етапи:

- отримання суттєвої вибірки даних, що вимірюються;
- аналіз наявних перешкод та їх декомпозиція на основні складові;
- розробка алгоритму пригнічення кожної виявленої суттєвої компоненти в залежності від її характеру;
- об'єднання складових частин в єдиний алгоритм з обов'язковою перевіркою його на практиці і при необхідності адаптація запропонованих рішень.

При підключенні вимірювального комплексу до об'єкту вимірювань на Київській ТЕЦ-6 була отримана вибірка даних за 10 секунд (8000 вимірювань), що відповідає циклу вимірювань контролера. Типова картина вимірювань спостерігається вже на 250 точках вимірювання (рисунок 2.7.1). Детальний аналіз даних дозволяє зробити наступні висновки:

- різниця в значеннях вимірюваного сигналу складає 2500 дискрет. Тобто задача полягає в пригніченні перешкоди щонайменше в 300 разів;
- процес квазістаціонарний;
- основною перешкодою є періодична. Скоріш за все вона відповідає промисловій частоті 50Гц та гармонікам. Крім неї мають місце дуже сильні викиди величини, що вимірюються, навіть за діапазон вимірювання. Тобто також присутня дуже сильна короткодійоча перешкода.

Таким чином у даному випадку фільтрацію сигналів було вирішено проводити в три етапи. На першому шляхом синхронізації циклів вимірювання з періодичною перешкодою треба зменшити її вплив. На другому треба відбракувати зовсім невдалі вимірювання шляхом їх відкидання. Дані після двох етапів обробки напевно вже будуть близькі до сигналу з нормальним розподілом, до якого логічно буде застосувати процедуру демпфювання або метод ковзного середнього.

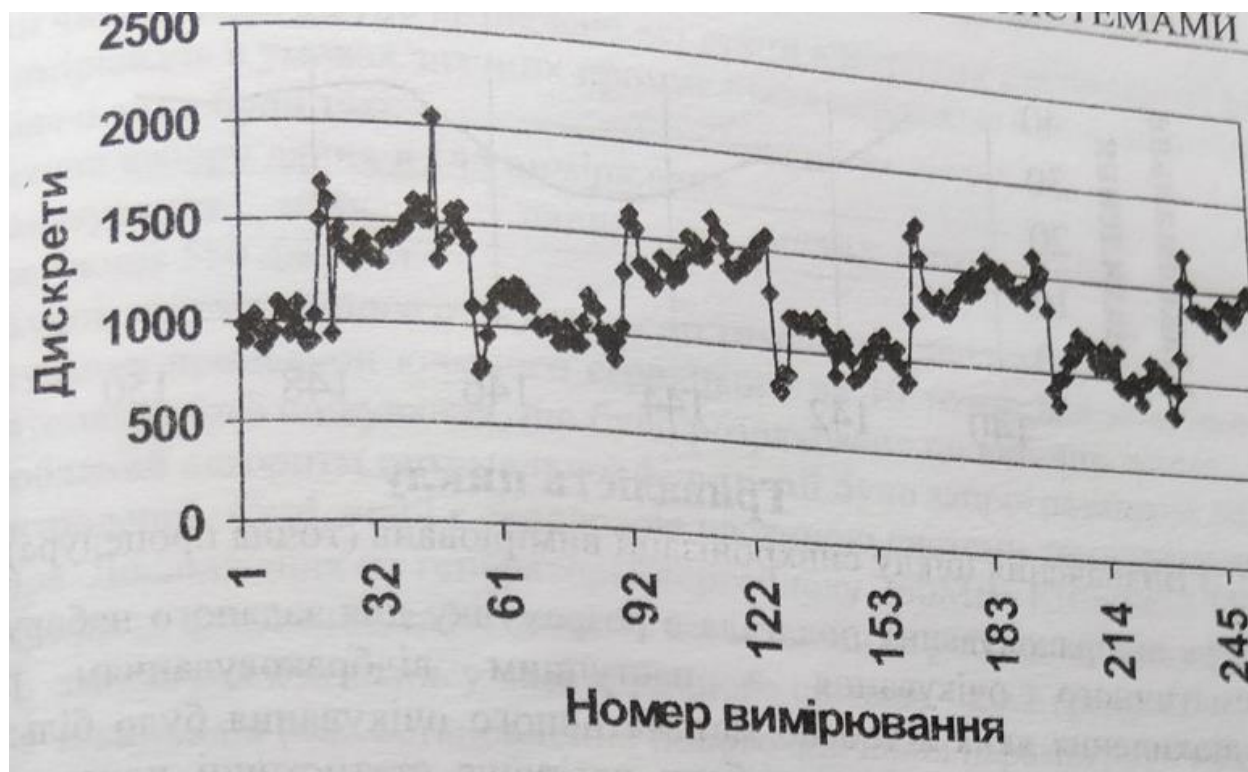


Рисунок 2.7.1 – Результати послідовних вимірювань температури

Для розробки і досліджень алгоритмів оптимальної фільтрації була розроблена моделююча програма, що разом зі зручним конфігураційним файлом дозволила у стислі Строки провести величезний обсяг досліджень. Вихідними даними для роботи програми була вибірка даних на 8000 вимірювань, знятих на номінальному режимі діючого генератора першого енергоблоку Київської ТЕЦ-6. Черговий цикл вимірювань починався з точки, визначеної генератором випадкових чисел.

Для визначення синхронізованої кількості циклів вимірювання для оптимізації алгоритму згладжування періодичної перешкоди було виконано сканування області, що досліджується. Процедура полягала в заміні всього набору вимірювань наборами сум. Під час етапу грубого пошуку кількість вимірювань в сумі варіювалась від 50 до 600 з шагом 5 вимірювань. Для кожного з отриманих наборів сум визначались статистичні показники: математичне очікування та дисперсія а також величина найбільшого відхилення окремої суми від математичного очікування. Під час грубої процедури (Рисунок 2.7.2) було виявлено, що найкращі результати дають набори по 75, 145, 215, 290, 360, 430, 500 вимірювань, що відповідає частоті 50 Гц.

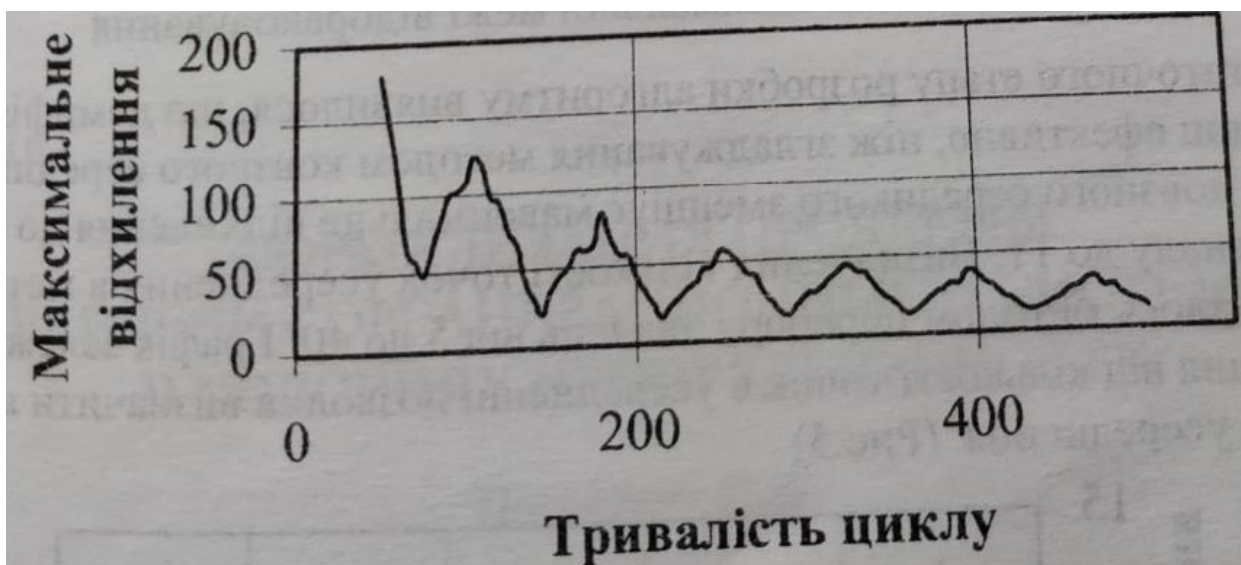


Рисунок 2.7.2 – Визначення циклу синхронізації вимірювань (груба процедура)

Крім того, той факт, що значення наборів по 145, 290 та 430 вимірювань відносно кращі результати ніж набори по 75, 215, 360 та 500 вимірювань дозволив зробити висновок про наявність у спектрі основної перешкоди ще й гармоніки 25 Гц. Тому для подальших досліджень обираємо кількість вимірювань в циклі - 145, і скануємо більш детально із шагом 1 вимірювання діапазон від 140 до 150 вимірювань в циклі аналогічно грубій процедурі. Результат не змінюється рисунок 2.7.3.

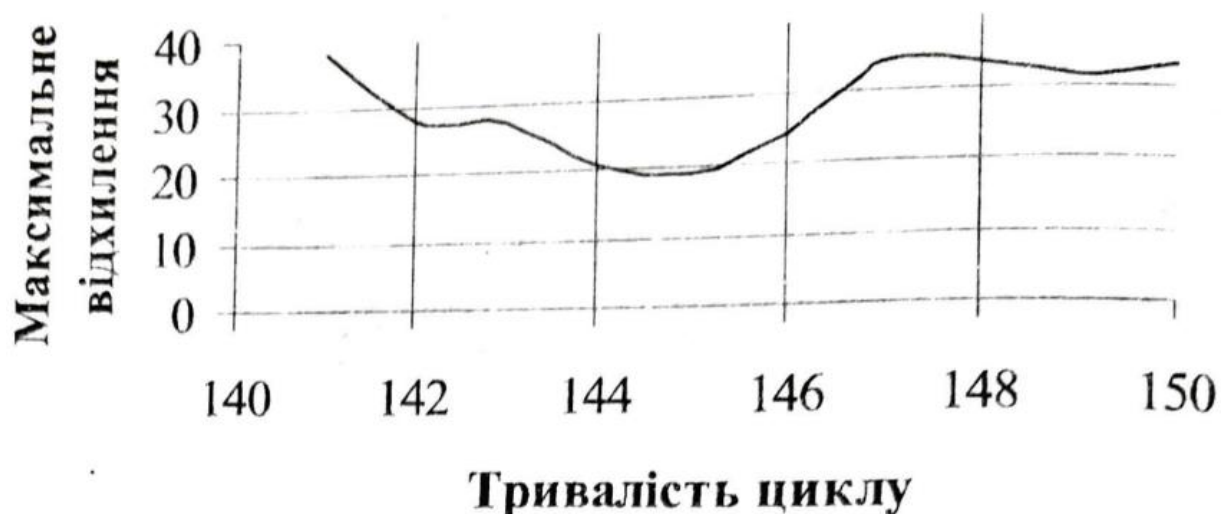


Рисунок 3.7.3 – Визначення циклу синхронізації вимірювань (точна процедура)

Процедура відбраковування полягала в розрахунку для заданого набору чисел величини математичного очікування з наступним відбраковуванням результатів вимірювань, відхилення яких відносно математичного очікування було більше заданої величини. Подібна процедура з одного боку погіршує статистичні показники суми в наборі, синхронізованому з основною перешкодою, проте з іншого боку відкидання дуже невдалого результату вимірювань покращує статистичні показники. Після відбраковування для даних, що лишилися знову визначаються статистичні показники. Сканування виконувалось для рівня межі відбраковування від 499 до 800 дискрет з шагом 10 дискрет. Найкращий результат, тобто найменше максимальне відхилення було отримано для межі відбраковування у 550 дискретів що наведено на рисунку 2.7.4.



Рисунок 2.7.4 – Визначення оптимальної межі відбраковування

Під час остаточного етапу розробки алгоритму виявилось, що демпфювання сигналу діє в часі менш ефективно, ніж згладжування методом ковзного середнього. За цикл в 10 кроків метод ковзного середнього зменшує максимальне відхилення до 8 дискрет, а демпфювання сигналу до 11. Визначення кількості точок усереднення в методі ковзного середнього визначалось методом перебору значень від 5 до 40. Графік залежності максимального відхилення від кількості точок в усередненій дозволив визначити як необхідну кількість 10 точок усереднення. Побачити дані результати можна на рисунку 2.7.5.

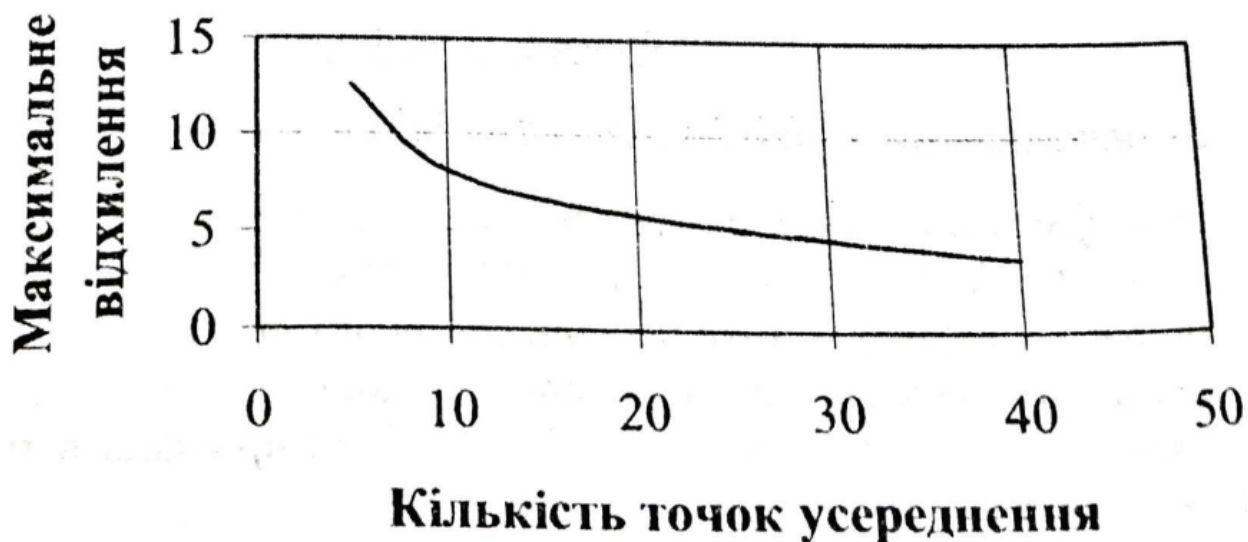


Рисунок 2.7.5 – Визначення інтервалу усереднення для метода ковзного середнього

Таким чином цілком було визначено всі етапи алгоритму оптимальної фільтрації даних для вимірювань в умовах значних промислових перешкод в режимі реального часу.

Для даної задачі вони були такі:

1. Отримання набору даних в 145 вимірювань.
2. Відбраковування невдалих даних в межах: отриманого набору. Межа відбраковування 550 дискрет.
3. Розрахунок математичного очікування по тим даним, що лишилися.
4. Застосування процедури ковзного середнього на 10 точок для кожного нового значення математичного очікування, що було розраховано по виборці даних.

Розроблений алгоритм оптимальної фільтрації було запрограмоване для використання у контролері L-Card, який є складовою частиною системи температурного контролю генератора. Дослідження на генераторі енергоблоку

250МВт Київської ТЕЦ-6 в умовах реальних перешкод дозволили зафіксувати такі показники роботи системи:

- амплітуда коливань у часі корисного сигналу - ± 0.2 градуса;
- швидкодія (час встановлення нового значення параметру) - 90 секунд.

Такі параметри цілком відповідають вимогам до системи.

Подальше покращення роботи алгоритмів фільтрації можливе при підвищенні швидкості опитування вимірювального каналу, та введенні синхронізації циклу вимірювань з промисловою частотою в електромережі.

Таким чином в статті наглядно наведено, що іноді недостатньо просто використати звичайні методи фільтрації для пригнічення перешкод та одночасно виконувати ефективно збір інформації та регулювання в деяких специфічних промислових системах тому було створено таке незвичайне рішення для «псевдо фільтрації»[8].

3. Функціональне імітаційне моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів в СКМ MatLab Simulink

Для створення ЛІМ АТК де буде досліджуватись лінійна фільтрація застосовано ряд програмних засобів, а саме: середовище візуалізації AVEVA Web Studio де було реалізовано інтерфейс для управління технологічним процесом фільтрації.

Середовище розробки алгоритму фільтрації та роботи soft PLC де розроблено функціональні блоки лінійних фільтрів ФНЧ та ФВЧ та створені блоки для виконання програної внутрішньої фільтрації за допомогою варіації з фільтрів на основі інтегральних диференціальних та запізнення ланок[9].

А також середовище моделювання алгоритмів фільтрації, де можна використовувати симуляцію роботи фільтрів та графічно демонструвати їх роботу для перевірки коректності роботи. Також через MatLab Simulink відбувається генерація та передача даних до CODESYS, де вона оброблюється та візуалізується в SCADA Web Studio для наглядної демонстрації роботи, утворюючи собою повноцінний віртуальний стенд на якому можна виконувати лабораторні роботи.

Кожна з програми виконує певну функцію і в комбінації усі три утворюють віртуальну лабораторію імітаційного моделювання.

- MatLab Simulink моделювання та частково візуалізує роботу фільтрів;
- CODESYS – середовище розробки та софт ПЛК;
- Web Studio представляє собою ОМІ систему;

В середовищі MatLab було змодельовано роботу базових фільтрів для демонстрації впливу різної фільтрації на сигнал з давача та РО.

Таким чином розглянемо схеми створені в MatLab для наглядної демонстрації впливу на сингал, переваг та недоліків різних типів фільтрів.

На рисунках 3.1 та 3.2 зображено групу моделей фільтрації сигналів в промисловій САР включаючи фільтри нижніх частот, верхніх частот та смуговий.

Фільтри низьких частот представлені блоками аперіодичної ланки першого порядку зі змінним коефіцієнтами амплітуди, також представлені ФНЧ 2 порядку за допомогою. Послідовно з'єднаних між собою АПЛ 1 порядку. ФВЧ представлені за використанням реальних диференціюючих ланок (послідовно з'єднані АПЛ 1 пропорційна та диференціальна ланка).

Фільтрація сигналів в промисловій САР

5. Фільтри нижніх частот, верхніх частот, смуговий

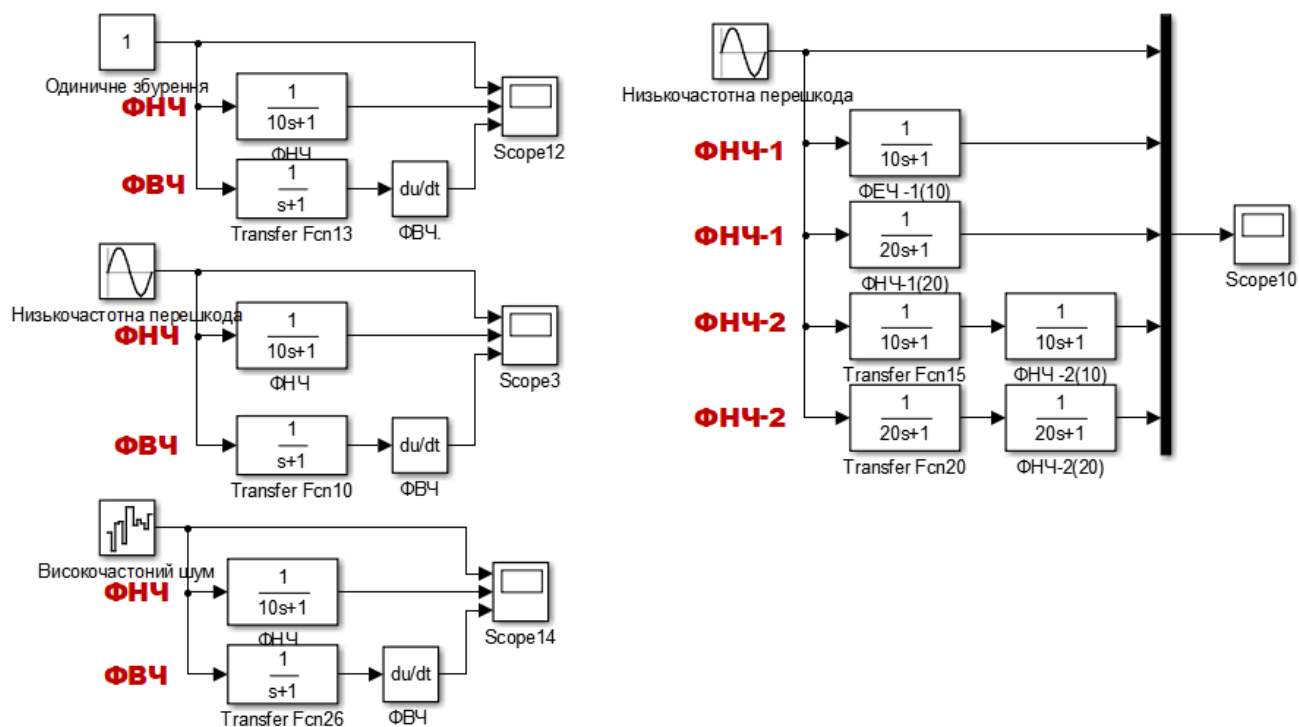


Рисунок 3.1 – Група моделей фільтрації сигналів в промисловій САР

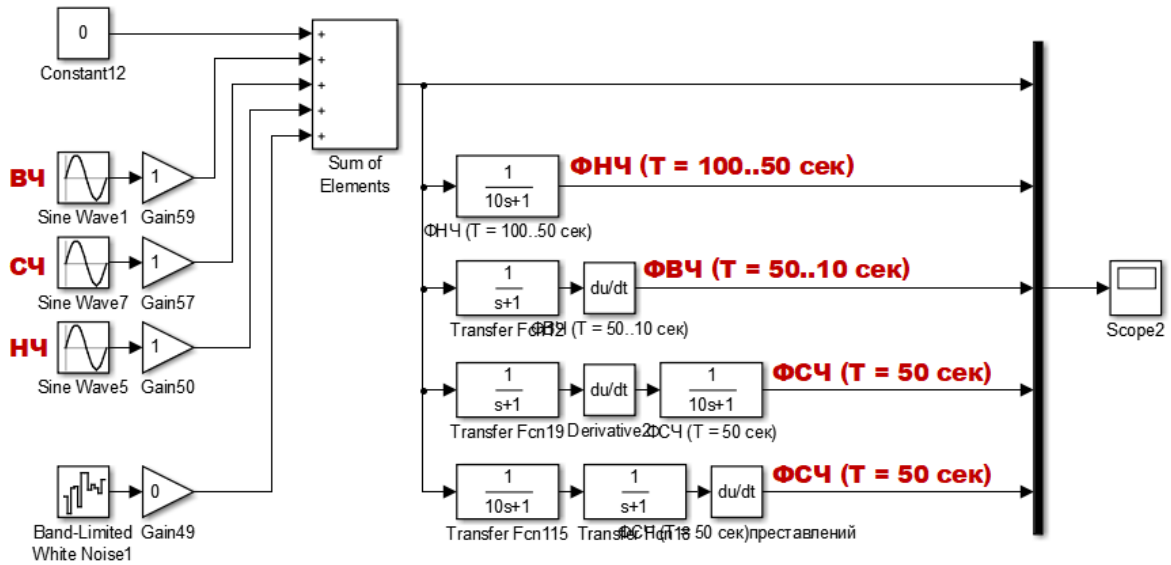


Рисунок 3.2 – Група моделей фільтрації сигналів в промисловій САР з фільтрами ФНЧ, ФВЧ, ФСЧ

На рисунку 3.3 зображено легенду з графічним зображенням реакції ФНЧ (має невелике перехідне запізнення) та ФВЧ (має стрибок який складається з імпульсу з постійною величиною) на одиничне збурення.

