

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю і діагностики»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Вихрострумний прилад для контролю осьового переміщення валів турбін»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК-61 Петруша Артем Віталійович _____

Керівник:

д.т.н., професор Куц Юрій Васильович _____

Консультант з графічного розділу:

ст.вик., к.т.н. Богдан Галина Анатоліївна _____

Консультант з розробки ел. схеми:

д.т.н., професор Куц Юрій Васильович _____

Рецензент:

д.т.н., професор Єременко Володимир Станіславович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ПК61.15.000 ПЗ	Пояснювальна записка	57	
3	A1	ДП ПК61.15.000 СК	Складальний кресленик. Параметричний вихрострумний перетворювач	1	
4	A1	ДП ПК61.15.000 ЕП	Схема електрична принципова	1	
5	A1	ДП ПК61.15.000 ЕС	Схема структурна	1	

				ДП ПК61.15.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Петруша А.В.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Куц Ю.В.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСНК Гр. ПК-61	
Н/контр.	Лашко О.В.					
Зав.каф.	Протасов А.Г.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Вихрострумний прилад для контролю
осьового переміщення валів турбін»**

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Петруша Артем Віталійович

1. Тема проекту «Вихрострумний прилад для контролю осьового переміщення валів турбін», керівник проекту Куц Юрій Васильович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. № 1384-с

2. Термін подання студентом проекту 9 травня 2020 року

3. Вихідні дані до проекту: тип перетворювача – параметричний накладний ВСП;

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Розробка апаратної частини приладу

3. Розробка програмної частини приладу

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 3 кресленника

1 – Схема електрична принципова

2 – Схема електрична структурна

3 – Накладний вихрострумний перетворювач

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічний	ст.вик., к.т.н. Богдан Г.А.		
Електричний	д.т.н., професор Куц Ю.В.		

7. Дата видачі завдання 15 лютого 2020 року _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Формулювання завдання проекту	10.02.2020	
2	Обговорення змісту ПЗ	18.02.2020	
3	Розрахунок компонентів	20.03.2020	
4	Оформлення пояснювальної записки	24.04.2020	
5	Розробка креслеників	3.06.2020	

Студент

Артем ПЕТРУША

Керівник

Юрій КУЦ

Анотація

У дипломному проекті був спроектований вихрострумний прилад для контролю осьового переміщення валів турбін. У вступі обґрунтовано актуальність розробки.

У першому розділі проведено аналітичний огляд, в якому розглянуто: турбіна як об'єкт вихрострумного контролю, матеріали з яких виробляють корпус турбін, котушки індуктивності, нормативно технічна база вихрострумного контролю, обґрунтовано необхідність збереження даних електричного сигналу до віддаленого сховища.

У другому розділі проведено розрахунок вихрострумного перетворювача. Обрані конструктивні параметри перетворювача, розраховано вихідні сигнали, граничне значення струму перегріву котушки, глибина проникнення вихрових струмів тощо, обрано апаратну частинку приладу, ацп, підсилювач, мікроконтролер, побудовано структурну схему одного каналу приладу.

У третьому розділі було розроблено програмну частину приладу, описано принцип її роботи. Спроектовано сутності які буду знаходитися у віддаленому сховищі даних, обґрунтовано використання хмарних рішень для обробки, аналізу, збереження та візуалізації даних.

Summary

In the diploma project the eddy current device for control of axial movement of shafts of turbines was designed. The introduction substantiates the relevance of the development.

The first section provides an analytical review, which considers: the turbine as an object of eddy current control, the materials from which the turbine housing, inductors, regulatory and technical base of eddy current control, the need to save electrical signal data to remote storage.

In the second section the calculation of the eddy current converter is carried out. The design parameters of the converter are selected, the output signals are calculated, the limiting value of the coil overheating current, the depth of eddy current penetration, etc., the hardware part of the device, ADC, amplifier, microcontroller is selected, the block diagram of one channel of the device is built.

In the third section the software part of the device was developed, the principle of its work is described. The entities that will be in the remote data warehouse are designed, the use of cloud solutions for data processing, analysis, storage and visualization is substantiated.

Зміст

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТУРБИНИ ЯК ОБ’ЄКТА ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ.....	8
1.1. Основні елементи турбіни.....	8
1.2. Вихрострумний вид контролю та його нормативно методичне забезпечення.....	10
1.3. Постановка задачі на розробку вихрострумного засобу.....	12
Висновки до I розділу.....	13
РОЗДІЛ 2. Розроблення складових апаратної частини приладу.....	15
2.1. Розрахунок системи «вихрострумний перетворювач – об’єкт контролю».....	15
2.2. Вибір та обґрунтування функціональної схеми вихрострумного приладу для контролю осьового переміщення валів турбін.....	28
2.3. Вибір підсилювача та АЦП.....	29
2.4. Вибір виду системи передачі цифрових даних.....	34
Висновки до II розділу.....	37
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	38
3.1. Огляд архітектури компонентів програмного забезпечення.....	38
3.2. Опис використаних компонентів хмарного провайдера Microsoft Azure.....	41
3.3. Розробка сутностей для бази даних.....	44

					ПК 61.150000.000ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Петруша А.В.				Вихрострумний засіб для контролю осьового переміщення валів турбін Пояснювальна записка		Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Куц Ю.В..						57		
Н. Контр.					ПБФ, ПК-61				
Затверд.	Куц Ю.В..								

3.4. Візуалізація даних сховища. Побудова автоматизованих звітів	49
Висновки до III розділу	53
ВИСНОВОК	54
Список використаних джерел.....	55

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів:

НК - неруйнівний контроль;

ВСК - вихрострумний контроль;

ВСП - вихрострумний перетворювач;

ОК - об'єкт контролю;

АЦП - аналого-цифровий перетворювач;

ПК - персональний комп'ютер;

УЗК - ультразвуковий контроль;

ЦОС - цифрова обробка сигналів.

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Об'єкти критичної інфраструктури потребують постійного, неперервного контролю. Прикладами таких об'єктів є мости, турбіни, газопроводи, енергогенеруючі агрегати, тощо. Руйнування таких об'єктів може мати фатальний характер, тому важливо проводити моніторинг стану об'єктів, для того щоб вчасно виявляти дефекти, їх розміри та оцінювати ступінь загроз.

Для вирішення такої задачі зазвичай використовують багатоканальні прилади вихрострумового неруйнівного контролю, які спроможні отримувати значні за обсягом масиви даних. В таких приладах доцільно та виправдано зберігати дані у віддалених сховищах. Дані з таких сховищ можна завантажувати з будь-якої точки планети та аналізувати поточний стан об'єкта та його передісторію. Така організація процесу контролю дає змогу відстежувати стан об'єкту в реальному часі та приймати оперативні управлінські рішення щодо можливості його подальшої безаварійної експлуатації [6].

В таких сховищах доцільно зберігати основні фізичні характеристики об'єктів контролю та параметри інформаційних сигналів – амплітуду, частоту, початкову фазу, тощо, та будь-які інші числові характеристики, які певним чином пов'язані з об'єктом контролю [6].

Метою даного дипломного проекту є розроблення засобу, для контролю осьового переміщення валів турбін.

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТУРБІНИ ЯК ОБ'ЄКТА ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ.

1.1. Основні елементи турбіни

Турбіна складається з ротора з лопатками і корпусу з патрубками. Патрубки підводять і відводять потік робочого тіла. Турбіни, в залежності від застосовуваного робочого тіла, трапляються гідравлічні, парові і газові. Залежно від середнього спрямованості струменя крізь турбіну вони поділяються на осьові, в яких потік паралельний осі турбіни, і кругові, в яких потік орієнтований від периферії до центру. Пар під тиском надходить до 1 або ж кільком нерухомим соплам, в яких трапляється його розширення і звідки він йде по стопах з величезний швидкістю. З сопел потік виходить під кутом до площини обертання трудящих лопаток. У деяких системах сопла утворені поблизу нерухомих лопаток (соплової апарат). Лопатки робочого колеса викривлені в спрямованості струменя і знаходяться радіально. У інтенсивної турбіні проточний канал робочого колеса містить систематичний поперечний переріз, тобто швидкість в умовному переміщенні в робочому колесі по беззастережної величиною не змінюється. Натиск подружжя перед трудящим колесом і за ним ідентично. У реактивної турбіни проточні канали робочого колеса мають змінне розріз. Проточні канали реактивної турбіни розраховані так, власне що швидкість струменя в їх зростає, а тиск відповідно до цього падає.