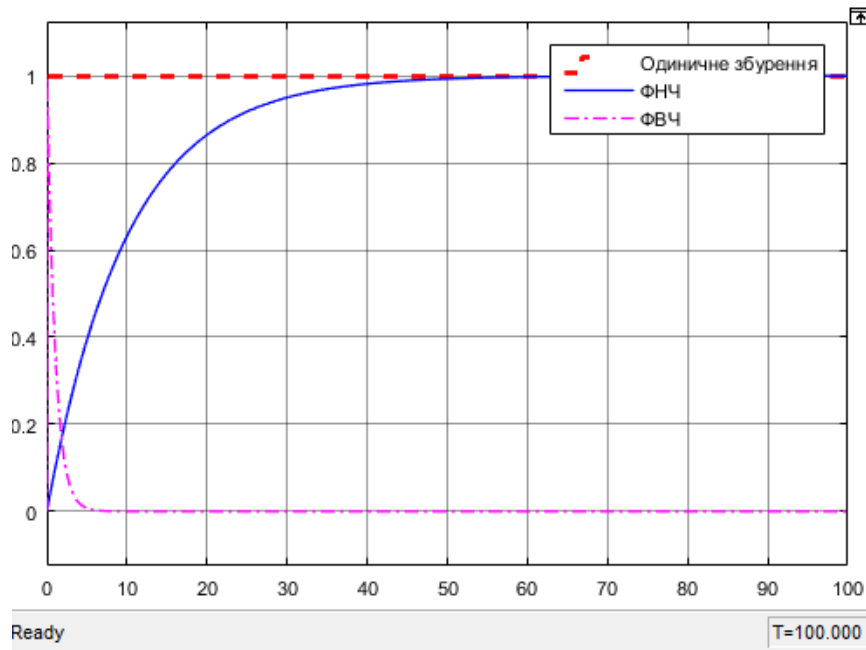


Рисунок 3.3 – Перехідна характеристика ФНЧ та ФВЧ реакції на одиничне збурення

На рисунку 3.4 зображено легенду з графічним зображенням реакції ФНЧ та ФВЧ на низькочастотне збурення (з використанням синусоїди з частотою 0.0628). Також можна побачити що ФНЧ пропустив сигнал з невеликим зменшенням амплітуди. ФВЧ навпаки, після обробки низькочастотного сингалу на вихід пропустив сигнал з значно пригніченою амплітудою та зміненою фазою (зсув), період в 100секунд зберігся. Відповідно чим частота сигналу нижче тим ФВЧ буде агресивніше пригнічувати сигнал зменшуючи його амплітуду, а ФНЧ навпаки, майже не буде впливати на вихідний сигнал (зі зміною частоти сигналу зміни в роботі фільтру пропорційні).

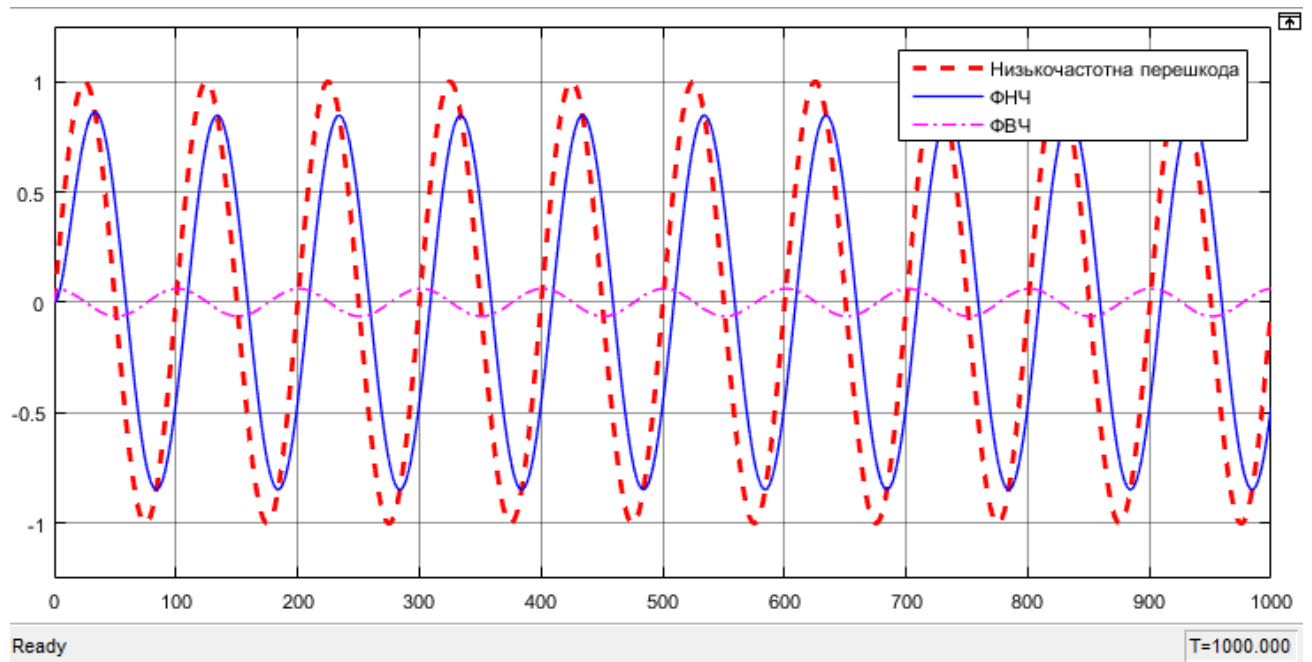


Рисунок 3.4 – Перехідна характеристика ФНЧ та ФВЧ реакції на низькочастотне збурення (з використанням синусоїди з частотою 0.0628рад/с періодом 100с).

На рисунку 3.5 – Зображено легенду з графічним зображенням реакції ФНЧ та ФВЧ на високочастотне збурення (налаштування високочастотного сигналу підібрано в ручну). Після побудови графіку можна побачити, що результат роботи фільтрів з високочастотним сигналом схожий де поведінка сигналу після проходження через фільтр протилежний попередньому сценарію

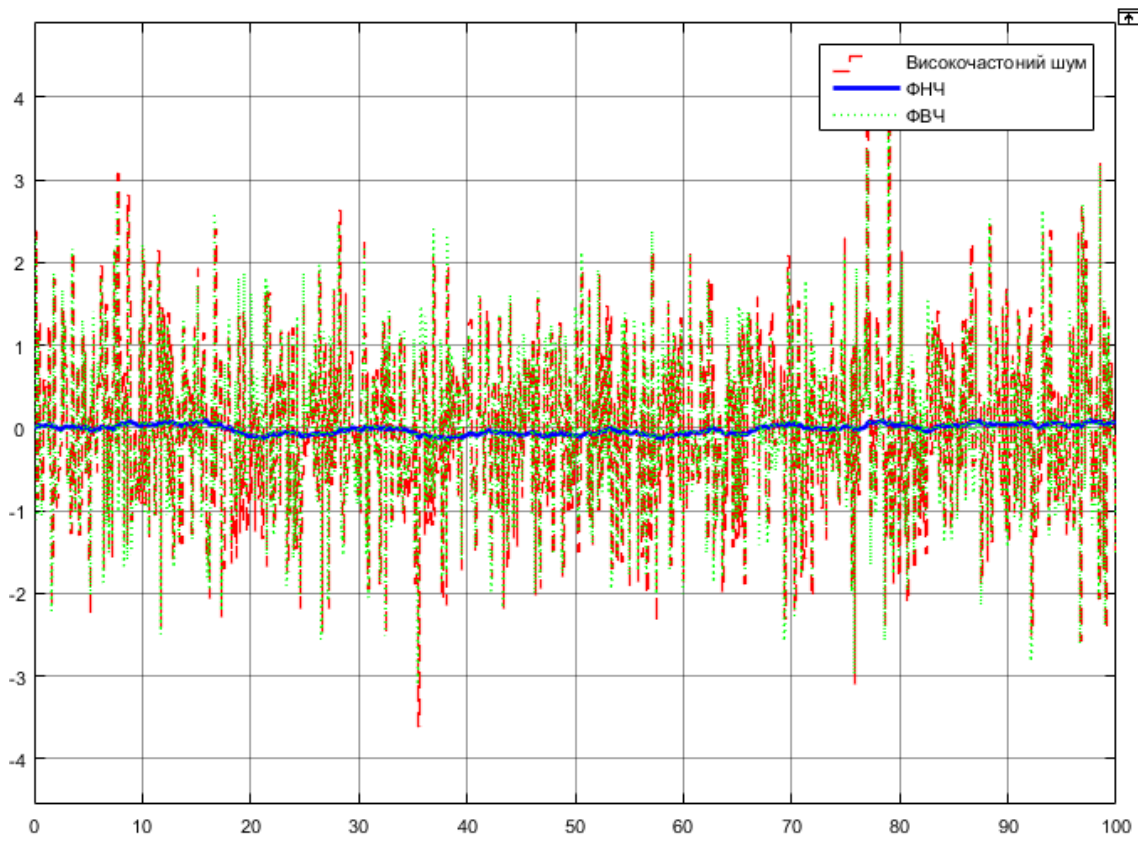


Рисунок 3.5 – Перехідна характеристика ФНЧ та ФВЧ реакції на високочастотне збурення

Наступний рисунок 3.6, демонструє покази легенди яка відображає реакції ФНЧ першого та другого порядку з сталою часу в 10 та 20 секунд.

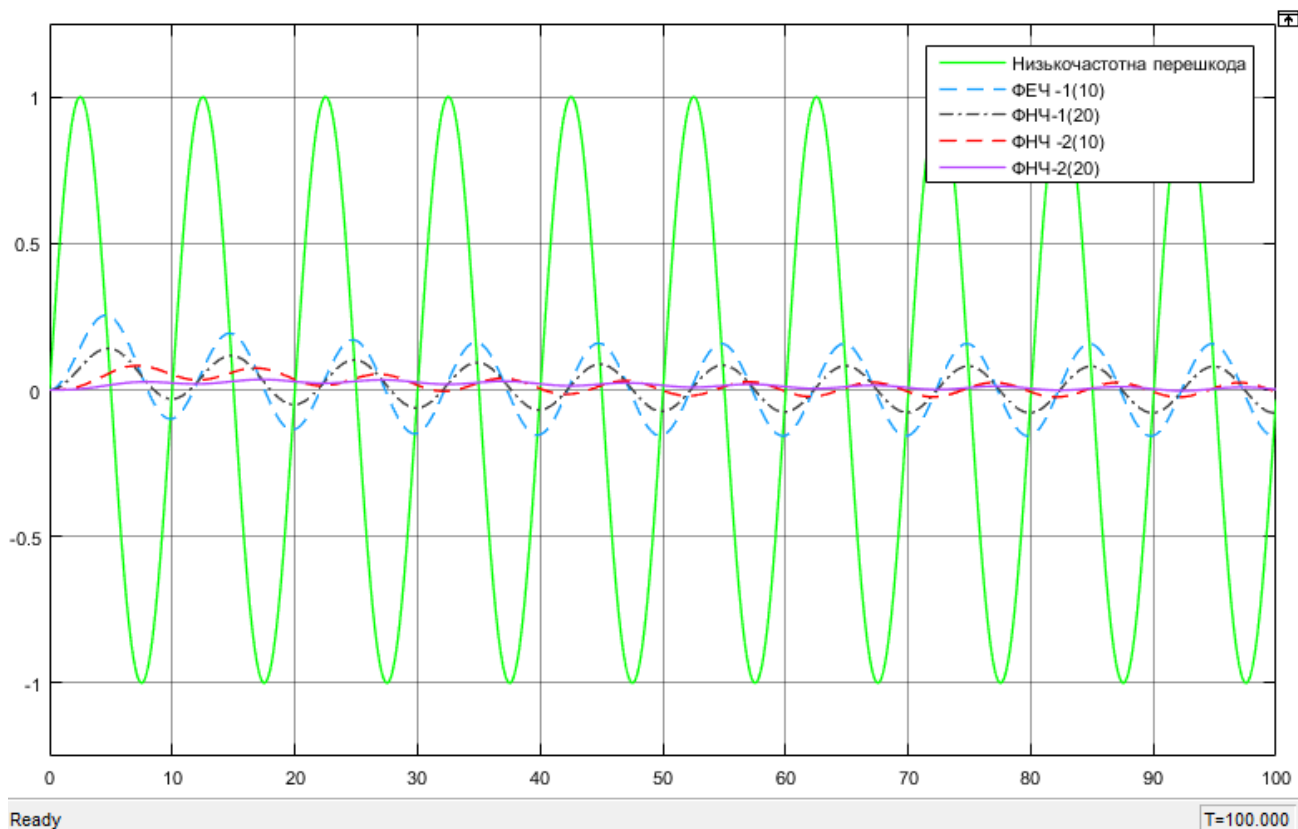


Рисунок 3.6 – Перехідні характеристики ФНЧ першого та другого порядку з сталою часу в 10 та 20 секунд, реакцію на низькочастотне збурення (з використанням синусоїди з частотою 0.0628 рад/с періодом 100с)

На рисунку 3.7 показано легенду, яка відображає порівняння реакцій ФНЧ, ФВЧ та смугового фільтру який пропускає сигнали вище за f_1 частоту але нижче за f_2 також з демонстрацією, що переставляючи блоки елементарних ланок (послідовно об'єднанні ФНЧ та ФВЧ), для фільтра смугового, не впливають на кінцеву фільтрацію. В якості сигналу збурення в схемі виступають одразу три частотні сигнали з різними періодами в 100, 50 та 10 секунд відповідно.

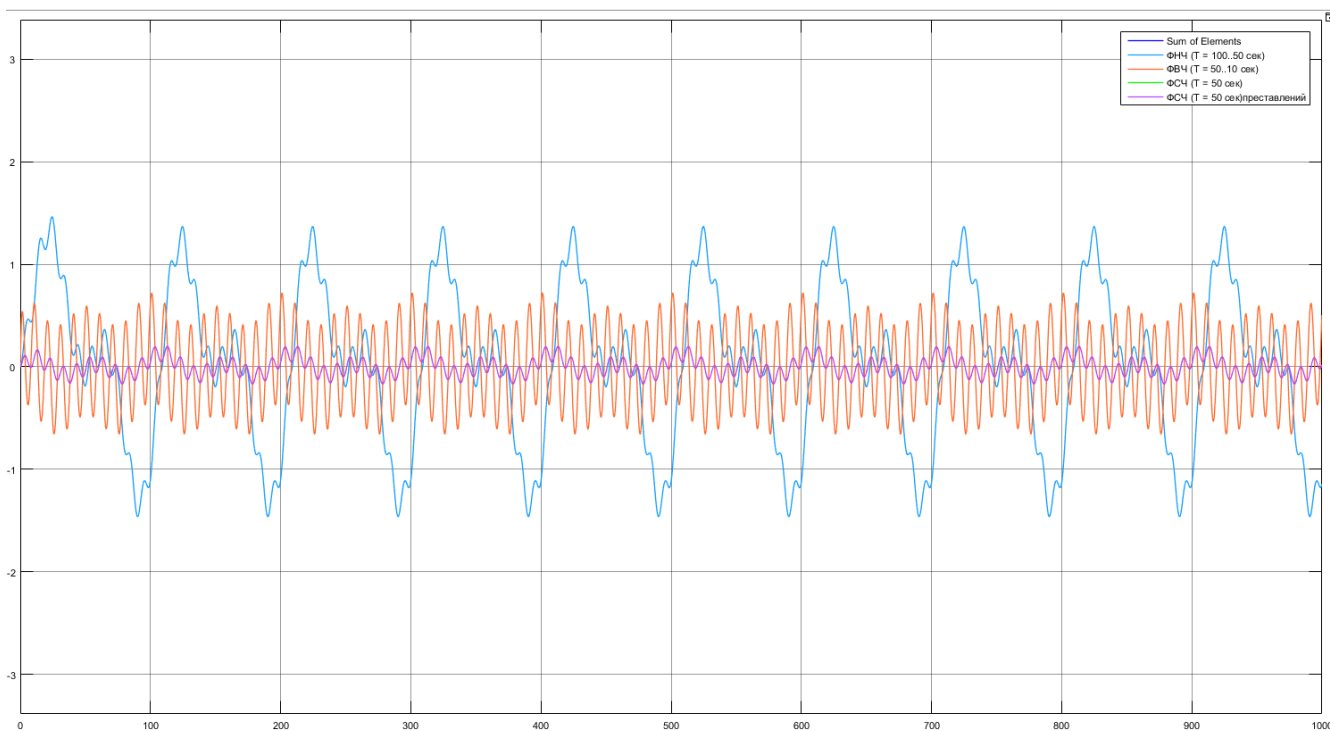


Рисунок 3.7 – Перехідні характеристики роботи ФНЧ ФВЧ та ФСЧ з різними сигналами збурення (0.628, 0.1256, 0.0628 rad/sec)

На рисунку 3.8 зображено комплексну модель фільтрації сигналів і пригнічення перешкод в одно контурній САР.

В центрі модель має ТОУ, на нього накладається перешкода і через зворотній зв'язок (з мінусом) як корисний сигнал повертається назад на регулятор. В системі реалізована можливість поставити фільтр (ФНЧ), як на зворотній сигнал, так і на сигнал розбалансу (завдання - вимірний сигнал) в залежності від необхідності для лабораторного дослідження, так як це впливає на швидкість регулювання. Також реалізована можливість фільтрувати сигнал від датчика в SCADA для демонстрації. Тому, що оператор може не об'єктивно оцінювати стан системи та якість регулювання, отримуючи зашумлений сигнал. В моделі додано блоки для генерації одиничного збурення, низьких та високочастотних сигналів.

Слід зазначити, як показує модель, введення фільтрів в зворотній зв'язок, на вимірний сигнал або на розбаланс, для покращення роботи регулятора (ВМ), в свою чергу погіршує все регулювання ТОУ! Тому що, це по суті, внесення додаткової АПЛ в послідовність АПЛ. Бо наш об'єкт і є цією послідовністю. Тому, можна зробити висновок, що не потрібно додавати ФНЧ на зворотній сигнал, або на сигнал розбалансу, але потрібно давати фільтри в контролер для передачі сигналу в SCADA.

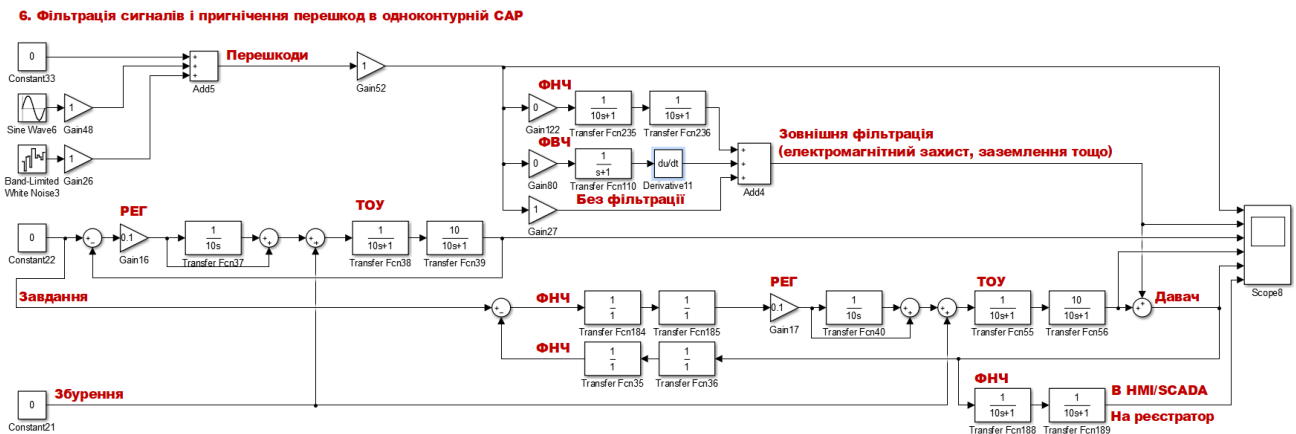


Рисунок 3.8 – Модель фільтрації сигналів і пригнічення перешкод в одноконтурній САР

На рисунку 3.9 зображено графіки на якому одночасно можна спостерігати 6 сигналів:

- Чиста перешкода
- Профільтрований сигнал перешкоди
- Сигнал без перешкоди
- Корисний сигнал в схемі регулювання з перешкодою
- Сигнал з перешкодою (зашумлений)
- Сигнал в НМІ

Даний графік наглядно ілюструє та дає можливість побачити як фільтри розташовані в різних частинах САР впливають на регулювання, передачу в SCADA сингалу, дає можливість побачити як ФНЧ, ФВЧ працює з сигналами високої частоти, низької або одиничним збуренням.

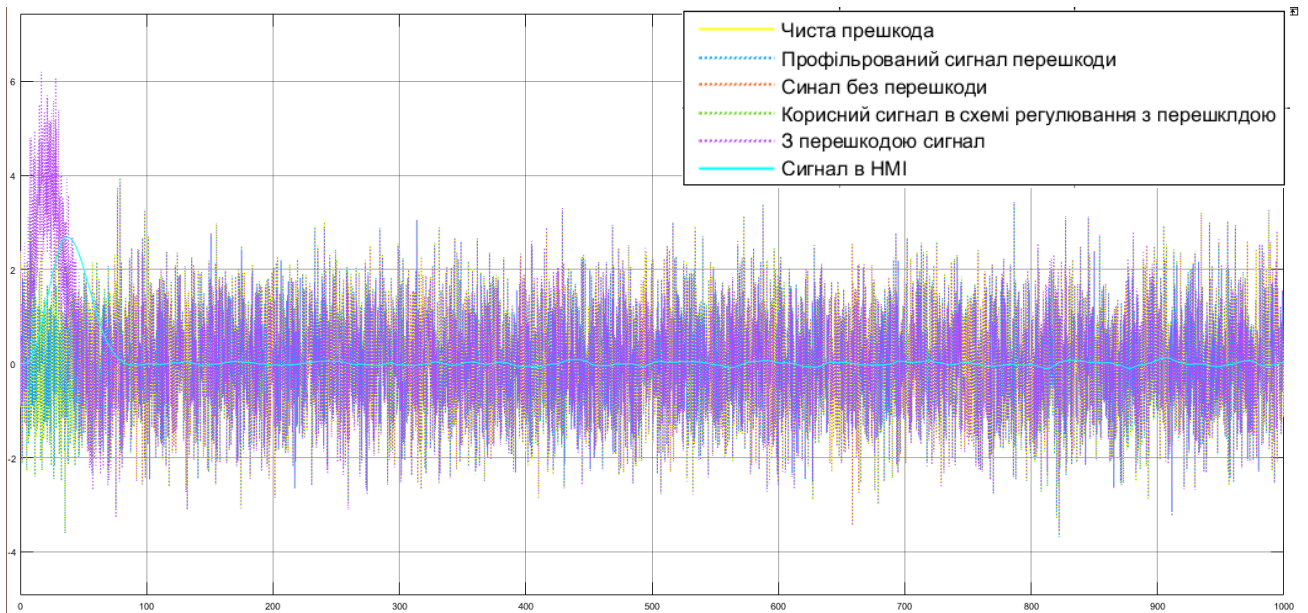


Рисунок 3.9 – Перехідні характеристики моделі для демонстрації принципів фільтрації в промисловості та її вплив на процеси регулювання теплоенергетичних режимних параметрів

Далі, на рисунку 3.10 – 3.12 більш детально наведено, як реагує система на високочастотний сигнал без зовнішньої фільтрації та без ФНЧ в зворотному зв'язку.

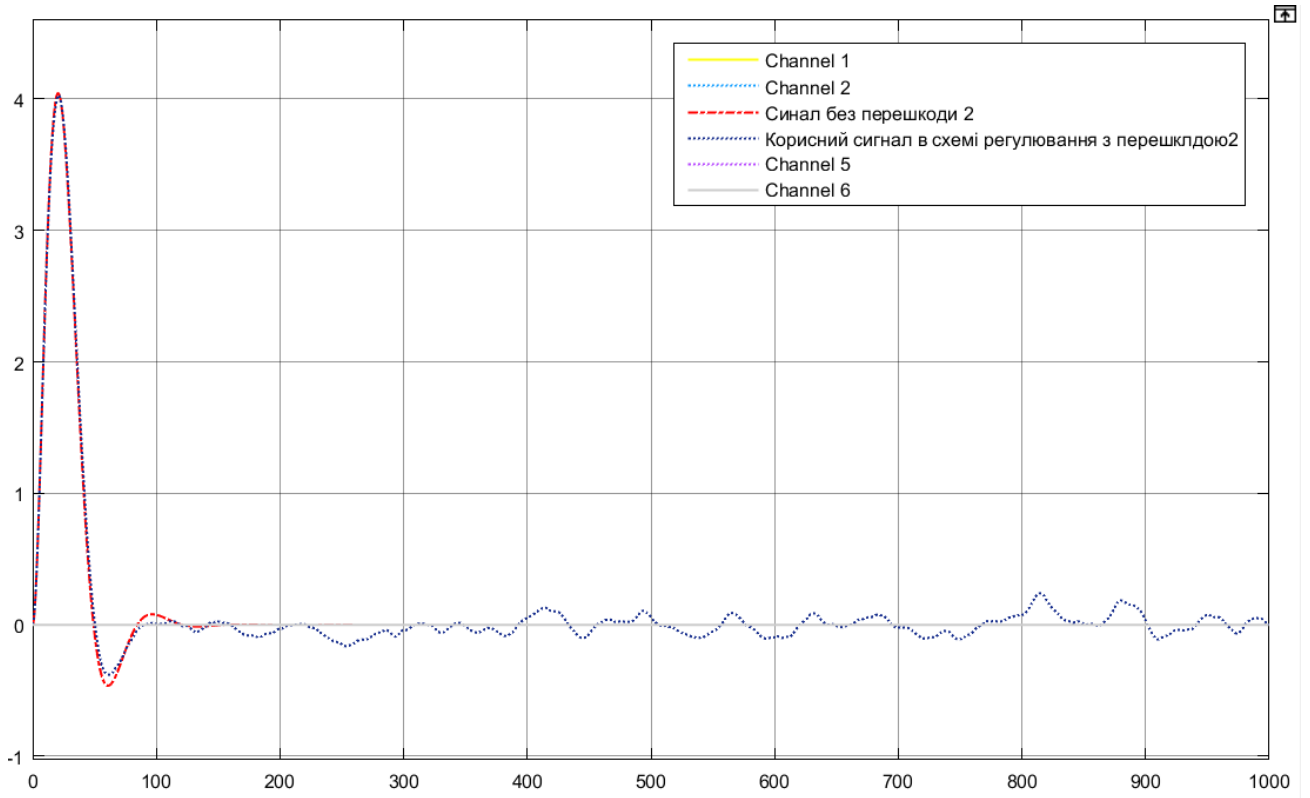


Рисунок 3.10 – Перехідна характеристика ідеального сигнал без перешкоди та сигнал регулювання з перешкодою

Обидва сигнали на графіку майже не відрізняються, таким чином, можна побачити, що високочастотна перешкода не заважає регулюванню.