У турбіні трапляється розширення робочого тіла, в наслідок цього для прпуску великого витрати останні ступеня (низького тиску) зобов'язані володіти вящий діаметр. Нарощування діаметра обмежується допустимими найвищими напруженнями, зумовленими відцентровими навантаженнями при збільшеною температурі. У турбінах з розгалуженням струменя пар протікає через всілякі турбіни або ж всілякі ступеня турбіни.

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення найвищого ККД турбіна зобов'язана крутитися з великою швидкістю, втім кількість оборотів обмежується міцністю матеріалів турбіни і обладнанням, яке розташовується на одному валу з нею. Електрогенератори на теплових електростанціях планують на 1800 або ж 3600 об / хв і як правило ставлять на одному валу з турбіною. На одному валу з турбіною можуть бути поставлені відцентрові нагнітачі і насоси, вентилятори і центрифуги.

Низькошвидкісне оснащення з'єднується з швидкісний турбіною крізь понижуючий редуктор, як, наприклад, в суднових двигунах, де гребний гвинт зобов'язаний крутитися з частотою від 60 до 400 об / хв.

Тому що при роботі мотора і згодом його зупинки турбіна підпадає під вплив досить високих температур, колесо і корпус турбіни виробляються з матеріалів, що мають високу жароміцних. У загальному випадку крильчатки турбін проробляють з сплавів на базі нікелю, таких як Inconel 713 і GMR 235. Головні складові даних сплавів - нікель і хром. У той час як GMR 235 трудиться в умовах температури відпрацьованих газів на вході в турбіну до 850 ° С, Inconel 713 (73% нікелю, 13% хрому) використовується при температурах вище 1000 ° С Вибір матеріалу для корпус турбіни ще знаходиться в залежності від температури . Зараз сіруватий чавун GGG40 зі сферичним графом (до 680 ° С) використовується рідше. Для більшості дизельних агрегатів застосовується кремниево-мобілденовій чавун GGG SiMo 5.1 (до 760 ° С) або ж GGV SiMo 4.5 0.6 (до 850 ° С). Рідше для температур ОГ до 850 ° С застосовується високолегований нікель-хромовий чавун GGG NiCrSi 20 лютого + 2 (Niresist D2).

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Вихрострумний вид контролю та його нормативно методичне забезпечення

Вихрострумний контроль використовує принцип електромагнітної індукції для виявлення дефектів у струмопровідних матеріалах. Котушка збудження, що несе струм, розміщується в безпосередній близькості від компонента, що перевіряється. Котушка створює мінливе магнітне поле, використовуючи змінний струм, який взаємодіє з компонентом, що генерує вихрові струми.

Коливання фази та величини цих струмів контролюються або за допомогою другої котушки, або шляхом вимірювання змін струму, що протікає в котушці збудження. Наявність будь-якої вади призведе до зміни поля вихрового струму та відповідної зміни фази та амплітуди вимірюваного сигналу. У разі неруйнівного контролю (НК) вони відображаються на детекторі вихрових струмів як виразна зміна сигналу.

До основних переваг вихрострумової перевірки належать:

- Забезпечує більшу швидкість сканування, ніж звичайне ультразвукове тестування (УК)
- На відміну від УК, не вимагає введення рідини
- Поверхні потребують мінімальної підготовки
- Випробування на вихровий струм можна використовувати через кілька міліметрів покриття
- Може виявити дуже невеликі тріщини на поверхні матеріалу чи біля нього
- Можливість дослідження об'єктів зі складними геометричними розмірами
- Прилади для тестування є портативними
- Зонд не обов'язково повинен контактувати з ОК

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На таблиці 1.1 наведено класифікацію вихрострумових перетворювачів.