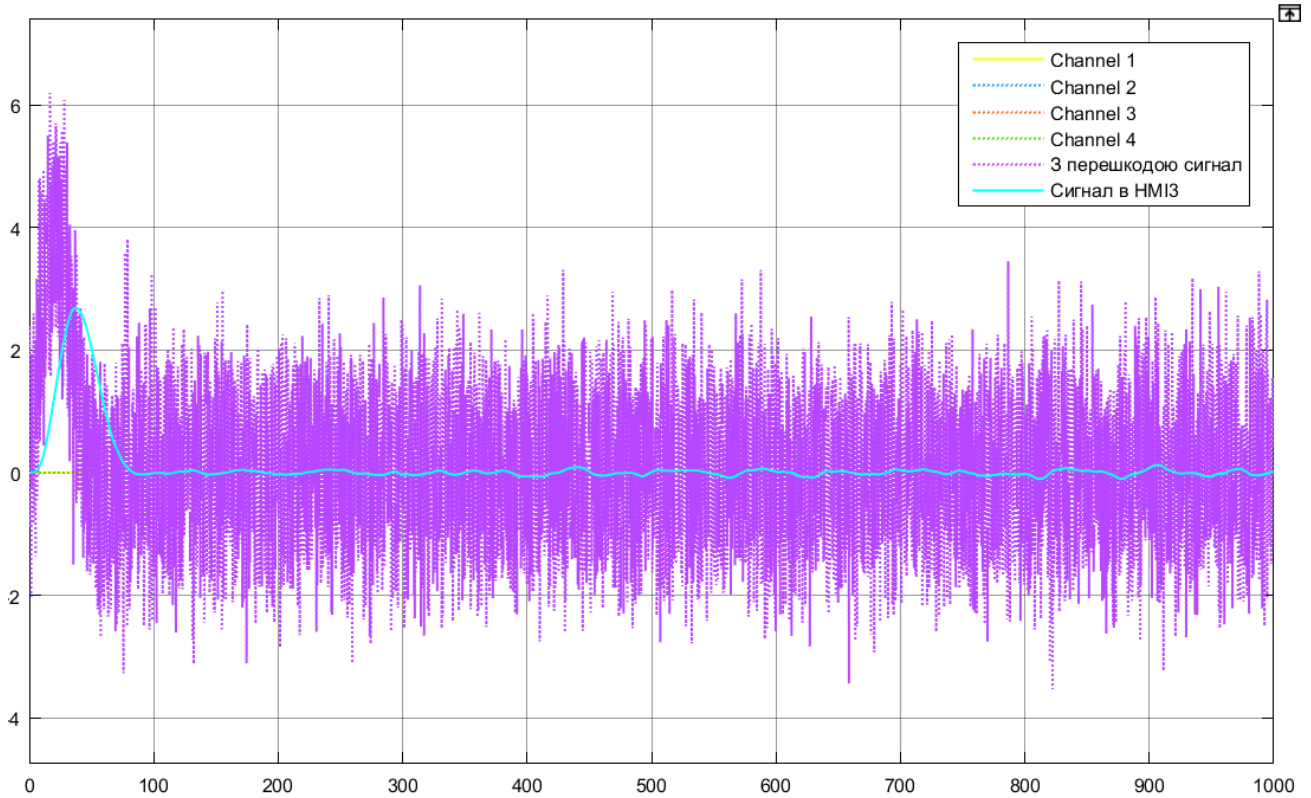


Рисунок 3.11 – Перехідна характеристика сигналу від датчика до SCADA (сигнал з перешкодою), та відфільтрований сигнал (для оператора)

Різниця в сигналах які видає датчик очевидна, насправді такий сигнал не є індикатором поганого регулювання, але значно ускладнює розуміння стану регулювання для оператора тому цей відфільтрований сигнал доречно передавати на панель оператора.

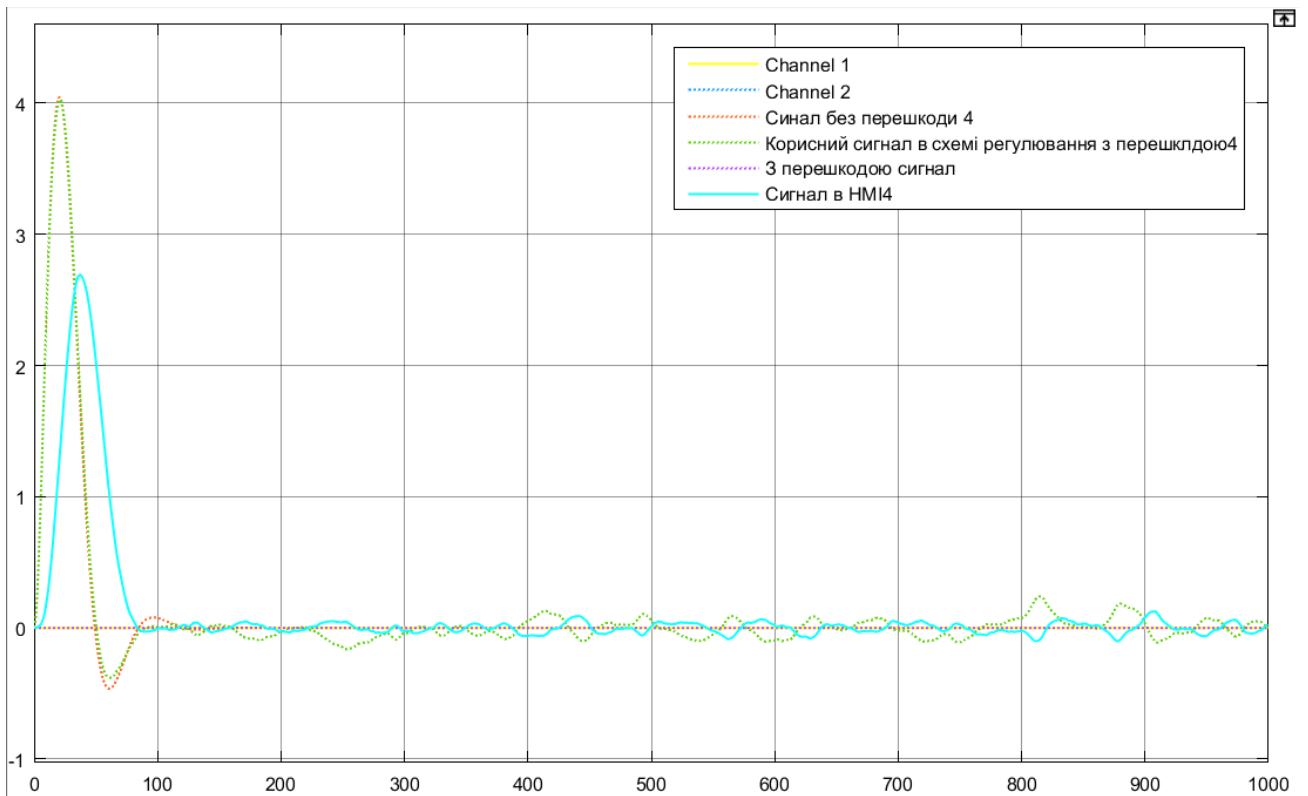


Рисунок 3.12 – Графік порівняння перехідної характеристики сигналу що передається в SCADA з корисним сигналом в схемі регулювання з перешкодою

Сигнал з давача на панель має меншу амплітуду та відстає по фазі порівняно з сигналом в схемі регулювання з перешкодою. Це викликано тим, що фільтр не ідеально налаштовано, але основну задачу він виконує з незначним відхиленням від реального стану регулювання.

На рисунках 3.13 продемонстровано як ФНЧ впливає на регулювання якщо його додати в зворотній сигнал.

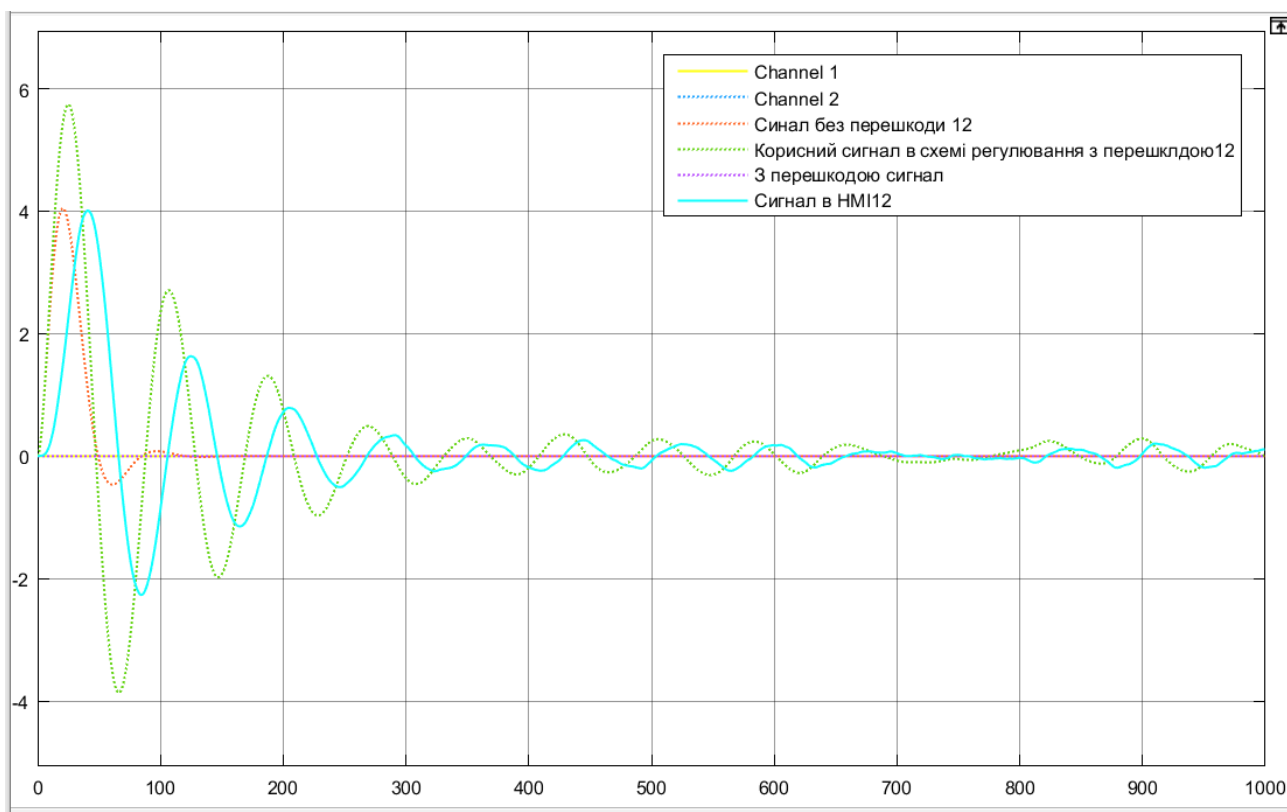


Рисунок 3.13 – Результат перехідної характеристики сигналу з використанням ФНЧ для фільтрації зворотного сигналу на регулювання

Можна зробити висновок: регулювання значно погіршиться, або може взагалі зробити ефективно регулювання неможливим. Тому ставити фільтр на зворотній сигнал або розбаланс нетреба, бо сам наш об'єкт частково виступає фільтром низької частоти. В контролері доречно використовувати програмно лише ФНЧ.

На рисунках 3.14 – 3.15 зображено вплив фільтрів високої та низької частоти на процес регулювання об'єкта від зовнішніх перешкод. Зовнішні фільтри (фізичні) за своєю природою всі низькочастотні, тому не мають великої користі для самих сигналів в САР. Одразу можна побачити, що на відміну від програмної фільтрації, де ФНЧ має сенс використовуватись, в ситуації з зовнішніми фільтрами все навпаки. Доречним є використання зовнішні ФВЧ, так як лише він має позитивний вплив на фільтрацію кінцевого сигналу з давача.

Під час регулювання на вихідний сигнал давача накладається корисний та сигнал перешкоди і відрізнити їх ніяк не можна, і саме найгірше, що низька частота перешкоди буде взаємодіяти з низькочастотним об'єктом, змінюючи якість його регулювання. Саме тому, це дуже небезпечно і саме тому, ФВЧ допоможе відфільтрувати низькочастотну зовнішню перешкоду, яка є небезпечною для об'єкта. Наш об'єкт є низькочастотним сигналом, він не буде реагувати на високочастотні зовнішні перешкоди під час регулювання.

Слід зазначити, що саме високочастотні зовнішні перешкоди є найбільш небезпечними не для САР а для контролера, так як вони дуже сильно впливають на його роботу, найбільш яскравим прикладом, є електромагнітне наведення від системи живлення, яка якраз є високочастотною (50 герц), а живлення та контролери дуже часто розташовані поруч.

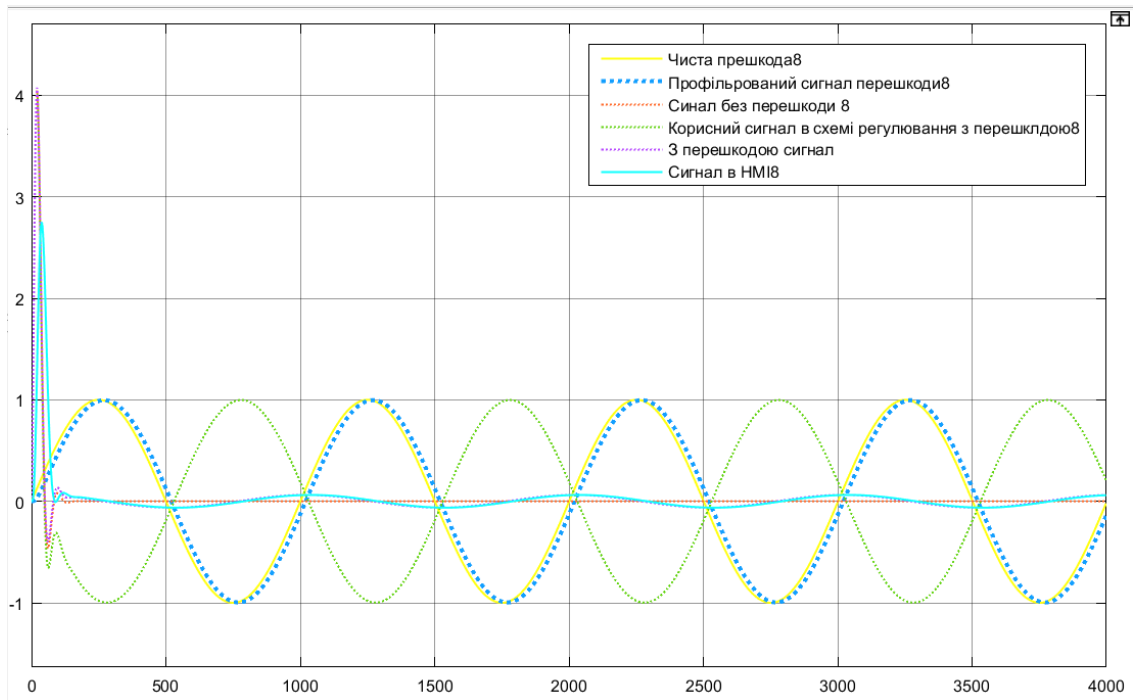


Рисунок 3.14 – Перехідна характеристика сигналу з використанням зовнішнього ФНЧ для фільтрації зовнішньої низькочастотної перешкоди

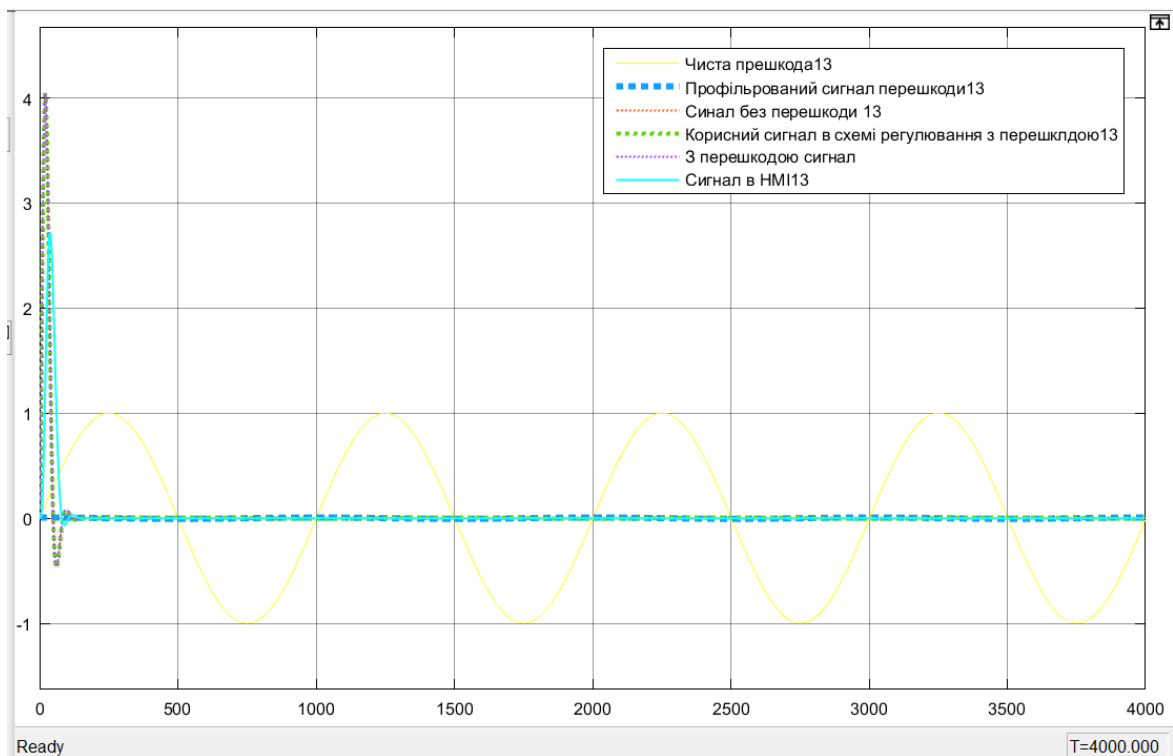


Рисунок 3.15 – Перехідна характеристика сигналу з використанням зовнішнього ФВЧ для фільтрації зовнішньої низькочастотної перешкоди

4. Реалізація функцій первинної обробки сигналів в софтПЛК CoDeSys

CODESYS - це дуже потужне середовище та виступає одним із найкращих програмних середовищ з розробки програмного забезпечення для промислових цілей його було обрано з огляду на гнучкість у використанні мов програмування зручного та інтуїтивно ергономічного інтерфейсу та широкого спектру засобів які значно полегшують та тим самим прискорюють процес створення ЛІМ АТК.

Програмний компонент дозволяє змоделювати в реальному часі типову контролерну функціональність ВК ІВС АСУ [6].

Отже в CODESYS було створено фільтрацію за допомогою 2 шляхів.

Перший шлях представлений в проєкті Model_PLС. Він складається з UDO – user defined object (об’єкт управління функціональний блок) та PRG - програма. Програма написана з використанням мови CFC – continuous functional chat.

На рисунку 4.1 зображене дерево проєкту.

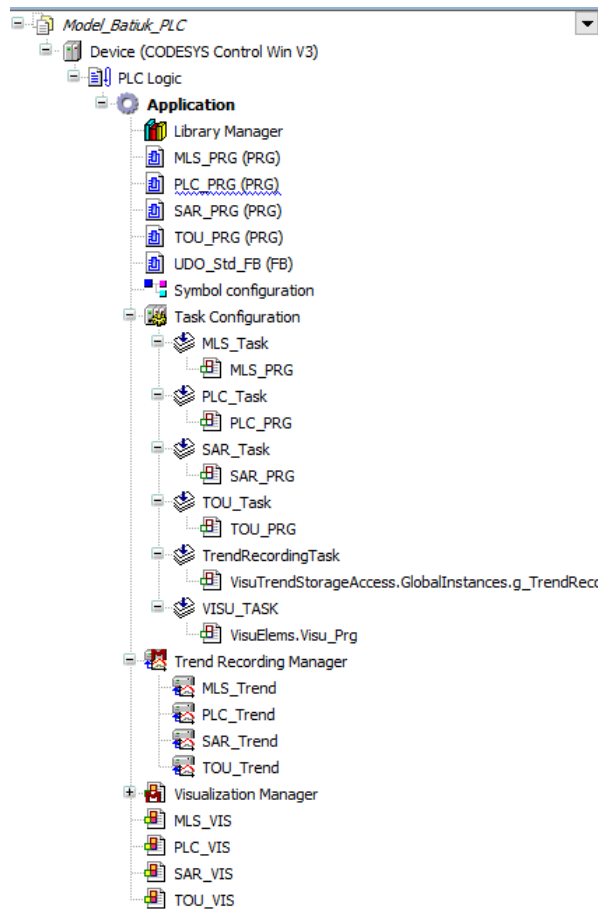


Рисунок 4.1 – Дерево проєкту

В вкладці task configuration представлені задачі, в яких запускається програми та виконується певна логіка запуску на виконання програм, в яких уже викликаються на виконання функціональні блоки. Trend recording збирає інформацію з входів та виходів (логгер збирає історичні дані які можна передати в графік). Visualization manager - менеджер для візуалізації. CODESYS має функціонал для створення візуалізації.

На рисунку 4.2 представлено реалізацію фільтра низької частоти в блоці UDO_std_FB.

Де представлено різницеве рівняння: $Y(i) = KY * Y(i - 1) + KX * X(i)$.

- First-order Aperiodic Element: $KY = (T-t)/T$; $KX = K*t/T$.

- Integrator: $KY = 1$; $KX = t/T$.
- Amplifier: $KY = 0$; $KX = K$.

K – коефіцієнт, T – стала часу, t - період квантування

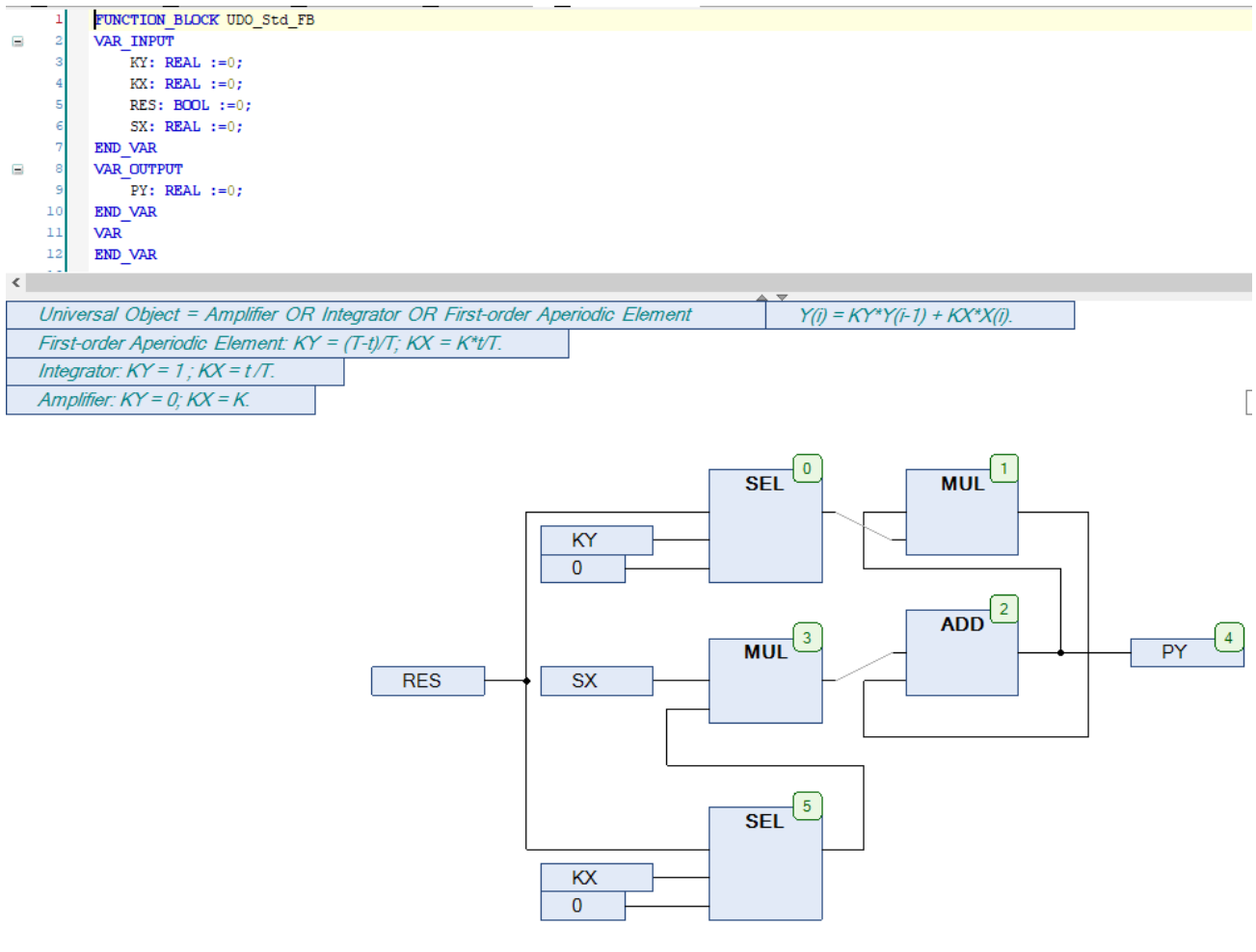


Рисунок 4.2 – Представлено реалізацію фільтра низької частоти в CODESYS

Даний блок являє собою універсальну передаточну функцію так як в залежності від налаштування коефіцієнтів даний об'єкт може мати властивості пропорційної, інтегральної або аперіодичної ланки першого порядку.

Документація до принципу роботи базових блоків використаних в процесі розробки проєкту наведено в додатку.

На рисунку 4.3 – представлено даний ФБ в програмі TOU_PRG.

```

1  PROGRAM TOU_PRG
2  VAR
3      UDO_Std_1: UDO_Std_FB;
4      SET: BOOL;
5      SX: REAL := 0;
6      PY: REAL;
7      KY: REAL;
8      KX: REAL;
9      UDO_Std_2: UDO_Std_FB;
10 END_VAR
11

```

Testing UDO_Std_FB

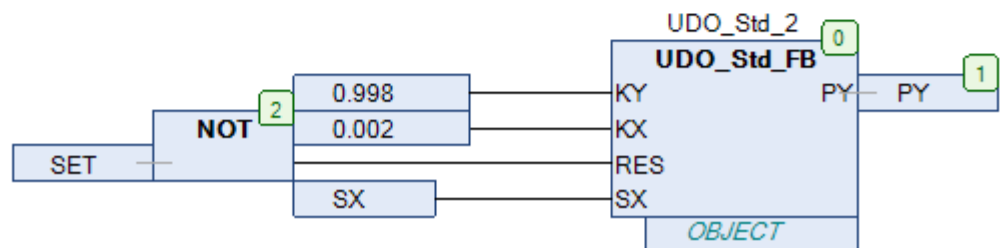


Рисунок 4.3 – Реалізація ФБ UDO_std_FB в програмі TOU_PRG

На рисунку 4.4 реалізовано візуалізацію вікна TOU_VIS де використовується перехід між вікнами візуалізації в COCDESYS, а також створено багатофункціональний тренд який відображає сигнал отриманий з входу в блок фільтрації та вихідне значення SX, PY тобто після отримання сигналу який необхідно відфільтрувати з MatLab або ПЛК відбувається його передача в блок фільтрації де виконується алгоритм та потім на виході відфільтрований сигнал передається назад в контролер.



Рисунок 4.4 – Реалізовано візуалізацію вікна TOU_VIS

Другий спосіб реалізовано в проєкті Test_Model_Project де в самому проєкті створено та змодельовано ПІД регулятор з об'єктом управління який зображено на рисунку 4.5.

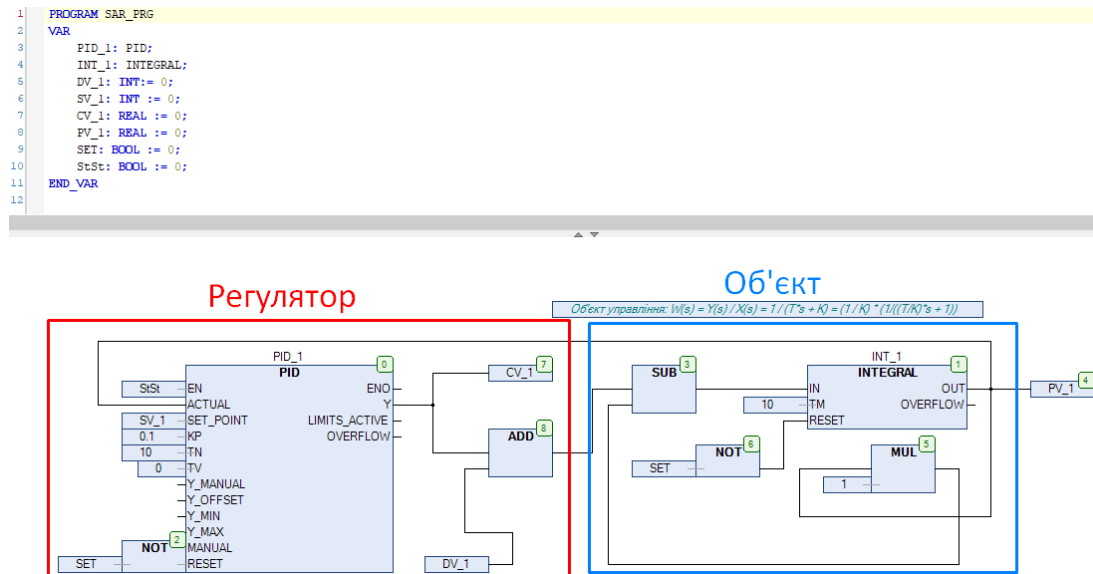


Рисунок 4.5 – Вікно SAR_PRG замкнена одно контурна система автоматичного регулювання з ПІД регулятором

Об'єкт управління представлений як аперіодична ланка першого порядку (ФНЧ або демпфер) за рівнянням передавальної функції: $W(s) = Y(s) / X(s) = 1 / (T * s + K) = (1 / K) * (1 / ((T / K) * s + 1))$ тобто інтегральна ланка охоплена зворотнім зв'язком.

Далі на рисунку 4.6 та 4.7 буде представлено програмну реалізацію алгоритму роботи ПЛК для роботи з сигналом отриманим від об'єкта.

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
  TP_1: TP;
  CTU_1: CTU;
  PV_1: INT := 0;
  CV_1: INT;
  StSt_1: BOOL;
  D_Log_1: BOOL;
  D_Log_2: BOOL;
  D_Log_3: BOOL;
  Filter1: UDO_Std_FB;
  Variance1: VARIANCE;
  SignalGen1: GEN;
  Approx1: CHARCURVE;
  Integral1: INTEGRAL;
  Derivative1: DERIVATIVE;
  RampReal1: RAMP_REAL;
  StatReal1: STATISTICS_REAL;
  ScaleLin1: LIN_TRAFO;
  SignalGen2: GEN;
  AlarmLimit1: LIMITALARM;
  Hysteresis1: HYSTERESIS;
  Deriv2: REAL;
  Integral2: REAL;
  GenSignal2: INT;
  GenSignal1: INT;
  Sqrt1: LREAL;
  StStFUN: BOOL;
  OutSignal1: REAL;
  Points: ARRAY [0..10] OF POINT:= [(X:=-10,Y:=-15),(X:=10,Y:=15)];
  OutFilter1: REAL;
  OutCurve1: INT;
  OutScale1: REAL;
  GE_1: BOOL;
END_VAR
```

Рисунок 4.6 – Програмна реалізація алгоритму роботи первинної обробки даних в ПЛК

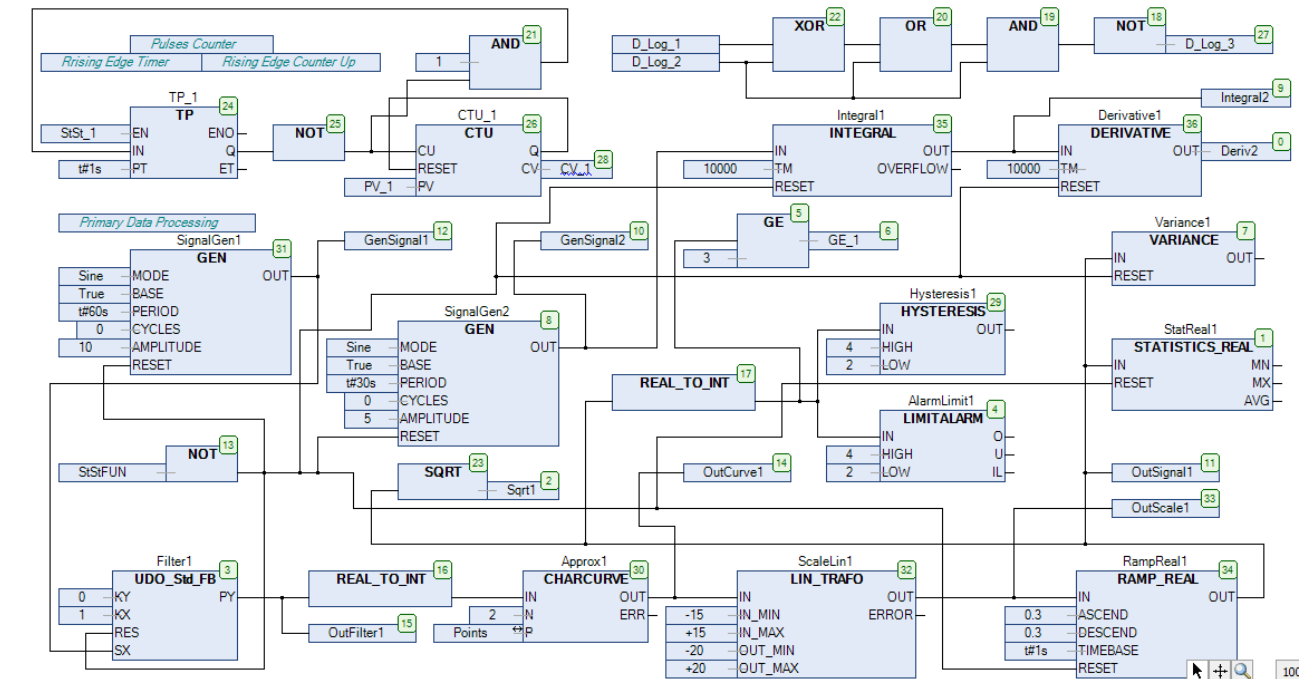


Рисунок 4.7 – Скріншот програмного компонента софтПЛК CoDeSys для моделювання функцій первинної обробки сигналів в ПЛК

На рисунку 4.8 зображено блок лічильника типу TP для підрахунку дискретних сигналів.

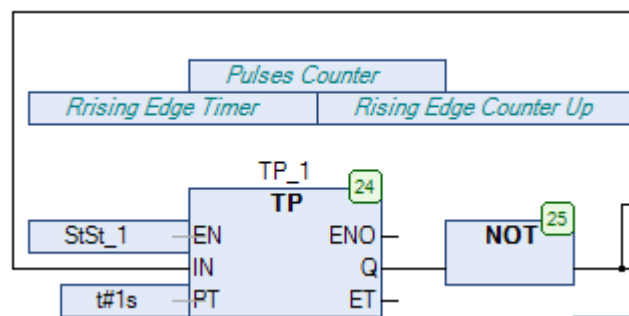


Рисунок 4.8 – Блок лічильника типу TP

На рисунку 4.9 продемонстровано схематичний комплекс тренажер, де студент зможе зрозуміти, як обробляються одиничні дискретні сигнали під час проходження через логічні блоки XOR, OR, AND, NOT.

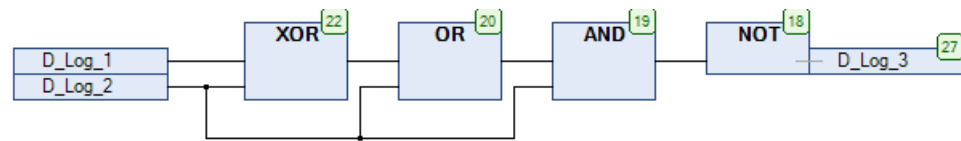


Рисунок 4.9 – Демонстрація принципів роботи логічних блоків: XOR, OR, AND, NOT

На рисунку 4.10 продемонстровано алгоритм обробки і перевірки операцій над сигналом в блоці. Де спочатку за допомогою блока SignalGen2 генерується сигнал (синусоїда) потім він передається в блок інтегратора і після нього потрапляє в блок Derivative1 де він продиференціювався і потім ми порівнюємо цей сигнал з вихідним з блоку SignalGen2 і вони мають співпадати тобто якраз цей функціонал реалізовано для перевірки інтегрування і диференціюванні в програмному середовищі.

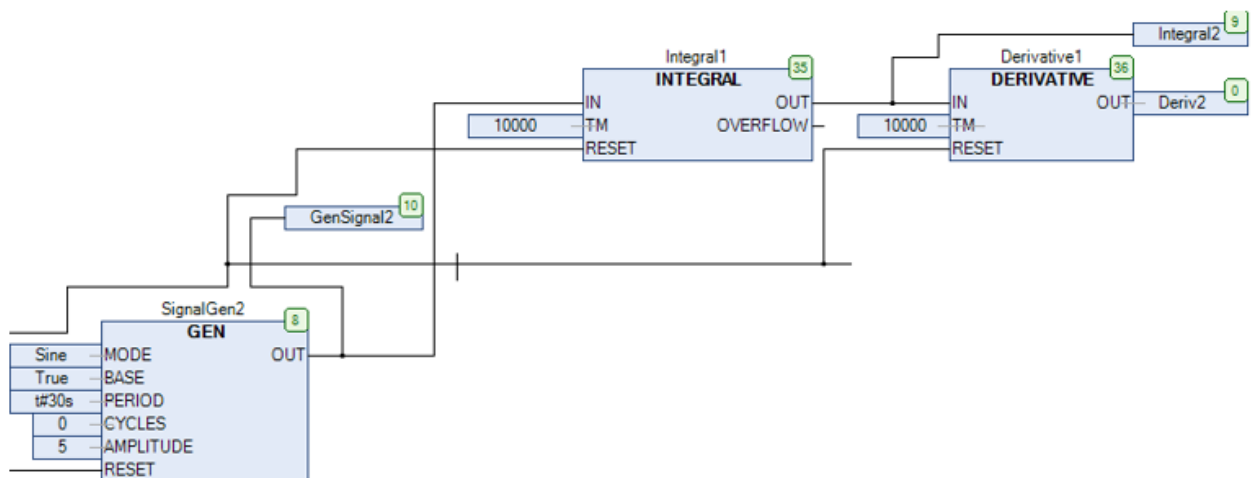


Рисунок 4.10 – Продемонстровано алгоритм обробки і перевірки операцій над сигналом в блоці

На рисунку 4.11 продемонстровано логіку “реальної” первинної обробки сигналу з використанням ФНЧ. Через SignalGen1 генерується синусоїда яка передається до блоку ФНЧ (UDO_Std_FB), після якого відбувається апроксимація (CHARCURVE, кускова лінійна апроксимація – лінеаризація нелінійного сигналу наприклад від термопари), потім на блок лінійної

перетворення шкали (LIN_TRAFO), і потім на блок обмеження швидкості зміни сигналу (RAMP_REAL), вихід сигналу подається на квадратор та виводиться з блоку (SQRT Sqrt1, наприклад для переходу від перепаду тиску до витрати). Інший вихід сигналу передається на блок гістерезиса та визначення виходу за межі для алармів (HYSTERESIS, LIMIT ALARM, STATISTICS_REAL). Блок (VARIANCE) обраховує дисперсію – корінь квадратний з середньоквадратичного відхилення.

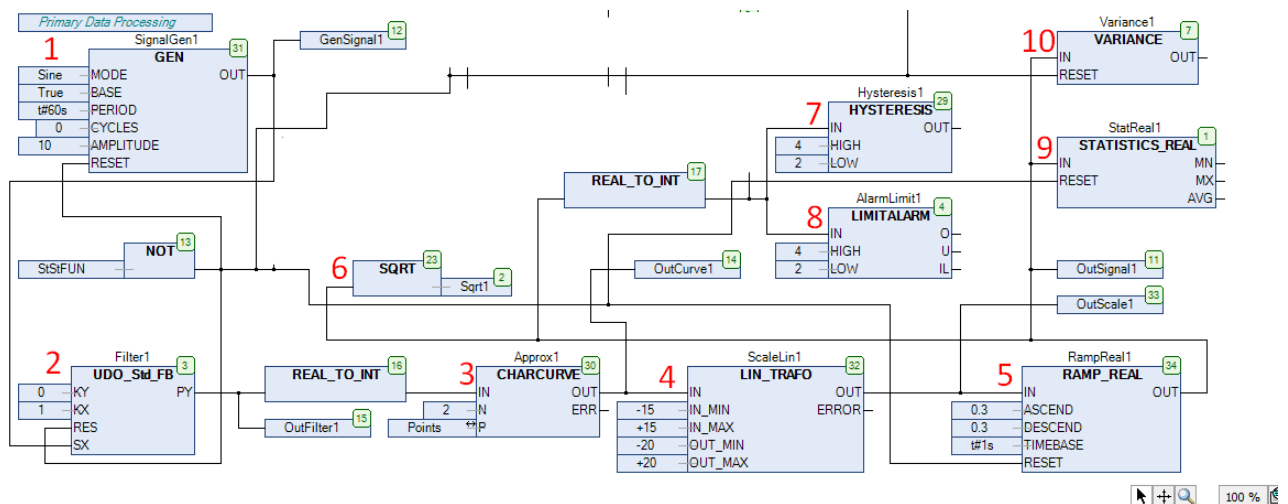


Рисунок 4.11 – Блочний алгоритм для виконання первинної обробки сигналу з ФНЧ

На рисунку 4.12 продемонстровано вбудовані можливості візуалізації в CODESYS де реалізовано вікно на якому зображено тренд який виводить сигнали отримані з PLC_PRG, а саме вихідні сигнали продиференційований та сигнал з обох генераторів синусоїди.

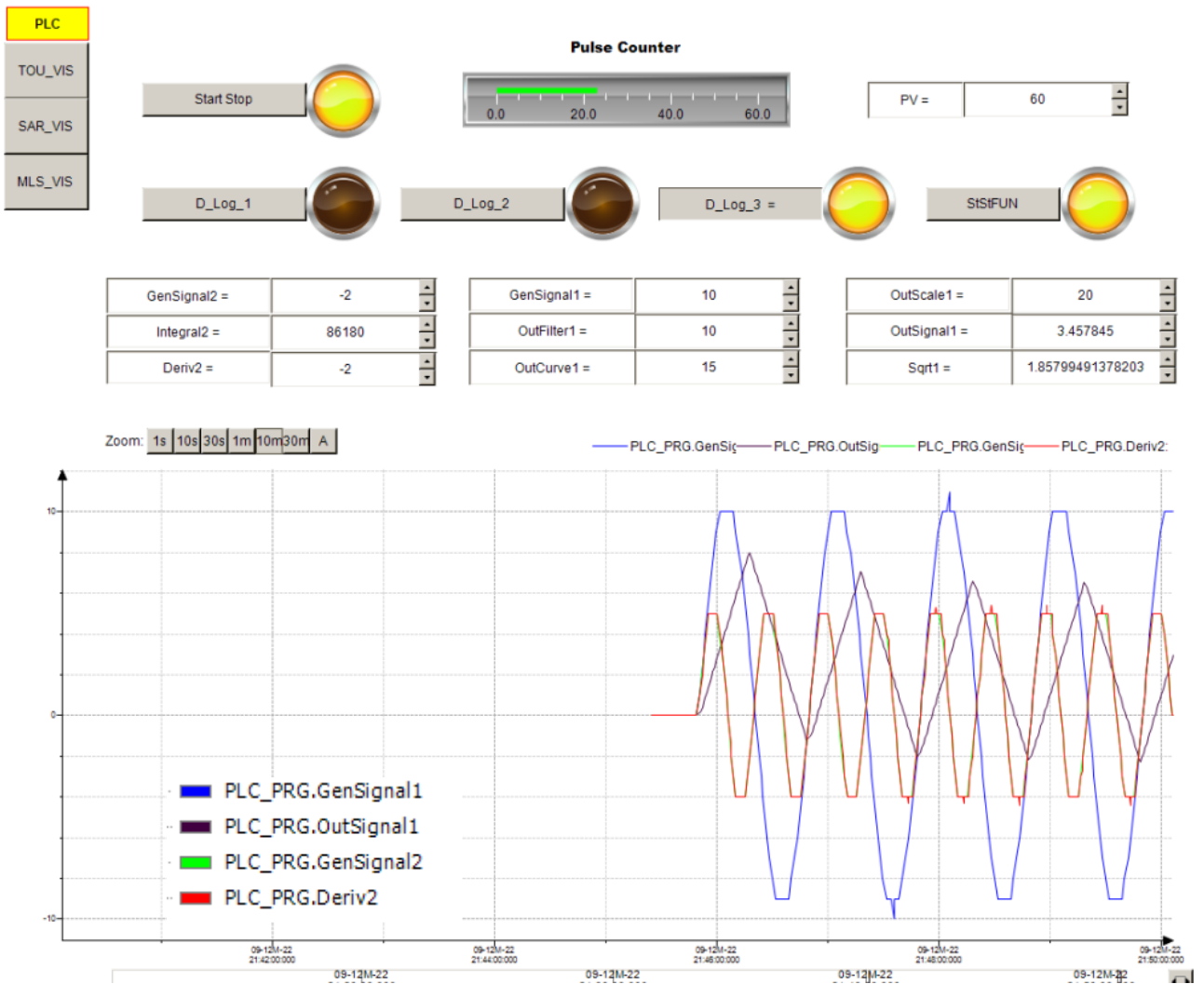


Рисунок 4.12 – Вікно візуалізації PLC_VIS

5. Структурне імітаційне моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів на SIL-полігоні Simulink - CoDeSys - WebStudio

На рисунку 5.1 представлені структури полігонів імітаційного моделювання АТК в лабораторії ІМ АТК.

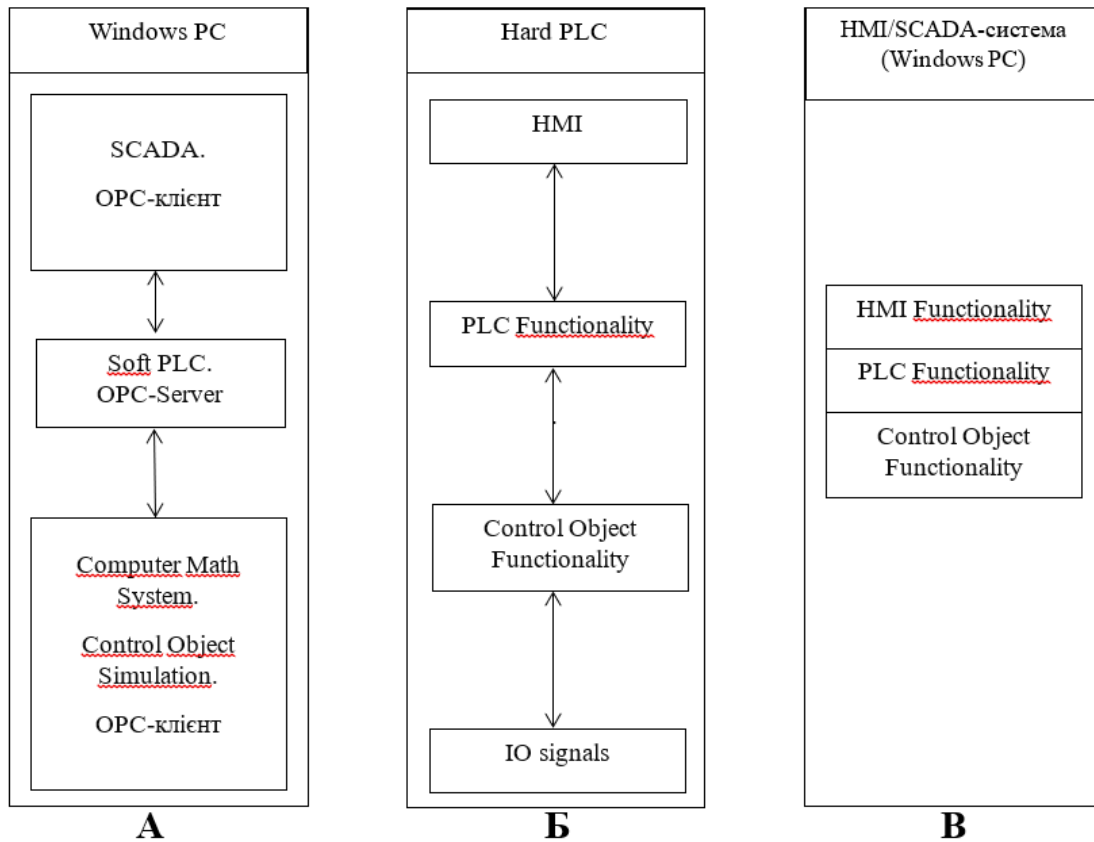


Рисунок 5.1 – Структури полігонів імітаційного моделювання АТК

А) Структура полігону імітаційного SIL-моделювання АТК.

Б) Структура полігону імітаційного HIL -моделювання АТК.

В) Структура полігону імітаційного VIL -моделювання АТК

Імітаційне моделювання АТК – це програмно-технічне моделювання контролерної і супервізорної функціональності АСУ з використанням програмних (не фізичних і не математичних) моделей (цифрових двійників) ТОУ. Функціональне імітаційне моделювання динамічної системи – імітаційне моделювання функцій динамічної системи. Структурне імітаційне моделювання

динамічної системи – моделювання взаємодії структурних частин динамічної системи.

Імітаційне моделювання АТК є ефективним інструментарієм для перевірки роботоздатності і налагодження АСУ за відсутності доступу до реального фізичного ТОУ і неможливості розрахунку динаміки систем автоматичного регулювання з використанням складних математичних моделей ТОУ. Імітаційне моделювання АТК використовується на стадіях проектування (розробки і програмування), впровадження, тиражування і модернізації АСУ.

ТОУ моделюється або в СКМ, або прямо в самому ПЛК. Реалізація ЛМІ – зовнішня SCADA-система або НМІ-панель самого ПЛК. Реалізація ПЛК – хардПЛК (реальний фізичний ПЛК) або софтПЛК (програмно реалізований в комп'ютері ПЛК).