Тип перетворення параметрів	Тип взаємодії з ОК	Спосіб отримання інформативних параметрів
<ul style="list-style-type: none"> • Параметричні • трансформаторні 	<ul style="list-style-type: none"> • прохідні • накладні • комбіновані 	<ul style="list-style-type: none"> • абсолютні • диференціальні

Таблиця 1.1 Класифікація вихрострумових перетворювачів

1.3. Постановка задачі на розробку вихрострумowego засобу

Тип всп, обрано з конструктивних міркувань, а саме накладний параметричний ВСП, так як середній діаметр ВСП повинен бути щонайменш в 10 разів менший за діаметр об'єкт контролю, тобто розміри всп відносно невеликі. Також необхідно проводити контролю вала турбіни одночасно в декількох точках, тобто потрібно декілька перетворювачів через це недоцільно використовувати прохідні перетворювачі в цьому об'єкті контролю через його геометричну форму та розміри.

Пошкодження підшипників приводить до радіального биття, отже під час обертання турбіни буде мати місце модуляція зазору і модуляція амплітуди сигналу, що й контролює система. На виході ВСП маємо синусоїдальний сигнал. На рисунку 1.1 зображену форму сигналу.

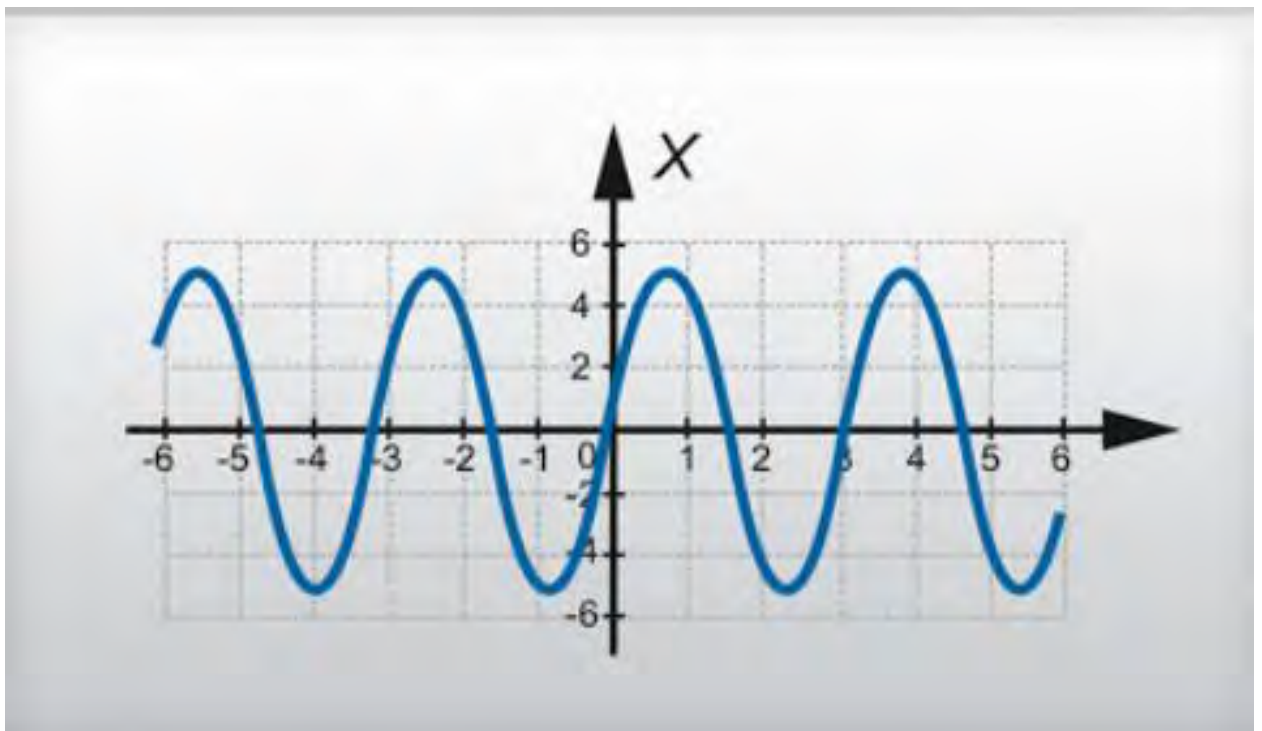


Рисунок 1.1. Форма сигналу збудження

Спосіб устанвки, центруваня і напрмки датчика впливає на ефективність контролю. Зміна зазор датчика впливає на чутливість контролю.

Для контролю чутливості в реальному часі доцільно використовувати сигнал, що залежить від зміни зазору датчика. Під час експлуатації виникають пошкодження поверхні ОК, саме через може змінюватись величина зазору.