Вирізняють: імітаційне SIL-моделювання АТК (Software-In-the-Loop: софтПЛК в колі зворотного зв'язку; модель ТОУ реалізована в СКМ; ЛМІ – зовнішня SCADA-система); імітаційне HIL-моделювання АТК (Hardware-In-the-Loop: хардПЛК в колі зворотного зв'язку; модель ТОУ реалізована прямо в хардПЛК; ЛМІ – НМІ-панель самого хардПЛК); імітаційне VIL-моделювання АТК (Viewer-In-the-Loop: модель ТОУ, ПЛК і ЛМІ реалізовані в НМІ/SCADA-системі).

Для демонстрації фільтрації сигналів за допомогою різних функціональних блоків було використано WebStudio.

Основною задачею для WebStudio є відображенням результатів роботи алгоритмів та генерування зрозумілих для звичайних користувачів графічних трендів, алармів та інших маніпуляторів для віддаленого керування технологічним процесом.

За допомогою WebStudio було розроблено проєкт Model_OMI де було додано вікно з повнофункціональним трендом до якого були підключені виходи

з функціональних блоків середовища CODESYS для візуалізації сигналу після проходження через фільтри та сигнали без фільтрації.

Operation management interface або OMI – можна пояснити як інтерфейс до управління технологічними процесами і виробництвами (операціями).

Таким чином отримавши дані з MatLab та передавши їх до CODESYS потім дані передаються в SCADA систему для візуалізації в Web Studio.

Створений проєкт Model_OMI, де розроблено вікно візуалізації Models відображений тренд в якому зібрані 5 основних сигналів, які використовуються в моделі, а саме: SVsar, PVsar, ZVsar, RVsar, CVsar. Також у вікні зображено схематичну модель об'єкта та реалізована можливість зміни уставки (SVsar).

В середовищі Simulink було розроблено віртуальний стенд для демонстрації роботи фільтрації внесення та генерування зашумлення, який додається в сигнал регулювання, а також передачі даних в CODESYS для подальшої обробки.

На рисунку 5.2 представлена модель універсального ТОУ в СКМ Matlab Simulink. Модель працює в реальному часі, тобто в темпі з реальним перехідним процесом. Обмін даними з софтПЛК CoDeSys – за протоколом OPC-DA. Універсальність ТОУ полягає в наступному: 1) має швидкісну та інерційну частини з можливістю вимірювання сигналу з проміжної точки ОУ, що дає можливість використати ТОУ як в одноконтурній САР, так і в каскадній сар; 2) дозволяє реалізувати в реальному часі сигнальні збурення зміною завдання і зі сторони РО і параметричні збурення зміною параметрів ОУ; 3) дозволяє змоделювати низькочастотну і високочастотну зовнішні перешкоди для реалізації фільтрації виміряних даних в ПЛК [5].

Для подальшого пояснення роботи алгоритмів використаємо рисунок 5.2 де наведений принцип роботи об'єкта та його складових частин.

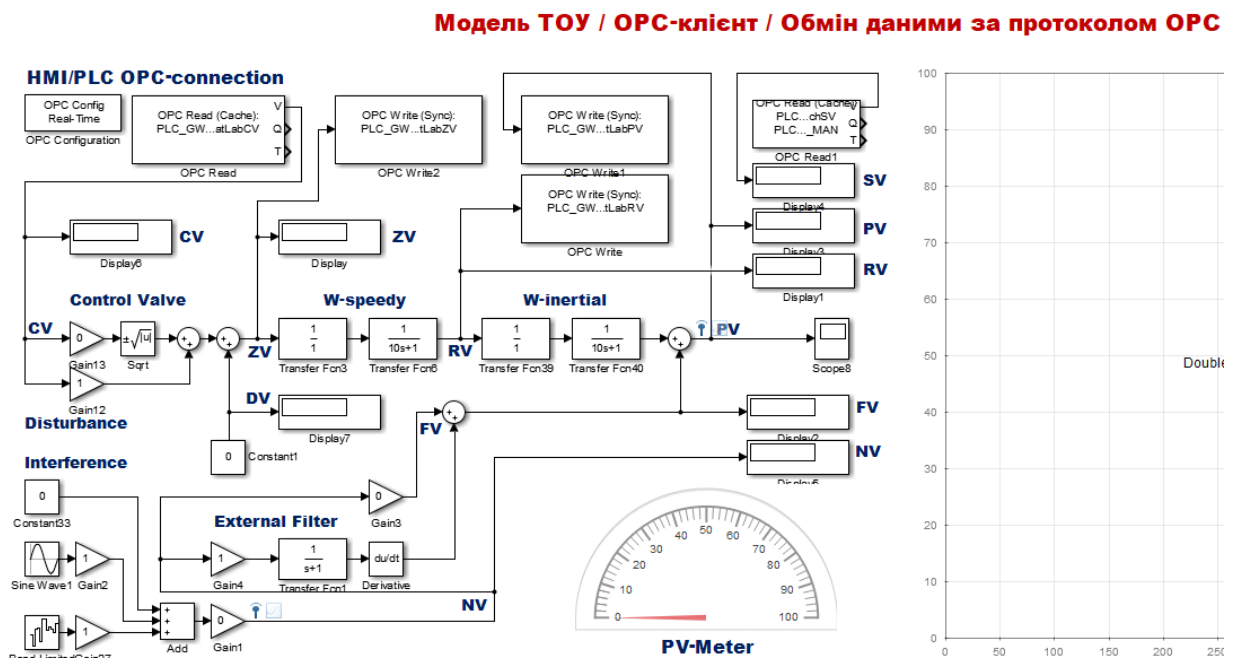


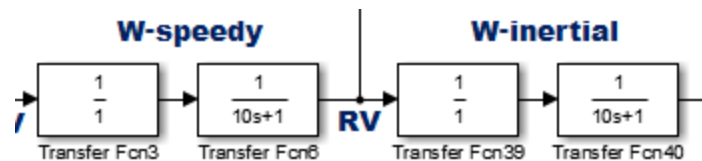
Рисунок 5.2 – Модель ТОУ для ЛІМ створена в Simulink

На рисунку 5.3 продемонстровано універсальний об'єкт, який складається з двох частин speedy і inertial – швидкісна та інерційна складова.

Рисунок 5.3 – Універсальний об'єкт

Передача та обробка сигналу відбувається за допомогою змінних: SV, PV, RV, де SV – задане значення (уставка), PV – оброблене (вимірне) значення, CV – регулююча дія (зміна витрати, тощо).

На рисунку 5.4 – зображено блоки запису та зчитування даних через OPC –



клієнт.

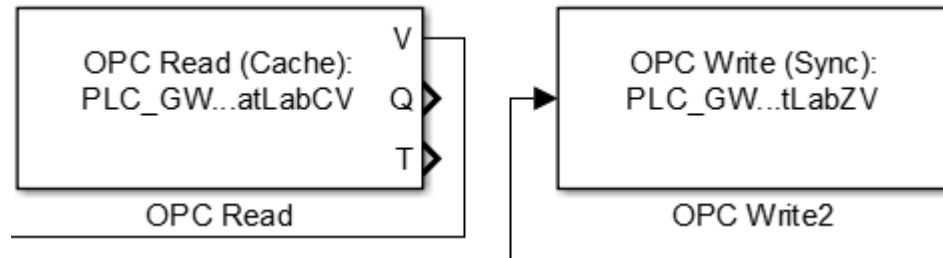


Рисунок 5.4 – Блоки запису та зчитування даних через OPC – клієнт

На рисунку 5.5 продемонстровано регулюючий орган з лінійною витратною характеристикою з додатковою можливістю додавати нелінійну витратну характеристику через квадратор Sqrt. Тому, треба пам'ятати, що в об'єкт управління завжди включається регулюючий орган де нелінійна характеристика є непередбачуваним для нас сценарієм тому ми будемо використовувати лінійні налаштування цього РО.

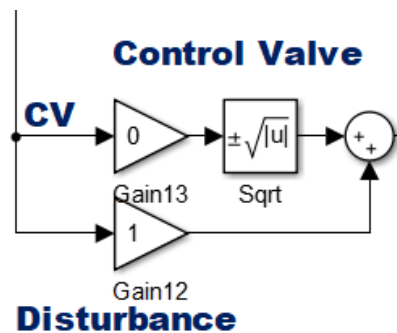


Рисунок 5.5 – Регулюючий орган

На рисунку 5.6 зображено збурення (будь-якого характеру) зі сторони РО де потім створює керуючу дію на об'єкт (ZV).

RV – проміжне вимірне значення, PV – кінцевий сигнал які потім передаються в ПЛК для подальших дій де на основі цих даних ПЛК створює управляючу дію CV.

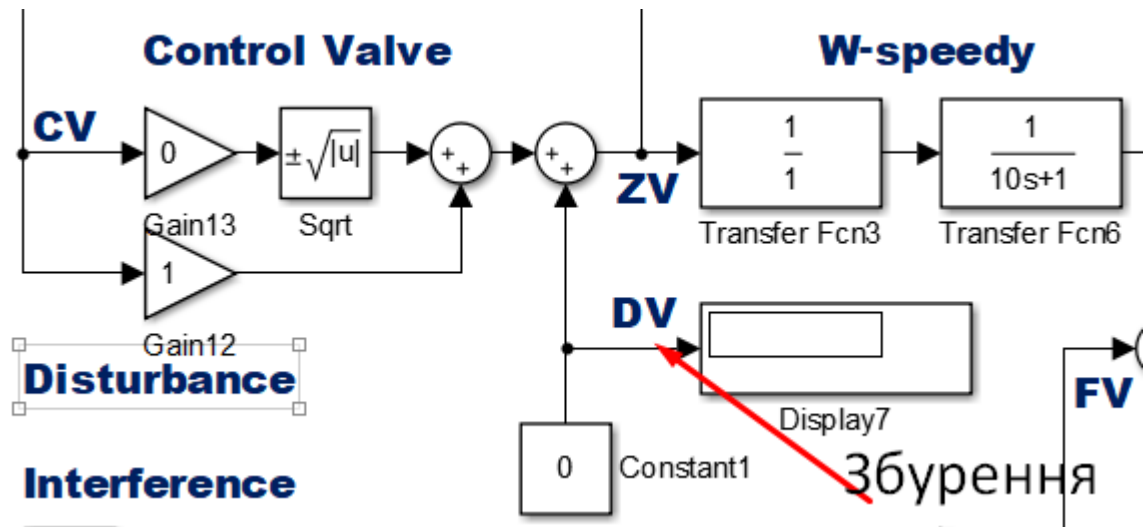


Рисунок 5.6 – Коефіцієнт збурення зі сторони РО

На рисунку 5.7 зображено алгоритм створення перешкоди interference (не плутати зі збуренням). Перешкода це саме той сигнал який заважає регулюванню і саме його потрібно відфільтрувати.

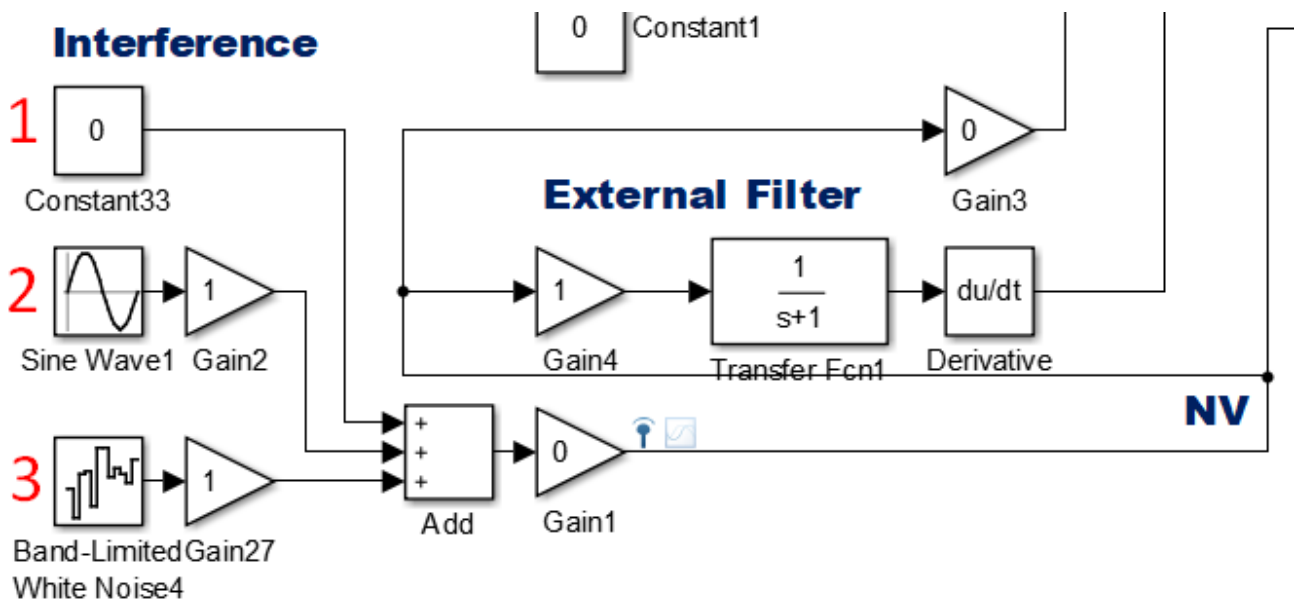


Рисунок 5.7 – Алгоритм створення перешкоди interference

Де 1 – це постійна перешкода, 2 – хвильова перешкода (синусоїда низькочастотна), 3 – випадкова (випадкова високочастотна) перешкода. Ці перешкоди виставленні в порядку спадання по небезпеці для об'єкта. External

filter – це так званий симулятор зовнішньої фільтрації (металева шафа, вита екранована пара, і т.д.), NV – сигнал шуму і цей сигнал накладається як навантаження, тобто уже перешкода накладена на вихідний параметр.

Потрібно пам'ятати, що точка прикладення збурення зі сторони навантаження (λ^H) та перешкоди на об'єкт знаходиться в одному місці але це не одне і те саме.

На рисунку 5.8 представлений програмний компонент софтПЛК CoDeSys для реалізації універсальної каскадної АСР в ПЛК. Програмний компонент підтримується вікном візуалізації в софтПЛК CoDeSys з елементами управління і багатоточковим трендом. Обмін даними з ТОУ в СКМ Matlab Simulink – за протоколом OPC-DA.

Програмний компонент дозволяє змоделювати в реальному часі типову контролерну функціональність каскадної САР. В промисловості практично використовуються тільки дві САР – одноконтурна і каскадна. Решта типів САР практично не використовуються, так як для реалізації своїх внутрішніх і зовнішніх компенсаторів потребують ланок реального диференціювання, які практично неможливо реалізувати в ПЛК. (Використовується релейна САР для тих ОУ, де реалізація САР з ПІ-регуляторми є занадто коштовною, наприклад в багатозонних – до 20 зон регулювання температури – тунельних печах для випалення цегли.) Каскадна САР принципово суттєво краща за одноконтурну САР при збуренні зі сторони РО. При збуренні зміною завдання одноконтурна і каскадна САР забезпечують практично однакові перехідні процеси. Каскадна САР може бути реалізована тільки тоді, коли є можливість виміряти параметр з проміжної точки ОУ, тому каскадна САР – найкращий представник САР з додатковими інформаційними каналами (додатковими зворотними зв'язками). Універсальність каскадної АСР полягає в тому, що вона може бути легко

трансформована в одноконтурну АСР – відключається стабілізуючий регулятор і коригуючий регулятор каскадної АСР стає регулятором одноконтурної АСР.