На результат контролю впливають різні технічні характеристики ОК, такі як матеріал, швидкість переміщення, температура середовища.

Вал турбіни можна вважати об'єктом критичної інфраструктури, так як руйнування такого об'єкту може мати фатальні наслідки.

Проводити контроль в багатьох точках ОК, доцільно через те що, потрібно вимірювати різницю зазорів при цьому покриваючи максимальну площу поверхні ОК, впродовж тривалого часу експлуатації, щоб мати повні дані про стан об'єкту. Для збереження такого великого обсягу даних не доцільно використовувати внутрішні сховища приладу, через обсяг та неможливість бачити повну картину стану. Рішенням є використання віддаленого, швидкісного, безпечного сховища даних, доступ до якого можна отримати з будь-якої точки планети, за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Побудова сховища даних та засобів аналітик детально описана у розділі 3.

Висновки до I розділу.

В данному розділі проаналізували актуальність вихрострумового контролю для валів турбін. Було проведено огляд елементів турбін, умови їх експлуатації, їх характеристики, розгляд турбіни як об'єкта критичної інфраструктури. Проведено огляд вихрострумового неруйнівного контролю,

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

його нормативно технічне забезпечення, актуальність використання накладних ВСП. Оглянуто форму сигналу перетворювача.

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ СКЛАДОВИХ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ ПРИЛАДУ

2.1. Розрахунок системи «вихрострумовий перетворювач – об'єкт контролю»

На рисунку 2.1 наведено схему системи ВСП-ОК, яка складається з 2 котушок.