```

1 PROGRAM MLS_PRG
2 VAR
3     PID_1: PID;
4     PID_2: PID;
5     UDO_Std_1: UDO_Std_FB;
6     UDO_Std_2: UDO_Std_FB;
7     UDO_Std_3: UDO_Std_FB;
8     StSt: BOOL :=0;
9     REG: BOOL :=0;
10    REGnot: BOOL :=1;
11    SET: BOOL :=0;
12    SV_MAN: REAL :=0;
13    MatLabCV: REAL;
14    MatLabZV: REAL;
15    MatLabRV: REAL;
16    MatLabPV: REAL;
17    InTouchSV: REAL;
18    InTouchPV: REAL;
19 END_VAR

```

MatLab - TOU // HMI - SCADA

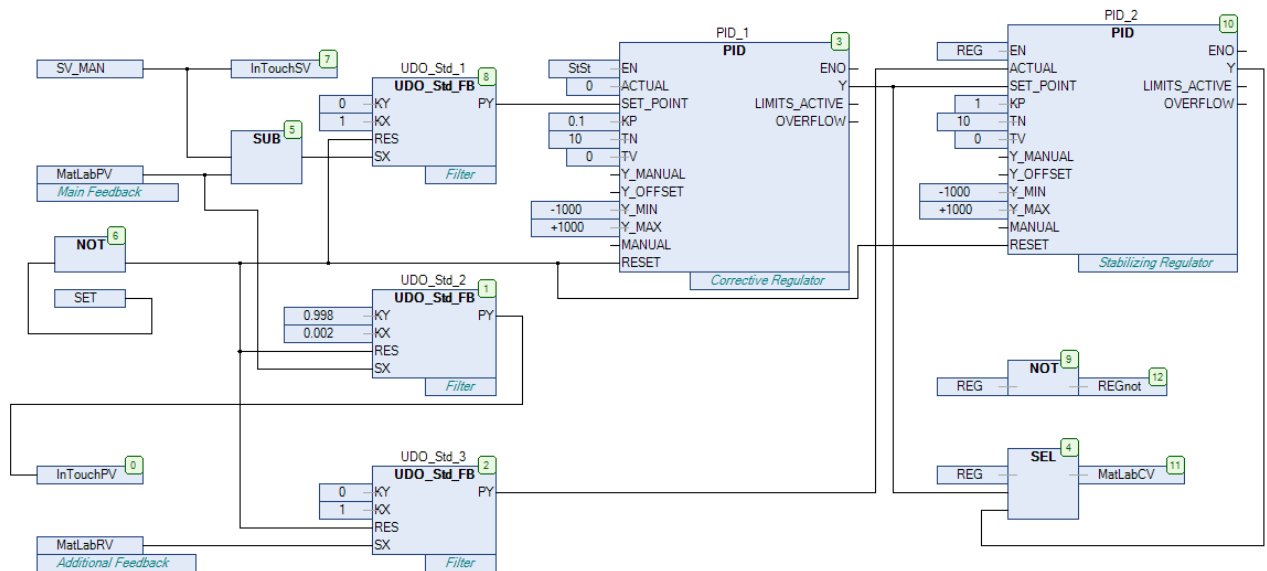


Рисунок 5.8 – Програмна реалізація універсальної каскадної АСР в софтПЛК

CoDeSys

Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
PV	REAL	30.7236881			
SV	REAL	60			
CV	REAL	37.0194664			
ZV	REAL	37.0194664			
DV	REAL	0			
StSt	BOOL	TRUE			
REG	BOOL	FALSE			

SAR = OBJ + REG

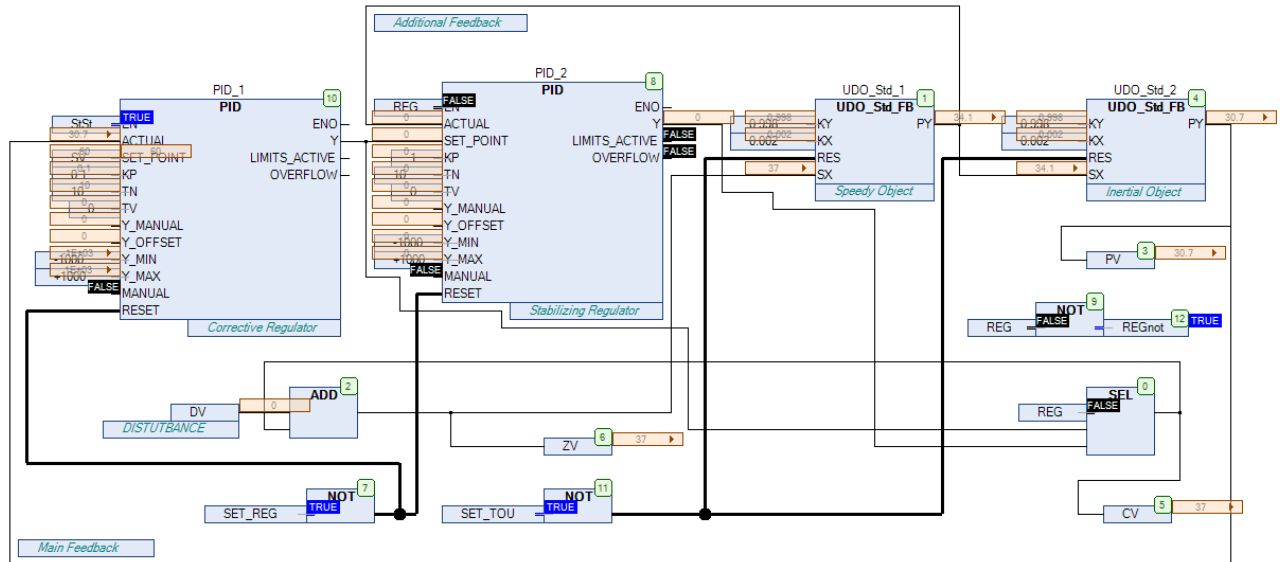


Рисунок 5.9 – Програмна реалізація універсальної каскадної АСР в софТПІК CoDeSys (робочий стан)

Для запуску роботи блоків можна скористатися вікном `MLS_VIS` на рисунку 5.10, де реалізовано вікно візуалізації роботи блоку та фільтрації сигналу за допомогою тренду таким чином модна порівняти графіки створені в середовищі Simulink та CODESYS.

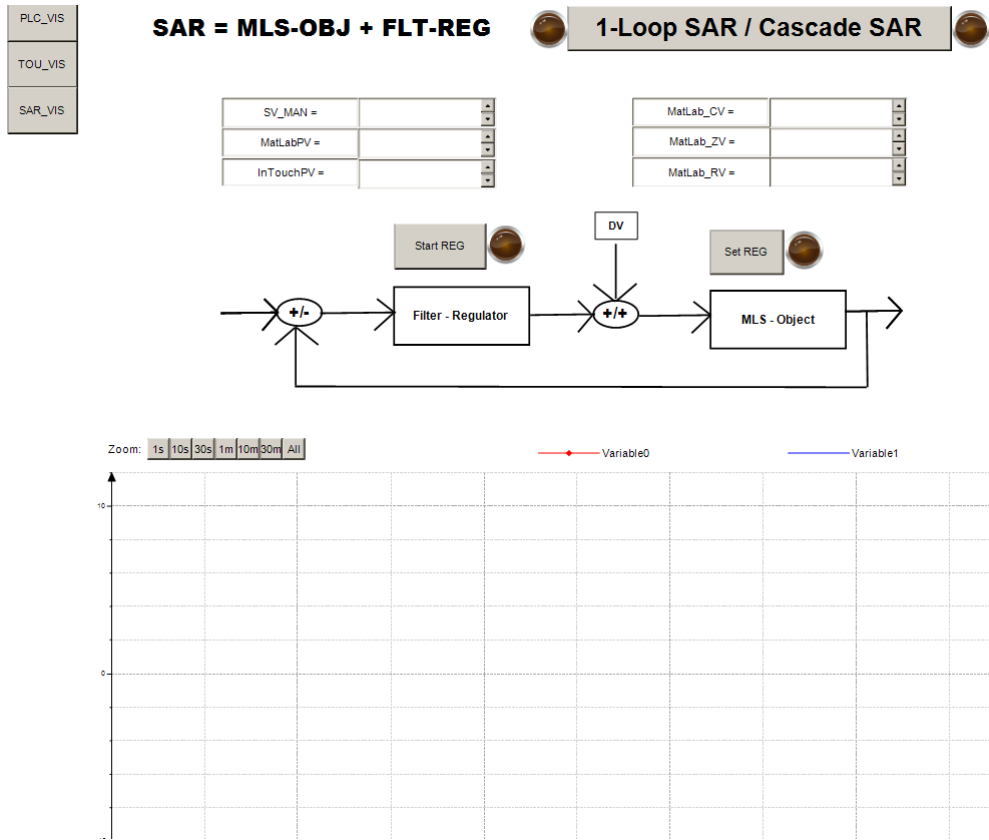


Рисунок 5.10 – Вікно візуалізації блоку та фільтрації MLS_VIS

На рисунку 5.11 відображено робочий стан вікна візуалізації.

Два сигнали, зелений – після фільтру, синій – до, на рисунку видно, що графіки співпадають, але відстають по фазі що викликано неідеальним налаштуванням самого фільтру [4].

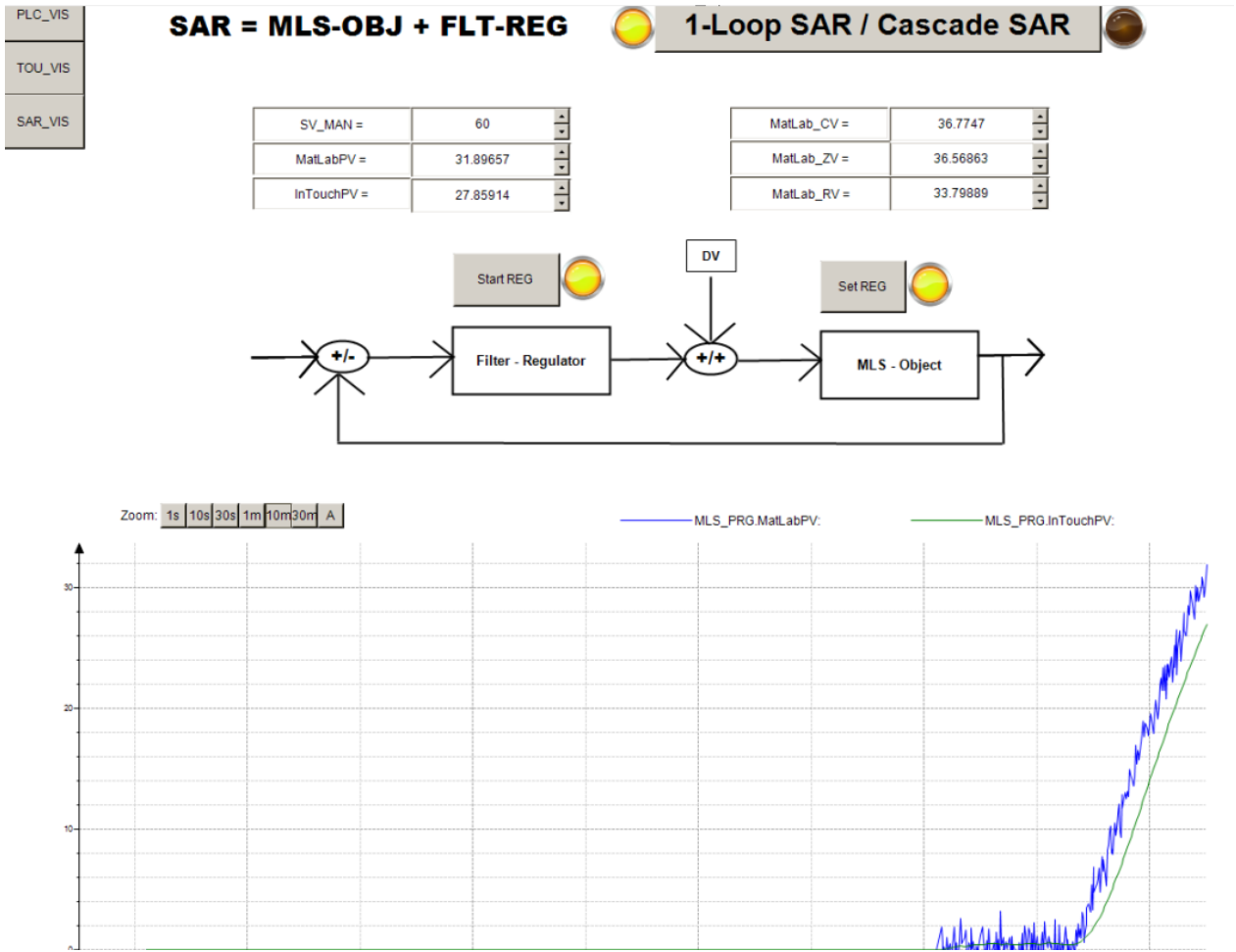


Рисунок 5.11 – Вікно візуалізації роботи блоку та фільтрації MLS_VIS

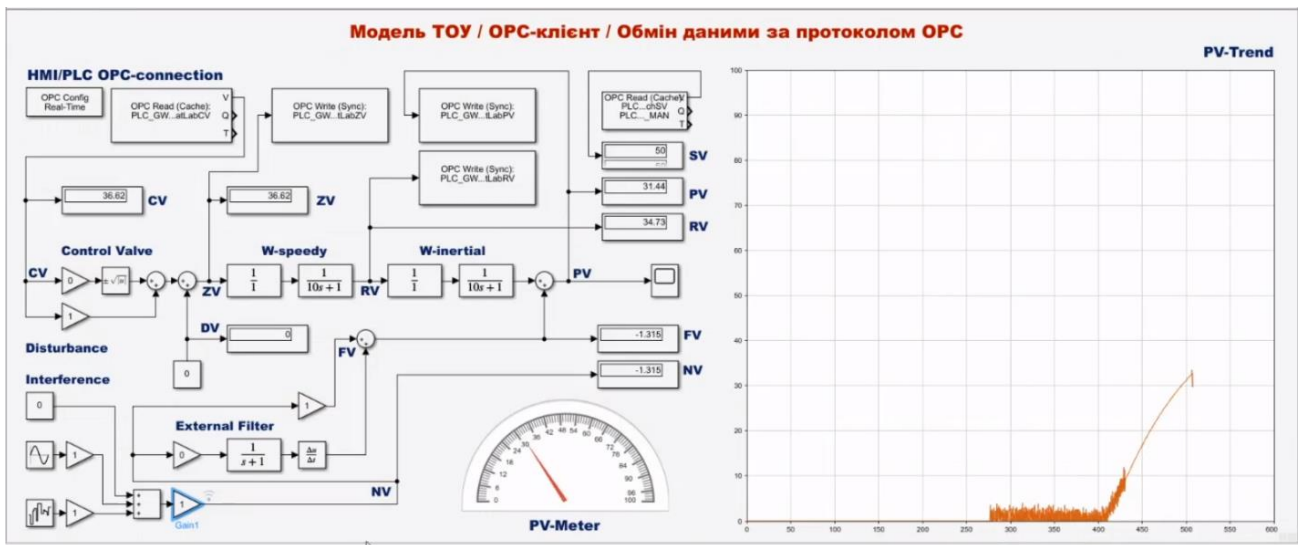


Рисунок 5.12 – Паралельна робота моделі ТОУ та відображення сигналу графічно в MatLab

На рисунку 5.13 представлено вікно «Models» ЛІМІ WebStudio. Вікно підтримує візуалізацію взаємодії універсального ТОУ в СКМ Matlab Simulink і універсальної АСР в софтПЛК CoDeSys. Іншими словами, вікно візуалізує перехідний процес в універсальній каскадній АСР. Обмін даними з софтПЛК CoDeSys – за протоколом OPC-DA. Моделювання будь-якої АСР як каскадної АСР має сенс, так як каскадна АСР може бути легко трансформована в одноконтурну АСР шляхом трансформації каскадної АСР в софтПЛК CoDeSys в одноконтурну АСР.

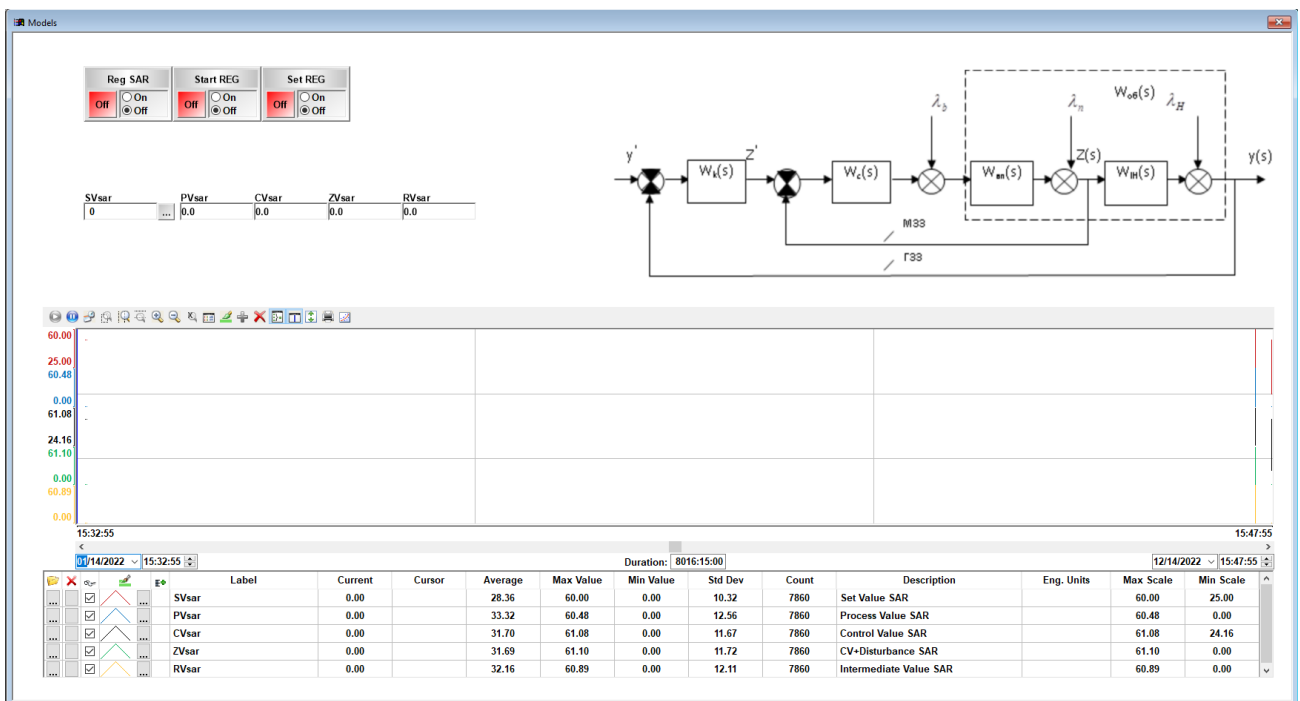


Рисунок 5.13 – Вікно «Models» візуалізації каскадної АСР в ЛІМІ WebStudio

Всі промислові АСР є автономними, тобто мають працювати як автономні АСР режимних параметрів незалежно від інших АСР. Вплив іншої АСР на роботу автономної АСР – це збурення, яке потрібно парировати; тобто автономна АСР має реалізувати перехідний процес, що сходиться до заданного значення режимного параметру, з оптимальними прямими показниками якості перехідного процесу. Таким чином, в структурному моделюванні САУ ТОУ моделюється як сукупність автономних АСР режимних параметрів.

В ЛМІ WebStudio змодельовано Застосунок HMI-Standard функціональність (вікна «Menus», «Mimics», «Alarms», «Trends», «Models») і MES-Lite функціональність (вікна «Models», «Recipes», «Reports», «Schedules», «Simulation»). Назви вікон відповідають функціональності, яку вони візуалізують.

Для демонстрації роботи візуалізації та її синхронізації з процесами в MatLab та CODESYS продемонструємо зміну уставки SV_{sar} з 60 до 25 та вплив цієї зміни на графік. Таким чином на рисунках 5.14 – 5.17 продемонстровано зміну та перегулювання та відображення параметрів на SCADA Web Studio, CODESYS та MatLab.

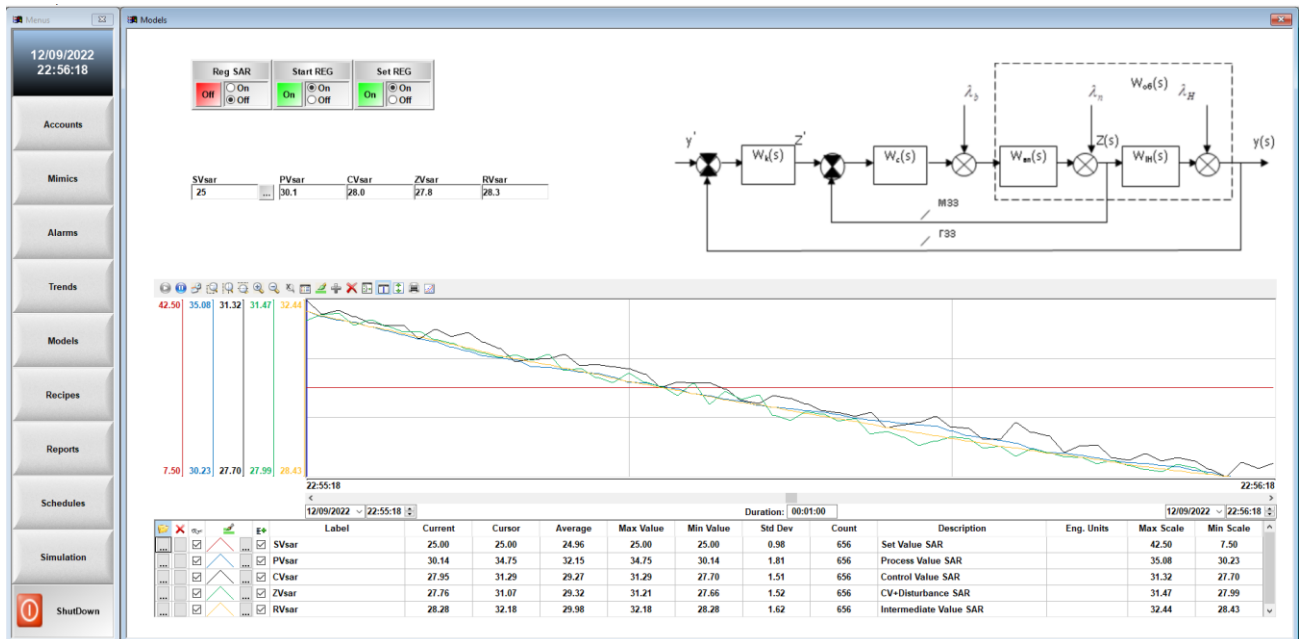


Рисунок 5.14 – Вікно Model візуалізації у Web Studio, вихід на завдання

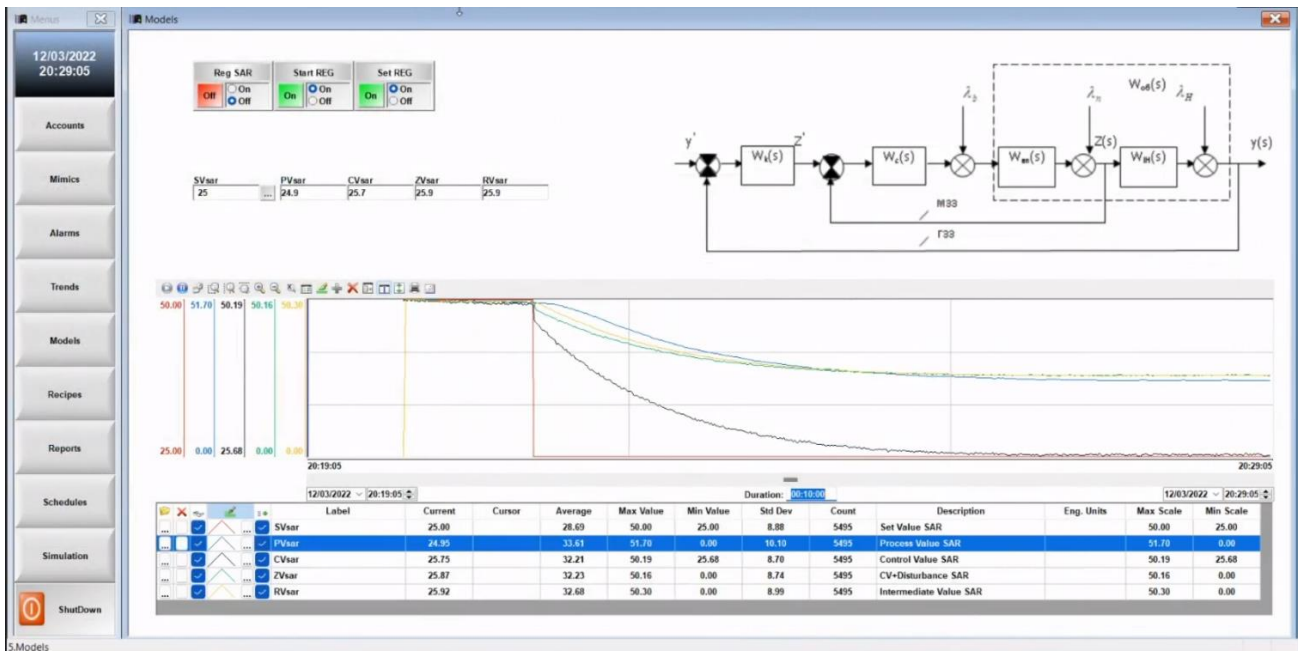


Рисунок 5.15 – Вікно Model візуалізації у Web Studio, зміна сигналу уставки на параметр 25 з налаштуваннями графіка на автоскейл корекцію в проміжку 10 хв

На рисунках 5.16, 5.17 відображено скріншоти паралельної роботи виходу на уставку в Codesys та Matlab для демонстрації перетікання процесу регулювання в усіх трьох середовищах.

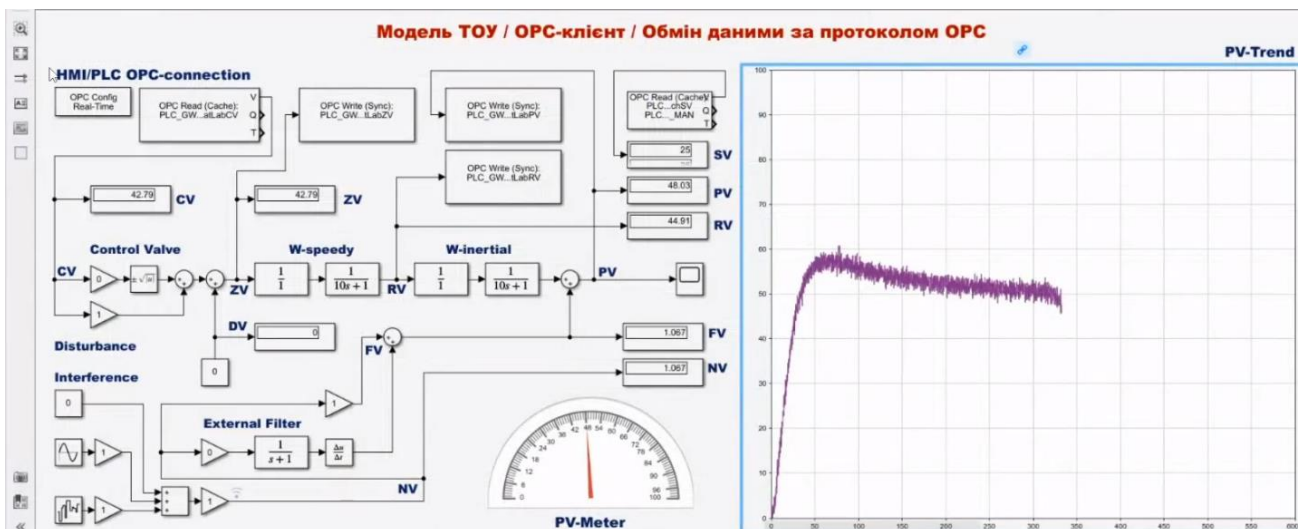


Рисунок 5.16 – Процес виходу на уставку в MatLab

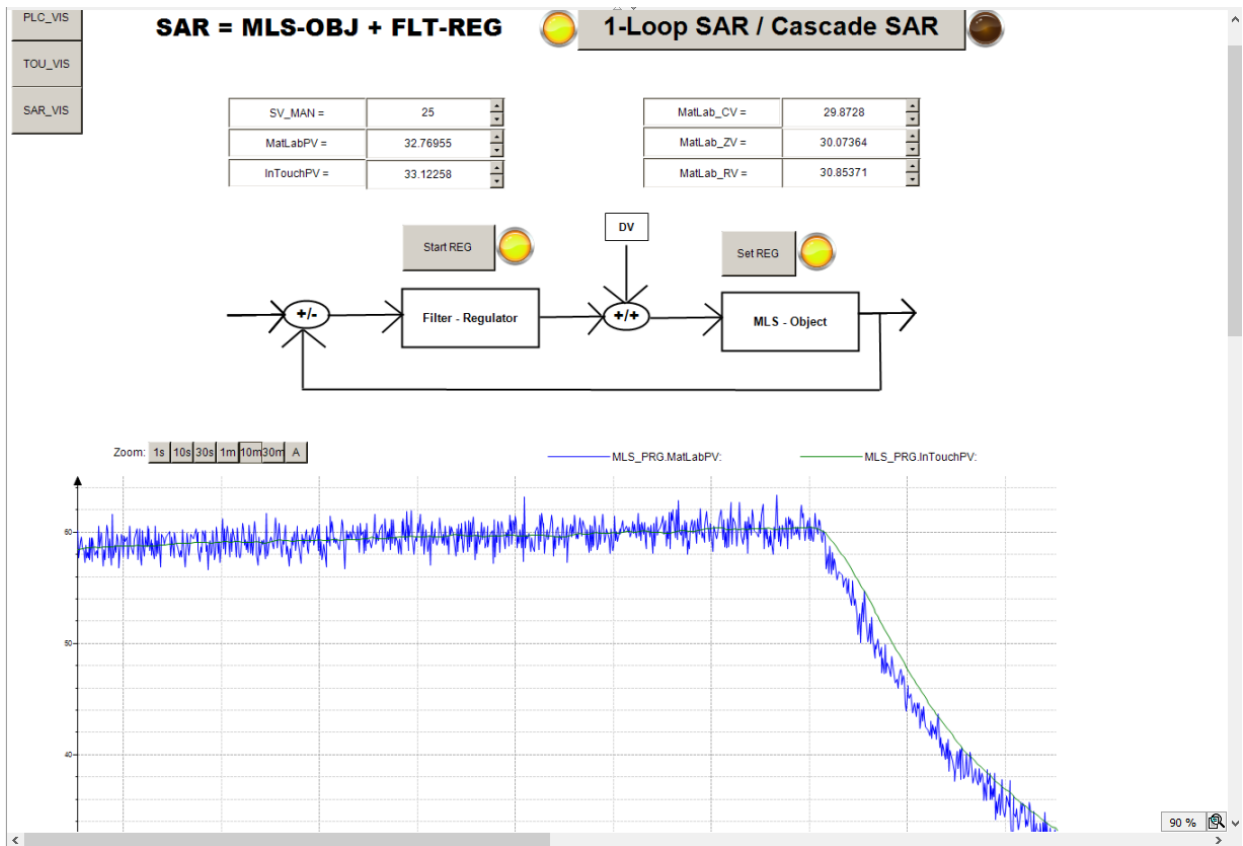


Рисунок 5.17 – Вікно MLS_VIS візуалізації у COCDESYS, зміна сигналу уставки на 25

Таким чином було реалізоване структурне імітаційне моделювання за допомогою MatLab, CODESYS, Web Studio.

- MatLab – Модель об'єкта;
- CODESYS – Реалізація регулятора;
- Web Studio – Візуалізація даних.

6. Розроблення стартап-проєкту веб-порталу "Time Remaining"

6.1. Інформаційна карта проєкту

1. Назва проєкту	Веб-портал: "Time Remaining"
2. Автори проєкту	Лядишев Дмитро, Кіреєв Микита, Гузь Дмитро
3. Коротка анотація <i>(не більше 1/3 сторінки)</i>	<p>Веб-портал "Time Remaining"</p> <p>Буде висвітлювати час який лишився до якої-небудь події в світі яка стає популярною, з точними або приблизними часовими показниками взятими з офіційних і приватних джерел.</p>
4. Термін реалізації проєкту	<p>1-2 місяці</p> <p><i>Тривалість проєкту (в місяцях)</i></p>
5. Необхідні ресурси	<p>Матеріальні:</p> <ul style="list-style-type: none"> Персональні комп'ютери з встановленим програмним забезпеченням – 100 000 грн <p>Фінансові:</p> <ul style="list-style-type: none"> Консультація юристів – 8 000 грн <p>Інтелектуальні</p> <ul style="list-style-type: none"> Авторські права на програмний продукт – 8000 грн на виробництво <p>Всього: 116 000 грн</p> <p><i>Перелік усіх необхідних ресурсів (фінансових, матеріальних інтелектуальних та ін.)</i></p>

<p>6. Опис проблеми, яку вирішує проєкт</p>	<p>Зараз настала інформаційна ера де люди спостерігають за новинами та подіями які відбуваються або скоро відбудуться, люди завжди люблять стежити за цікавими їм речами або речами які набувають популярності або освітлюються в світі, веб-портал “Time Remaining”</p> <p>Буде висвітлювати час який лишився до якої небуть події в світі з точними або приблизними показниками взятими з офіційних і не дуже джерел.</p> <p>Основною фішкою буде те що на головній сторінці порталу будь хто може створити свою секцію з часом до події це буде регулюватися алгоритмом та найбільш популярні події будуть висвітлюватись на головній сторінці методом вибору за голосами в реальному часі.</p>
--	--

<p>7. Головні цілі та завдання проєкту</p>	<p>Головні цілі проєкту:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Розробити сайт з усім необхідним функціоналом • Зареєструвати домене ім'я • Дослідити та впровадити найкращий метод обробки інформації на основі алгоритмів та частково мануальної перевірки • Зробити портал доступним та зрозумілим для широких мас.
---	--

<p>8. Очікувані результати</p> <p><i>(Описати позитивні зміни, які відбудуться в результаті реалізації проєкту після його завершення та в довгостроковій перспективі)</i></p>	
<p>Результати розробки відповідного порталу дозволить людям як дізнаватись час до своїх очікуваних подій так і до подій які хвилюють суспільство, незалежність порталу дозволить людям більше довіряти новинам, а також впроваджувати розважальний аспект.</p>	

6.2. Формування команди стартапу

Таблиця 6.1 – Розподіл ролей.

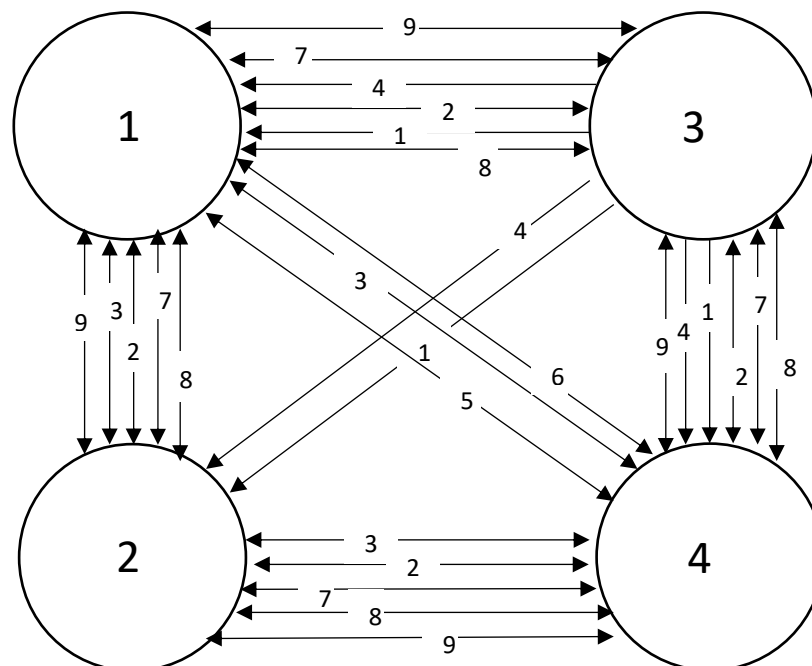
Спеціальність	Роль
ІТ-спеціаліст	Генератор ідеї
Проектний Менеджер	Координатор
Web designer	Дизайнер сторінки наповнення
ІТ-спеціаліст	Виконавець

Поставлені завдання та час на їх виконання

Таблиця 6.2 – Завдання з часовими проміжками.

	Завдання	Час
1	Пошук існуючих алгоритмів	0,3
2	Формування вимог	0,7
3	Розробка Технічного завдання	1,2
4	Розподіл ролей	0,2
5	Розробка програмного продукту та візуалізації сайту	4
6	Тестування роботи порталу	1
7	Пошук інвесторів або рекламодавців	2
8	Рекламна компанія	3
9	Аналітика	2

Граф розподілення завдань між учасниками команди



Розрахунок завантаженості учасників команди

Завантаженість = Вхід / Вихід

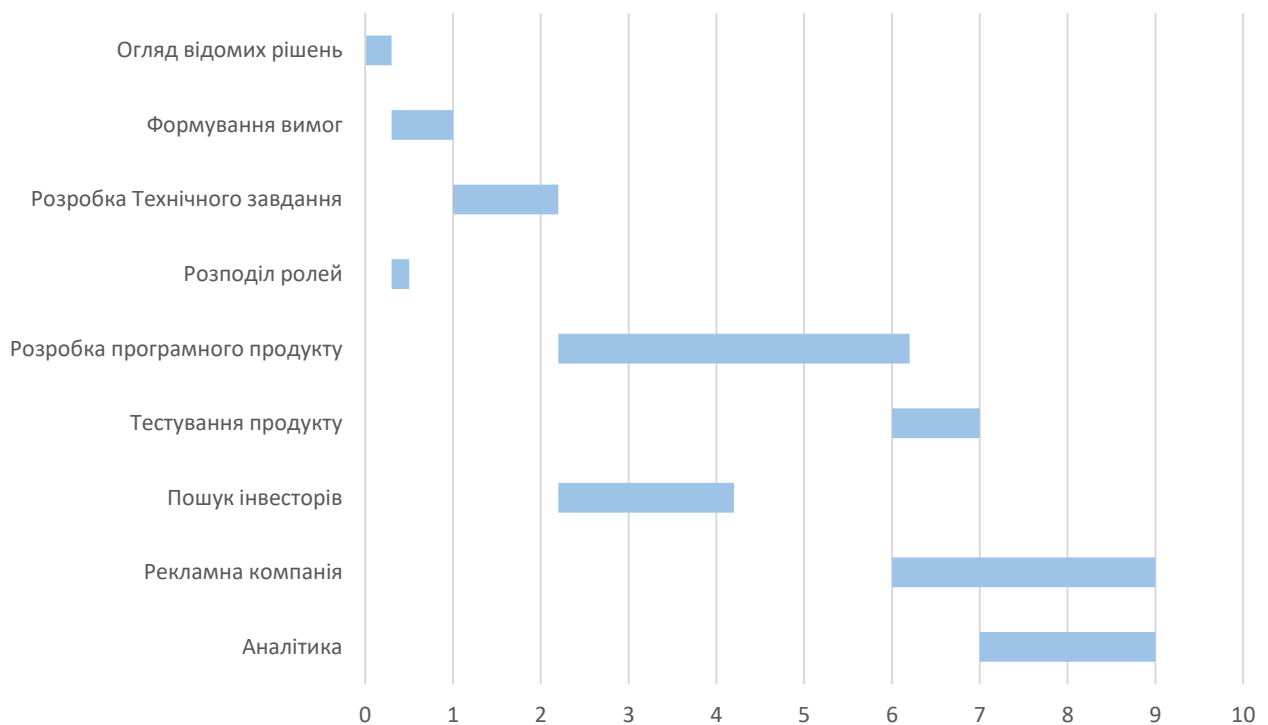
$$1 = 14 / 12 = 1.16$$

$$2 = 12 / 10 = 1.2$$

$$3 = 8 / 14 = 0,57$$

$$4 = 14 / 12 = 1.16$$

Графік розподілення часу



Таблиця 6.3 – Завантаженість по часу кожного з учасників.

Генератор ідей = $(0,3 + 0,7 + 1,2 + 4 + 1 + 2 + 3 + 2) / 9 = 1,57$	1 = $1.16 / 1.57 = 0,73$
Спеціаліст = $(0,3 + 0,7 + 1,2 + 3 + 2) / 9 = 0,8$	2 = $1.2 / 0.8 = 1,5$
Координатор = $(0,7 + 0,2 + 2 + 3 + 2) / 9 = 0.57$	3 = $0,57 / 0.57 = 1$
Виконавець = $(0,3 + 0,7 + 1,2 + 4 + 1 + 2 + 3 + 2) / 9 = 1,57$	4 = $1.16 / 1.57 = 0,73$

Таблиця 6.4 – Визначення важливості факторів щодо їх вкладу у створення та реалізацію стартапу.

Фактор	Вага (важливість)
Ідея	7
Підготовка бізнес плану	9
Кваліфікація	10
Залученість і ризику	8
Обов'язки	9
Залучення партнерів/ інвесторів	7

Таблиця 6.5 – Оцінювання особистого внеску кожного партнера у створення та реалізацію стартапу.

Фактор	Вага	Партнер 1	Партнер 2	Партнер 3	Партнер 4
Ідея	7	7	9	3	7
Підготовка бізнес плану	9	6	6	10	6
Кваліфікація	10	10	10	6	10
Залученість і ризику	8	8	9	6	8
Обов'язки	9	8	8	7	8
Залучення партнерів/ інвесторів	7	9	10	7	9

Таблиця 6.6 – Визначення дольової участі у стартап проєкті кожного учасника.

Фактор	Партнер 1	Партнер 2	Партнер 3	Партнер4	
Ідея	49	63	21	49	
Підготовка бізнес плану	54	54	90	54	
Кваліфікація	100	100	60	100	
Залученість і ризик	64	72	48	64	
Обов'язки	72	72	63	72	
Залучення партнерів/інвесторів	63	70	49	63	
Усього	402	431	331	402	1566
Відсоток	25,67%	27,52%	21,14%	25,67%	100,0%

6.3. Морфологічна карта

За допомогою використання морфологічних карт згенеруємо ідею системи, що буде виконувати записи даних користувачів для розміщення інформаційних оголошень, формування звітів та оброблювати та оновлювати інформацію про роботу порталу. Сайт (портал) повинен бути легким в налаштуванні, пересіванні по темам або новинам, масштабованим для користування на різних пристроях. Найважливішим показником, що показує корисність та успішність порталу є показник кількості переглядів новин та користувачів що відвідали портал за певний проміжок часу.

Визначення основних функцій (їх можна визначити як за результатами наукових досліджень, так і суто інтуїтивно). У цьому випадку їх визначено за комбінацією названих методів:

- Універсальність сайту
- Наявність стабільного оновлення запитів
- Надання автоматично згенерованих часових відділків до подій на основі вподобань користувача.
- Швидкість відклику на зміни в структурі новин та трендів.
- Зручність використання: 1- можливе використання тільки розробником, 10 – працювати може людина яка має навички роботи з комп'ютером
- Головна сторінка де розміщені віділки що набрали найбільше вподобань або за підбором алгоритму

Побудуємо морфологічну карту, на якій покажемо можливі варіанти рішень – засобів реалізації кожної функції.

Таблиця 6.7 – Морфологічна карта.

Основні параметри	Проміжні рішення				
	1-ше	2-ге	3-тє	4-те	5-те
Кількість підтримуваних пристроїв для відображення порталу	Компютер	Телефон	Смарт ТВ	Ігрові приставки	Алекса
Стабільне оновлення запитів	500	1к	10к	30к	70к
Звіти	Звіти формуються вручну, все записується в блокнот	Дані для звітів збираються вручну та заносяться у базу але все ще досі рахується вручну	Дані для звітів заносяться в базу даних автоматично, рахуються показники вручну	Дані для звітів збираються та рахуються автоматично	Звіти формуються автоматично та автоматично вносять зміни в алгоритм підбору новин та часових відліків
Швидкість відклику на зміни в структурі новин та тренді	1 день	4год	1 год	30хв	1 хв

Зручність використання (10 бальна шкала)	1	3	5	8	10
Головна сторінка	Розміщення часових відліків вручну модератором	Розміщення часових відліків алгоритмом простим на основі вподобань	Розміщення часових відліків алгоритмом на основі вподобань та світових новин	Розміщення часових відліків алгоритмом на основі вподобань та світових новин перевірених на коректність та динамічна їх зміна	Розміщення часових відліків алгоритмом на основі вподобань та світових новин перевірених на коректність та динамічна їх зміна а також можливість рекламним агентствам додавати свої поля для новин помічених як рекламні

Таким чином, ідею нового порталу можна сформулювати так: Даний портал є розважально інформаційним сайтом. Для людей які хочуть бути в курсі новин які не регулюються державними змі а також на будь яку тематику з

можливість додавати на головну сторінку най гарячіших оголошень та подій яку мають відбутися.

Задум порталу:

Портал за задумом. Портал регулюється системою та модераторами. Має стабільний оновлення тредів і часових відліків, час затримки 1 хв.

При цьому інформація про роботу систему, тобто звіти, формуються автоматично згідно внутрішнім алгоритмом. При виникненні аварійних ситуацій система має автоматично регулювати роботі порталу з втручанням модераторів . Порталом можуть користуватись будь хто.

Товар у реальному виконанні. Підтримує підтримує 70к запитів у мережі одночасно. Має затримку сигналу 1хв – це стабільність сигналу. Звіти формуються автоматично, зі вказанням найпопулярніших тредів та відліків. Персонал реагує на аварію після реакції системи. Портал має досить зручний інтерфейс. Портал є зареєстрованим та має сертифікацію від Google а також захист від DDos атак та взлому.

Етапи еволюції захисту даних за методом MVP

Головна проблема: Портал несе інформаційно розважальний характер де кожен користувач може висунути свою ідею відліку та колективно заявити новину на головній сторінці таким чином державні СМІ та інші підпорядковані новини не мають контролю над сайтом, що дає впевненість людям в незалежності і правдивості інформації, також дуже вадливим аспектом є пошук інформації до якоїсь події і цей портал покликаний допомогти вирішити це завдання максимально швидко та зручно. Сьогодні в період четвертої цифрової революції це питання знову стоїть одним з перших на порядку денному.

1-й MVP Новини записуються на камені

2-й MVP Новини записуються на бумагу

3-й MVP Ведеться записи і публікації в спеціальні газети

4-й MVP Новини записуються у блокнот на комп'ютері потім розміщуються в інтернеті.

5-й MVP Новини записуються у портал в редакторі, все ще редагується вручну але існує алгоритм зберігання та перевірки даних: в інтернеті.

6-й MVP Новини редагуються та створюються через редактор у порталі перевіряються алгоритмом на популярність та коректність і передаються модераторам або автоматично публікуються де потім просуваються за допомогою кількості переглядів вподобань на головну сторінку порталу.

Таблиця 6.8 – Опрацювання питань для удосконалення порталу «Help commissioning works »

№ з/п	Запитання	Відповідь
1	Частиною яких систем є продукт?	Продукт є інформаційний портал в мережі інтернет.
2	Які функції надсистеми може виконувати продукт? Як їх з ним пов'язати?	Продукт, може виконувати інформаційний та розважальний контент, доносити до людей новини та популярні події що мають відбутися через певний відлік часу.
3	Чи можна розділити продукт на етапи?	Можливе розділення 2 частини функціонал та візуалізацію
4	Чи можна об'єднати (агрегувати) кілька елементів продукту в один.	Можливо на одному етапі реалізувати декілька частин програмного алгоритму підбору новин та часових відліків
5	Яким має бути ідеальний продукт?	Продукт є універсальним для будь якого користувача за віком та статтю через спеціальний алгоритм рекомендацій

6	Що відбудеться, якщо вилучити цей продукт? Чим його можна замінити?	Даний портал є унікальним тому його неможливо замінити якщо не враховувати форуми які ж лише частковою альтернативою а не заміною ідеї
7	Яким цей продукт був у минулому?	Цього продукту не існувало.
8	На розвиток яких функцій було спрямоване удосконалення продукту?	Продукт був спрямований на розповсюдження новин та подій серед людей не тільки англomовних частини але й інших популярних мовних груп.
9	Які функції залишилися «недорозвиненими»?	Перетворення з порталу на самостійний додаток для смарт електроніки.
10	Як можна натепер розвинути ці функції?	Залучити додаткових спеціалістів для створення та перенесення порталу в додаток.

Здійснюється відбір найцікавіших ідей і формується їх список.

Поєднання всіх функцій в цьому пристрої є безперспективною ідеєю, тому обираємо актуальні ідеї для підвищення ефективності:

Ідея 1. Передача інформації про роботу на хмару.

Ідея 2. Передача великих даних для обробки в

Ідея 3. Зберігання інформації для швидкого доступу на пристрої. В пристрій вбудована

Ідея 4. Використання вже існуючих протоколів передачі даних. Дозволить робити більш універсальний продукт.

Наступним кроком є об'єднання знайдених ідей, їх агрегування або комбінування.

Агрегування 1. Підвищити продуктивність можна не лише за рахунок використання більш потужних пристроїв, а за рахунок передачі певних функцій спеціалізованим центрам.

Агрегування 2. Розвантаження обчислюваних потужностей.

Агрегування 3. Об'єднавши два верхні варіанти, отримуємо пристрій з найбільшим коефіцієнтом корисної дії.

Таким чином отримано три додаткові ідеї. Кількість продуктивних та унікальних ідей збільшено до десяти. Навіть без їх ретельного аналізу, якщо скласти морфологічну таблицю, то можна отримати близько 30–40 якісно нових ідей.

Відбираємо найбільш працездатні ідеї, перевіряємо їх на своєчасність. Для цього необхідно за кожною з отриманих ідей відповісти на три запитання: що вийшло; де це можна використати; кому це потрібно.

Ідея 1. Передача інформації та обробки її на хмарі:

Для того щоб не зберігати всі бази даних на одному пристрої забезпечити бекап пртолу на хмару для екстернних осбтавин

Ідея 2. Передача великих даних для обробки в датаценетр: в майбутньому коли необхідно буде обротьяти великі масиви даних заключити контракт з дата центром для роботи з порталом для обслуговування великої кількості користувачів одночасно.

Ідея 3. Модифікації користувацького інтерфейсі «теми» за вподобанням користувача: надати можливість клієнтам та корнистівачам змінювати дизайн для себе в та забезпечити регагувальний режим для певних аспектів та елементів порталу

Ідея 4. Використання вже існуючих протоколів передачі та обробки запитів та інших даних. Для простоти розробки та розвитку порталу необхідно щоб розробники мали досвід роботи з робочими інструментами тому необхідно забезпечити найбільш зручні та поширені інструменти для роботи та модифікацій порталу

Агрегування 1. Збільшення ефективності роботи залучення рекламних компаній та інвесторів перенесення баз даних порталу на нові потужності після залучення додаткового капіталу.

Агрегування 2:

Генерування схожих новин в одних групах створення атвотматиних розділів для різних груп людей

Надалі потрібно сформулювати та синхронізувати завдання.

Перелічимо знайдені нами рішення в тому порядку, у якому їх можна пропонувати ринку. Таким чином, у табл. наведено цілі організації на найближчі 5, 15, 25 років. Крім того, є план виведення на ринок нового продукту і його постійного відновлення. Якби було пройдено всі етапи ретельно, без пропусків, то одержали б стратегічний план розвитку продукту із щорічною програмою відновлення.

Маючи подібну програму, можна до кожного сезону пропонувати чергове нововведення. Як тільки конкуренти сприймуть таку ініціативу і почнуть тиражувати нововведення, можна виходити на ринок і пропонувати споживачам оновлений продукт, випереджаючи конкурентів.

6.4. Синхронізація завдань

Таблиця 6.9 – Історичні етапи розвитку продуктів.

<i>Етапи</i>	<i>Продукти (послідовність заміщення)</i>		
Минуле століття	1-й MVP (Рукопис на камені)	2-й MVP (Рукопис на бумазі)	3-й MVP (Введення газет)
Сьогодні	4-й MVP (Обробка даних в блокноті та розміщення на сайті)	5-й MVP (поява алгоритмів відбору інформації)	6-й MVP (Використання алгоритмів для агрегації новин та розподіл індивідуально під користувачів)
Завтра	Ідея 1 (Самотічний алгоритм підбору)	Ідея 2 (новітній дизайн порталу)	Агрегування 1 (Збільшення ефективності роботи залучення рекламних компаній та інвесторів)
Після-завтра	Агрегування 2 (Генерування схожих новин в одних групах створання атвотматиних розділів для різних груп людей)		
Digital Control (XXI століття)	Агрегування 3 (Поєднання в одному)		

6.5. Бізнес модель

Ключові партнери:

- Google
- Twitch

Споживчий сегмент:

Будь який клієнт 12+ років який володіє англійською мовою

Ключові ресурси:

- Фінансові
- Інтелектуальні

Рішення: Веб портал де люди можуть вільно викладати часові відліки до подій які їх цікавлять та обговорювати їх також дізнаватись актуальну інформацію про інші події у світі

Канали збуту:

- Компанії
- Інтегратор
- реклами

Ключові види діяльності:

- Інформаційні новини
- Розміщення часових відліків

Метрики:

- Термін реалізації – 3 місяців
- Кількість реалізованих продуктів – 1

Проблема: Втрата грошей через довгу процедуру налагоджування алгоритму та визначення оптимального дизайну для порталу. Складнощі з реалізацією реклами та підписної моделі

Фора: Робота в цьому напрямі не ведеться іншими компаніями. Унікальність роботи алгоритму підбору новин та візуального оснащення порталу надасть якісні переваги перед майбутніми конкурентами

Кроки:

- Аналіз існуючих рішень (01.01.23-10.01.23)
- Розробка (10.01.23-10.02.23)
- Аналітика (01.02.20-01.03.23)

Гіпотези:

Розповсюдження інформації про події у світі найбільш зручним та цікавим методом для людей де люди можуть швидко дізнатися скільки часу залишилось до івентів та інших подій які їх цікавлять і інших людей

Потоки доходів:

- Рекламні компанії та залучення інвестицій через рекламу 90%
- Підпискова модель для преміум клієнтів 10%

Структура витрат:

Матеріальні:

- Персональні комп'ютери з встановленим програмним забезпеченням – 100 000 грн

Фінансові:

- Консультація юристів – 8 000 грн

Інтелектуальні

- Авторські права на програмний продукт – 8000 грн на виробництво

Взаємодія з клієнтами:

- Першим 1000 клієнтам безкоштовна прайм підписка
- Кожен клієнт матиме свій рейтинг довіри в результаті якого його відліки будуть просуватися в рейтингу алгоритму
- Взаємодія буде відбуватися через особистий акаунт клієнт на порталі де його активність буде відкривати йому нові можливості та заохочення

6.6. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Таблиця 6. 10 – Вибір цільових груп потенційних споживачів.

<i>№ n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Звичайні інтернет користувачі	Середня	5000	Невисока	Середня
2	Компанії які зацікавлені в рекламі	Низька	5000	Висока	Середня
<i>№ п/п</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Промислові підприємства	Середня, невпевненість щодо необхідності даного продукту споживачу	45%	Невисока	Середня, для входу необхідно буде провести рекламну компанію
2	Компанії інтегратори систем автоматизації	Висока, дана цільова група готова до придбання товару	75%	Невисока	Середня, для входу необхідно буде провести рекламну компанію
Які цільові групи обрано: Промислові підприємства, компанії інтегратори систем автоматизації					

Таблиця 6. 11 –Визначення базової стратегії розвитку.

<i>№ п/ п</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проєкту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
	Залучення клієнтів методом реклами та інтеграції з компаніями пов'язаними з подіями	Стратегія недиференційного маркетингу	Відсутні	Стратегія концентрації на ключових моментах та головній фішці порталу з поступовими оновленнями

Таблиця 6. 12 – Визначення стратегії позиціонування.

<i>№ п/ п</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспро можні позиції власного стартап- проєкту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)</i>
1.	Зручність у пошуку та актуальних рекомендаціях подій	Стратегія концентрації на ключових моментах та головній фішці порталу з поступовим оновленням	Головна сторінка з часовими відліками до подій та регулярне оновлення на базі унікального незалежного алгоритму	<ul style="list-style-type: none"> • Підключення в один клік • Доступність для будь-яких користувачів • Кросплатформеність
2.	Масштабованість	Кросплатформний портал для будь яких мультимедійних девайсів	масштабованість системи на всі популярні мільтмедійні платформи	<ul style="list-style-type: none"> • Необмежена масштабованість • Висока відмовостійкість •

6.7. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Таблиця 6.13 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1.	Масштабованість	Набір мультимедійних девайсів на яких можна користуватися порталом	Робота порталу буде забезпечена на багатьох мультимедійних девайсах і їх спектр буде розширятися з часом
2.	Доступність	Зручність використання та пересування по порталю	Зручний інтерфейс буде заохочувати клієнтів користуватися порталом
3.	Спеціалізоване алгоритм підбору новин та івентів	Використання спеціалізованого алгоритму	Перенесення виконання обчислень до Хмари

Таблиця 6.14 – Опис трьох рівнів моделі товару.

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Інформаційно розважальний веб портал		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Масштабованість	М	Вр/Тх/ Тл
	2. Доступність	М	Вр/Тх/ Тл
	3. Спеціалізоване алгоритм підбору новин та івентів	М	Вр/Тх/ Тл
	Веб портал де користувачі можуть дізнаватися сільки часу залишилось до подій та створювати обговорення.		
	Марка: Time remaining		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Безкоштовний веб портал		
	Після продажу: Підпискова модель для користувачів		
Вся інформація розміщена на порталі буде захищена від копіювання: патенту та авторського права			

Таблиця 6.15 – Визначення меж встановлення ціни.

<i>№ n/n</i>	<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	Відсутні	Відсутні	500- 5000\$	1\$-2\$

Таблиця 6.16 – Формування системи збуту.

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
	клієнти купують підписку або користуються безкоштовною версією порталу з рекламою	<ul style="list-style-type: none"> • Аналіз ринку • Регіональні регулювання ціни для клієнтів\ користувачів з інших країн 	Канал нульового рівня (виробник безпосередньо продає товар клієнту)	Через портал

Таблиця 6.17 – Концепція маркетингових комунікацій.

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонуванн я</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
	Клієнти дізнаються про товар на сайтах та через рекламу в інтернеті або стрімінгових платформах.	Інтернет	Концентрація на побажаннях клієнтів, залучення нових можливостей та функціоналу порталу	Продемонструвати масштабованість та зручність спеціалізованого алгоритму підбору івентів та часових відліків	Заощадження часу клієнтів у пошуку інформації, незалежність порталу від державних змі, перевіреність інформації.

6.8. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Таблиця 6.18 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту.

<i>№ п/ п</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100к \$
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30%

Таблиця 6.19 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту.

<i>№ п/п</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
	1. Масштабованість 2. Доступність 3. Зручність у використанні (дизайн)	Користувачі інтернету віком (12-60 років) Рекламні компанії	Поведінка загалом складно передбачуванна так як аудиторія дуже широка	<ul style="list-style-type: none"> • Доступність • Надійність • Зручність Швидкість

Таблиця 6.20 – Фактори загроз.

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Дуже велика розшарованість аудиторії, складність у рекламній інтеграції	Дуже велика розшарованість аудиторії через що й виникає складність у підборі акцентів порталу та зовнішнього інтерфейсу	Зробити підказки в інтерфейсі для нових клієнтів. Провести маркетингові рішення для залучення рекламних інвесторів.

Таблиця 6.21 – Фактори можливостей.

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Нові технології для підвищення продуктивності	Заміна старих технологій та підходів на більш нові	Пришвидшення впровадження нових технологій
	Відсутність аналогу	Вільний ринок	Можливість швидкого розвитку

Таблиця 6.22 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	Відсутність конкурентів	
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний/...	Відсутність конкурентів	
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева	Відсутність конкурентів	
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	Відсутність конкурентів	
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Відсутність конкурентів	
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Відсутність конкурентів	

Таблиця 6.23 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Складові аналізу	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
	<i>Відсутні</i>				
Висновки:	На ринку існують товари які покривають функції виробу дуже частково, тому їх не можна враховувати за конкурентів.	Строки виходу на ринок будуть залежати від готовності товару.	Не диктують умови на ринку.	Умови на ринку диктують самі користувачі і деякі великі компанії але лише з приводу розміщення реклами	Обмежень немає.

Таблиця 6.24 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)</i>
1	Потреби споживачів	Потреби замовників впливають на якість та покращення роботи алгоритму підбору новин та візуального інтерфейсу порталу та появу нових можливостей
2	Ціна та собівартість	За рахунок того, що того що портал буде розвиватися за рахунок реклами та підпискової моделі собівартість достатньо висока як і ціна на весь продукт враховуючи ризики та потенціал розвитку

Таблиця 6.25 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Digital Control».

№ n/ n	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Технічне обслуговування	18						+	
2	Потреби споживачів	15					+		
3	Результативність	14						+	
4	Маркетинговий потенціал	12						+	
5	Ціна та собівартість продукції	14					+		

Таблиця 6.26 – SWOT- аналіз стартап-проекту.

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Низька ціна на продукт, • Зручність та швидкість в користуванні • Масштабованість • Незалежність інформації та рівноправні права на її розміщення для кожного 	<p>Загрози:</p> <p>Орієнтація на англomовний сегмент ринку.</p>

Таблиця 6.27 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

№ n/n	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
	<ul style="list-style-type: none"> • Реклама на платформах YouTube та Twitch • Популярні публікації 	75%	9-12місяців

6.9. Виробничий план

Мета: довести можливості ефективного організаційного та ресурсного забезпечення проєкту; продемонструвати, що запропоновані організаційні рішення дозволять ефективно реалізувати стартап-проєкт.

Таблиця 6.28 – Календарний план-графік реалізації стартап-проєкту.

№ з/п	Етапи реалізації	Період реалізації проєкту						
		0-й рік ¹				1-й рік	2-й рік	3-й рік
		1-й кв.	2-й кв.	3-й кв.	4-й кв.			
1	Проведення НДДКР	+	+					
2	Розробка проєктних матеріалів і ТЕО	+	+					
3	Робоче проєктування і прив'язка проєкту	+	+					
4	Створення компанії		+	+	+			
5	Придбання нематеріальних активів, отримання дозвільних документів тощо		+	+				
6	придбання й оренда земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд			+	+			
7	Придбання обладнання, устаткування та пристроїв	+	+					
8	Перед виробничі маркетингові дослідження	+	+					
9	Придбання матеріальних ресурсів	+	+					
10	Укладання рекламних та партнерських угод				+	+	+	+
11	Продаж підписок		+	+	+	+	+	+

Таблиця 5.2

Таблиця 6.29 – Планова потреба у виробничих площах.

<i>№ з/п</i>	<i>Тип приміщення (будівлі, ділянки, споруди)</i>	<i>Кількість одиниць</i>	<i>Площа, кв. м</i>	<i>Вимоги до приміщення (будівлі, ділянки, споруди)</i>	<i>Умови надання</i>	<i>Вартість, тис. грн.</i>
1.	Відсутня так як усю роботу проводитимуть на дистанційному режимі	-	-	-	-	-
<i>Разом</i>				—	—	-

Таблиця 6.30 – Планова потреба у виробничому обладнанні та устаткуванні.

<i>№ з/п</i>	<i>Вид обладнання (устаткування, пристрою)</i>	<i>Тип (модель)</i>	<i>Виробник обладнання (устаткування, пристрою)</i>	<i>Терміни постачання</i>	<i>Вартість, тис. грн.</i>
1.	Комп'ютери 3 шт.	<i>Mac book</i>	<i>Apple</i>	<i>На складі</i>	<i>100 000грн</i>
<i>Разом:</i>		—	—	—	<i>100 000грн</i>

Таблиця 6.31 – Планова вартість нематеріальних активів.

<i>№ з/п</i>	<i>Вид активів</i>	<i>Активи, що можуть бути віднесені до даного виду</i>	<i>Вартість, тис. грн.</i>
1.	Права користування природними ресурсами	(право користування надрами, іншими ресурсами природного середовища, геологічною та іншою інформацією про природне середовище)	-
2.	Права на комерційні позначення	(права на торговельні марки (знаки для товарів і послуг), комерційні (фірмові) найменування тощо)	8 000грн
3.	Права на об'єкти промислової власності	(право на винаходи, корисні моделі, промислові зразки, сорти рослин, породи тварин, компонування інтегральних мікросхем, комерційні таємниці, у тому числі ноу-хау, захист від недобросовісної конкуренції)	10 000грн
4.	Авторське право та суміжні з ним права	(право на літературні, художні, музичні твори, комп'ютерні програми, фонограми, відеограми, передачі (програми) тощо)	8 000грн
5.	Інші активи	(право на провадження діяльності, використання економічних та інших привілеїв тощо)	-

Таблиця 6.32 – Плановий обсяг виробництва продукції стартап-проекту.

<i>Вид продукції</i>	<i>Одиниця виміру</i>	<i>Обсяги виробництва за період</i>		
		<i>1-й рік</i>	<i>2-й рік</i>	<i>3-й рік</i>
Веб портал	сайт	1	1	1
Програмний алгоритм	Кількісне навантаження	1	2	4

Таблиця 6.33 – Планова потреба у матеріальних ресурсах та комплектуючих.

№ з/п	Вид ресурсу	Одиниця виміру	Витрати на одиницю продукції в натуральних показниках	Вартість на одиницю продукції, тис. грн.	Вартість за плановим обсягом виробництва за період, тис грн.		
					1-й рік	2-й рік	3-й рік
1.	Матеріали	-	-	-	-	-	-
<i>Разом:</i>		—	—		-	-	-

Таблиця 6.34 – Планова потреба та витрати на персонал.

№ з/п	Категорія персоналу	Чисельність	Заробітна плата, тис грн. на місяць	Відрахування на соціальні заходи, тис грн. на місяць	Витрати на оплату праці за період, тис. грн.		
					1-й рік	2-й рік	3-й рік
1	Генератор ідеї	1	18 000	5000	216 000	432 000	648 000
2	Проектний менеджер	1	15 000	3000	180 000	360 000	540 000
3	Веб дизайнер	1	17 000	4000	204 000	408 000	612 000
4	ІТ- спеціаласт	1	18 000	5000	216 000	432 000	648 000
<i>Разом:</i>			68 000	17 000	813 000 грн	1 млн 626	2 млн 439

Таблиця 6.35 –Загальні початкові витрати проєкту.

<i>№ з/п</i>	<i>Стаття витрат</i>	<i>Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.</i>
1.	Проведення НДДКР	10
2.	Розробка проєктних матеріалів і ТЕО	40
3.	Робоче проєктування і прив'язка проєкту	20
4.	Витрати на придбання обладнання та устаткування та пристроїв	50
5.	Комплексне освоєння проєктних потужностей	10
6.	Витрати на придбання нематеріальних активів	20
7.	Оплата юридичних послуг	16
8.	Витрати на передвиробничі маркетингові дослідження і створення збутової мережі	15
9.	Витрати, пов'язані з діяльністю персоналу	40
<i>Разом</i>		<i>221000 грн</i>

Визначити обсяг поточних загальногосподарських витрат, необхідних для реалізації проєкту, за формою, наведеною в табл. 6.9.

Таблиця 6.36 – Планові загальногосподарські витрати.

№ з/п	Стаття витрат	Витрати за період, тис. грн.		
		1-й рік	2-й рік	3-й рік
2.	Витрати на обладнання, устаткування та пристрої	50	120	200
3.	Витрати на придбання нематеріальних активів	20	30	40
4.	Витрати на персонал (на відрядження, соціальні заходи тощо)	30	50	80
5.	Витрати на зв'язок	2	3	4
6.	Витрати на електроенергію	10	20	30
8.	Витрати на утримання обладнання та приміщень	10	15	20
10.	Витрати на просування та рекламу	20	30	40
11.	Оплата юридичних послуг	20	25	25
<i>Разом:</i>		162000 грн	293 000 грн	439 000 грн

6.10. Організаційний план

Таблиця 6.37 – Генератор ідей (ІТ- спеціаліст).

Критерій	Зміст
Основна освіта	Технічна в галузі комп'ютерних наук
Додаткова освіта, спеціалізація	Комп'ютерна архітектура, автоматизація, робота з сайтами, програмування.
Необхідний досвід роботи	Не потрібен досвід роботи
Завдання	Дослідження ринку, пошук нових ідей
Знання	Математика, мови програмування C\C#\ javascript, комп'ютерна логіка
Навички, вміння, ділові якості	Аналітичний склад розуму, вміння доносити ідею
Особистісні якості	Комунікабельність, впевненість, точність, відповідальність, вміння працювати на результат
Мотивація (що можемо запропонувати)	Реалізація власних ідей, сертифікація у галузі комп'ютерних технологій, навчання за рахунок компанії

Таблиця 6.38 – Спеціаліст (Веб дизайнер).

Критерій	Зміст
Основна освіта	Технічна в галузі комп'ютерних наук
Додаткова освіта, спеціалізація	Теплоенергетика
Необхідний досвід роботи	Не потрібен досвід роботи
Завдання	Відповідає за візуальну частину проекту
Знання	Веб дизайн , креслення, математика, графіка, 3д моделінг
Навички, вміння, ділові якості	Уважність, вміння працювати в команді, відповідальність

Особистісні якості	Самоорганізація, ретельність, технічне мислення, вміння працювати на результат
Мотивація (що можемо запропонувати)	Отримання досвіду в новій сфері, сертифікація

Таблиця 6.39 – Координатор (Проектний Менеджер).

Критерій	Зміст
Основна освіта	Менеджмент та Маркетинг
Додаткова освіта, спеціалізація	Бізнес, Менеджмент, Маркетинг
Необхідний досвід роботи	Від 1 років
Завдання	Відповідає за рекламну кампанію, розмову з інвесторами
Знання	Знання мов: англійська, українська, російська
Навички, вміння, ділові якості	Введення стратегії, менеджмент, аналіз ринку
Особистісні якості	Компромісність, вміння працювати на результат
Мотивація (що можемо запропонувати)	Додаткова освіта за рахунок компанії

Таблиця 6.40 – Виконавець (ІТ-спеціаліст).

Критерій	Зміст
Основна освіта	Технічна в галузі комп'ютерних наук
Додаткова освіта, спеціалізація	Комп'ютерна архітектура, мови програмування C\C#, автоматизація, програмування.
Необхідний досвід роботи	Не потрібен досвід роботи
Завдання	Займеться розробкою програмного коду, тестуванням та моделюванням роботи порталу
Знання	Автоматизація, програмування
Навички, вміння, ділові якості	Алгоритми, аналітичний склад розуму
Особистісні якості	Відповідальність, розуміння постановки завдань
Мотивація (що можемо запропонувати)	Реалізація власних ідей, сертифікація у галузі комп'ютерних технологій, навчання за рахунок компанії

Опишемо організаційну структуру ТОВ Time remaining у перспективі на 6-12 місяців. На даний період планується, що компанія розшириться близько до 10 чоловік і лінійна організаційна структура заміниться функціональною.

Планується, що у компанії на заданий період буде один керівник, а також 3 підрозділи. Підрозділи будуть поділені за спеціалізацією та включать в собі:

- Відділ маркетингу
- Відділ веб дизайну
- ІТ відділ

Кожним відділом буде керувати окремий спеціаліст у відповідній сфері діяльності. Це означає, що, наприклад, відділом ІТ буде керувати ІТ-спеціаліст найвищого рівня.

Керівник кожного відділу буде нести відповідальність перед виконаною роботою працівниками свого відділу перед керівником компанії. Також, у свою

чергу керівник компанії буде напряму взаємодіяти з керівниками відділів для постановки завдань, прийнятих рішень та оголошення політик та правил компанії.

Опишемо відповідальність та вид діяльності кожного підрозділу.

Відділ маркетингу: досліджу ринок та шукає додаткові напрями у роботі компанії. Розробка рекламної компанії, слідкуванням за іміджем компанії.

Відділ веб дизайну: Розробка інтерфейсу та зовнішнього вигляду порталу, додавання користувацьких тем та інші візуальні складові порталу.

ІТ відділ: займається розробкою програмного продукту. Відділ відповідає за розробку, тестування, продукту, моделювання. Знаходять нові підходи до вирішень задач.

Переваги обраної структури полягають у: чіткості і простоті взаємодії; надійному контролі та дисципліні всередині компанії; економічності за умов невеликих розмірів організації.

Основним видом матеріальної мотивації працівників у компанії буде підвищення заробітної плати кожні три місяці, а також премії за участь у додаткових проєктах компанії та пропонування нових ідей та рішень.

До нематеріальної видів мотивації будуть відноситись організація тим-білдінгів для компанії та окремих відділів, а також навчальні центри з можливістю саморозвитку та розвитку в технологіях.

ВИСНОВКИ

Досліджено принципи та алгоритми фільтрації, які застосовуються в промисловості. Виконано імітаційне моделювання та реалізацію ІВС теплоенергетичних режимних параметрів.

Основні результати. 1) зроблено огляд ІВС теплоенергетичних режимних параметрів; 2) зроблено огляд задач і способів фільтрації сигналів і даних в промисловості; 3) виконано функціональне імітаційне моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів в СКМ Matlab Simulink; 4) виконано реалізацію функцій первинної обробки сигналів в софтПЛК CoDeSys; 5) виконано структурне імітаційне моделювання ІВС теплоенергетичних режимних параметрів в програмно-технічному SIL-симуляторі на платформі Simulink – CoDeSys – WebStudio.

Досліджено вплив перешкод різної частоти на давач і регулятор САР, принципи роботи зовнішніх і внутрішніх фільтрів, зроблені висновки для кожного окремого випадку впливу перешкод.

Зроблено висновки про неефективність використання ФНЧ в системі регулювання, на відміну від його використання для фільтрації сигналів, що передаються до НМІ. Зовнішній ФВЧ є ефективним в пригніченні зовнішніх низькочастотних перешкод, але його апаратна реалізація є практично неможливою.

Практична цінність дисертації полягає в тому, що розроблений полігон імітаційного SIL-моделювання може бути використаний як в навчальному процесі кафедри АЕП (дисципліна «Інформаційно-вимірювальні системи»), так і в якості програмно-технічного симулятора при проектуванні, модернізації і тиражуванні промислової АСУТП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Filter (signal processing) [https://en.wikipedia.org/wiki/Filter_\(signal_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Filter_(signal_processing)) (дата звернення: 08.09.2022).
2. Батюк С.Г., Лядишев Д.К. Імітаційне моделювання теплоенергетичних автоматизованих технологічних комплексів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2022. Том 33 (72). № 4. С. 39-47.
3. Батюк С.Г., Лядишев Д.К. Моделювання фільтрації в теплоенергетичних системах автоматичного регулювання. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2022. Том 33 (72). № 4. С. 48-55.
4. Removing unwanted data signal components or features By Joseph. S. Alford, PhD, Brian M. Hrankowsky, and R. Russell Rhinehart <https://www.isa.org/intech-home/2018/july-august/features/data-filtering-in-process-automation-systems/> (дата звернення: 08.10.2022).
5. Gonzales R. C. Digital Image Processing Using MATLAB / R. C. Gonzales, R. E. Woods, S. Eddins. – Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2004 – 492 p.
6. Квуетнуу R. Basics of Modelling and Computational Methods / R. Квуетнуу. – Вінниця: ВДТУ, 2007. – 147 с.
7. Глинченко А. С. Цифровая обработка сигналов / А. С. Глинченко. – Красноярск: Изд-во КГТУ, 2001. – 199с.
8. Батюк С.Г. Олійник С.Ю. Научно-технический журнал «Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы». – Херсон, ХНТУ. – 2009. – № 1 (23). – С. 147-151.
9. Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О. Ю., Шушура О.М. Комп'ютерне моделювання систем та процесів Методи обчислень. (частина2) https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp'yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t1/lit..html (дата звернення: 08.11.2022).
10. Linear filter https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_filter (дата звернення: 08.11.2022).
11. Band-stop filter https://en.wikipedia.org/wiki/Band-stop_filter (дата звернення: 08.11.2022).
12. Low-pass filter https://en.wikipedia.org/wiki/Low-pass_filter (дата звернення: 08.11.2022).
13. All-pass filter https://en.wikipedia.org/wiki/All-pass_filter (дата звернення: 08.11.2022).
14. Butterworth filter https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter (дата звернення: 08.11.2022).
15. Kalman filter https://en.wikipedia.org/wiki/Kalman_filter (дата звернення: 08.11.2022).

ДОДАТОК

Документація роботи блоків в CODESYS.

TP (FB)

FUNCTION_BLOCK TP

Pulse timer.

Q becomes TRUE for PT ms, immediately EN had a rising edge.

Attributes:

hide_all_locals

InOut:

Scope	Name	Type	Comment
Input	IN	BOOL	rising edge at IN starts the pulse
	PT	TIME	The length of the High-Signal
Output	Q	BOOL	pulse output
	ET	TIME	elapsed time since pulse start

CTU (FB)

FUNCTION_BLOCK CTU

Counter Up:

- CV is incremented by 1 if CU has a rising edge.
- Q is TRUE, if CV is reached PV.

Attributes:

hide_all_locals

InOut:

Scope	Name	Type	Comment
Input	CU	BOOL	Count Up
	RESET	BOOL	Reset Counter to 0
	PV	WORD	Counter Limit
Output	Q	BOOL	Counter reached the Limit
	CV	WORD	Current Counter Value

FUNCTION_BLOCK INTEGRAL

function block to approximate the integral of IN over the time

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
IN	REAL				input variable
TM	DWORD				time since last call in msec
RESET	BOOL				reset: OUT is set to zero and OVERFLOW to false
OUT	REAL				value of the integral
OVERFLOW	BOOL			FALSE	overflow

FUNCTION_BLOCK DERIVATIVE

function block to approximate the derivative of a value to calculate this, always four values are used in order to be as exact as possible

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
IN	REAL				input variable
TM	DWORD				time since last call in msec
RESET	BOOL				reset: set OUT to zero
OUT	REAL				derivative

FUNCTION_BLOCK GEN

function block for generating some periodic functions

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
MODE	GEN_MODE				define type : TRIANGLE triangular from -AMPL. to +AMPL. TRIANGLE_POS triangular from 0 to AMPL. SAWTOOTH_RISE sawtooth increasing from -AMPL. to +AMPL. SAWTOOTH_FALL sawtooth decreasing from AMPL to -AMPL RECTANGLE rectangular switching from -AMPL. to +AMPL SINE sine COSINE cosine
BASE	BOOL				FALSE: period referring to call; TRUE: period referring to time
PERIOD	TIME			TIME#1s0ms	period time, only relevant if BASE=TRUE
CYCLES	INT			1000	number of calls per period, only relevant if BASE=FALSE
AMPLITUDE	INT				amplitude
RESET	BOOL				reset
OUT	INT				generated function variable

FUNCTION_BLOCK HYSTERESIS

function block, which sets OUT to TRUE, if input IN is less than LOW, and which sets OUT to FALSE, if input IN is bigger than HIGH

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
IN	INT				input value
HIGH	INT				upper threshold value
LOW	INT				lower threshold value
OUT	BOOL				hysteresis value

FUNCTION_BLOCK VARIANCE

function block to calculate the mathematical variance of a variable

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
IN	REAL				input variable
RESET	BOOL				reset
OUT	REAL				variance

FUNCTION_BLOCK STATISTICS_REAL

function block for statistics: calculating minimum, maximum and average of an input value

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
IN	REAL				input value
RESET	BOOL				reset: average set to 0, min and max to minimum and maximum possible REALs
MN	REAL			3.402823466E+38	minimum value
MX	REAL			-3.402823466E+38	maximum value
AVG	REAL				average value

FUNCTION_BLOCK CHARCURVE

function block to map an input signal on a characteristic curve

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
IN	INT				input signal
N	BYTE				number of points defining the characteristic curve : 2<=N<=11
P	ARRAY [0..10] OF POINT				ARRAY of N points to describe the characteristic curve
OUT	INT				output variable
ERR	BYTE				error : 0 : no error 1 : error in ARRAY: wrong sequence (completely tested, only if IN is equal to largest X-value of P) 2 : IN outside of limits of P 4 : number of POINTS (N) invalid

FUNCTION_BLOCK LIN_TRAFO

linear transformation

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
IN	REAL				input value
IN_MIN	REAL				minimum input value
IN_MAX	REAL				maximum input value
OUT_MIN	REAL				corresponding minimum output value
OUT_MAX	REAL				corresponding maximum output value
OUT	REAL				output value
ERROR	BOOL				error: IN_MIN = IN_MAX or IN out of interval

FUNCTION_BLOCK RAMP_REAL

function block to limit the slope of a value to a certain value

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
IN	REAL				input variable
ASCEND	REAL				maximum positive slope
DESCEND	REAL				maximum negative slope (non-negative!!)
TIMEBASE	TIME				reference for ASCEND/DESCEND : t#0s : ASCEND/DESCEND defined per call else : ASCEND/DESCEND defined per specified time
RESET	BOOL				reset
OUT	REAL				value of function with limited slope

FUNCTION_BLOCK LIMITALARM

function block monitoring, whether the input value IN lies between LOW and HIGH

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
IN	INT				INPUT value
HIGH	INT				upper threshold value
LOW	INT				lower threshold value
O	BOOL				TRUE, if IN > HIGH, else FALSE
U	BOOL				TRUE, if IN < LOW, else FALSE
IL	BOOL				neither O nor U

FUNCTION_BLOCK PID

PD controller

Name	Type	Inherited from	Address	Initial	Comment
ACTUAL	REAL				actual value, process variable
SET_POINT	REAL				desired value, set point
KP	REAL				proportionality const. (P)
TN	REAL				reset time (I) in sec
TV	REAL				rate time, derivative time (D) in sec
Y_MANUAL	REAL				Y is set to this value as long as MANUAL=TRUE
Y_OFFSET	REAL				offset for manipulated variable
Y_MIN	REAL				minimum value for manipulated variable
Y_MAX	REAL				maximum value for manipulated variable
MANUAL	BOOL				TRUE: manual: Y is not influenced by controller, FALSE: controller determines Y
RESET	BOOL				reset: set Y output to Y_OFFSET and reset integral part
Y	REAL				manipulated variable, set value
LIMITS_ACTIVE	BOOL			FALSE	true set value would exceed limits Y_MIN, Y_MAX
OVERFLOW	BOOL			FALSE	overflow in integral part