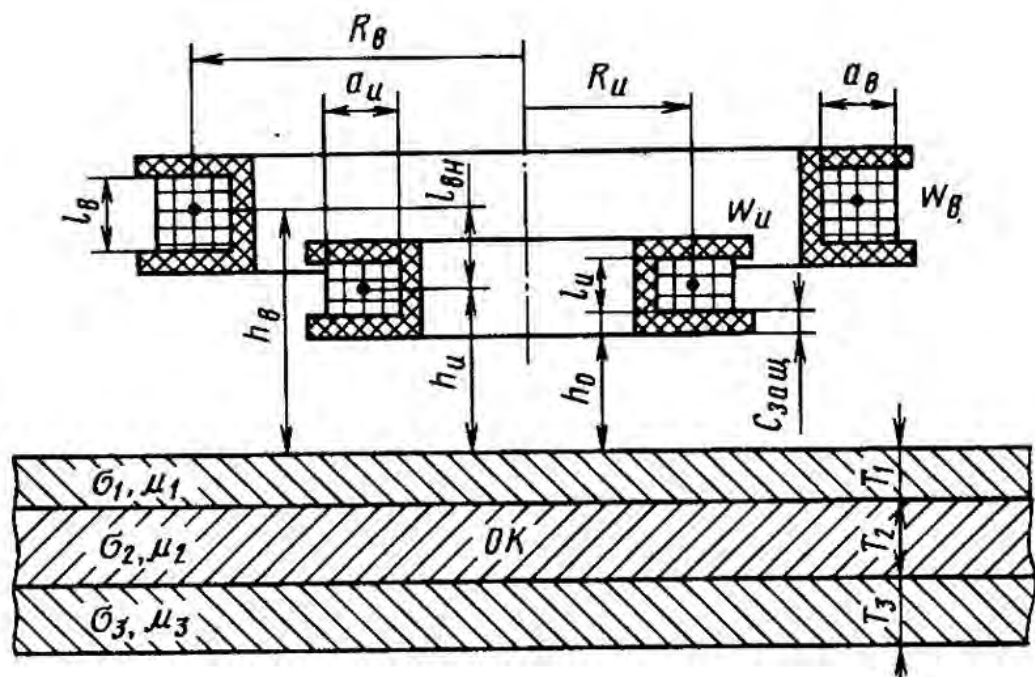


Рисунок 2.1. Система ВСП-ОК

Вибір діаметру обмотки збудження:

$$D_{cp} = 20 * 10^{-3} = 20 \text{ мм}$$

$$D_{cp1} = 16.5 * 10^{-3} = 16.5 \text{ мм}$$

$$D_{cp2} = 13 * 10^{-3} = 13 \text{ мм}$$

Вибір узагальненого параметру β з-умови досягнення максимальної чутливості:

$$\beta = 10$$

Вибір аксіальної довжини:

$$L = 0.5 * 10^{-3} = 0.5 \text{ мм}$$

Вибір діаметру проводу обмотки збудження та вимірювальної котушки:

$$d_1 = 0.1 * 10^{-3} = 0.1 \text{ мм} - \text{діаметр проводу обмотки}$$

$$d_{1\text{із}} = 0.12 * 10^{-3} = 0.12 \text{ мм} - \text{діаметр}$$

$$d_2 = 0.05 * 10^{-3} = 0.05 \text{ мм}$$

$$d_{2\text{із}} = 0.065 * 10^{-3} = 0.065 \text{ мм}$$

Де, d_1 – діаметр проводу обмотки,

$d_{1\text{із}}$ – діаметр проводу обмотки з ізоляцією

d_2 – діаметр вимірювальної котушки

$d_{2\text{із}}$ – діаметр вимірювальної котушки з ізоляцією

Розрахунок кількості витків вимірювальної обмотки:

а) Визначення площі вікна намотки проводу S_0 :

$$S_0 = 1.75 * 10^{-6} = 1.75 \text{ мм}^2$$

б) Визначення кількості шарів обмотки котушки збудження n :

$$n = L/d_{1\text{із}}$$

$$n = 4$$

де $d_{1\text{із}}$ – діаметр обмотки з ізоляцією

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

с) Визначення кількості витків в одному шарі обмотки:

$$W_1^l = \frac{S_0}{L} * d_{1із}$$

$$W_1^l = 29$$

$$W_1 = n * W_1^l = 4 * 29 = 116$$

За аналогічною методикою визначаємо кількість витків вимірювальної котушки:

$$W_2 = 200$$

Розрахунок струму збудження з умови перегріву котушки:

$$I_{еф} = 9 * \sqrt{\lambda * \theta * \frac{S_{ох}}{r}}$$

де:

$$\lambda = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{град})$$

$$\theta = 8 \text{ град}$$

$$S_{ох} = 2 * S_b + S_{vn} + S_z = 2 * \left(\pi * \frac{D_{cr}^2}{4} - \pi * \frac{D_{cr2}^2}{4} \right) + \pi * D_{cr} * L + \pi * D_{cr2} * L = 5.74 * 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$r = 13.3 \text{ Ом}$$

$$I_{еф} = 51.4 * 10^{-3} \text{ А}$$

Розрахунок частоти струму збудження:

$$f = \frac{4 * \beta^2 * 10^7}{D_{cr1}^2 * 2 * \pi^2 * 4 * \gamma} = 1.05 * 10^4 \text{ Гц}$$

$$\text{де, } \gamma = 12 * 10^6 \text{ См}/\text{м}$$

Розрахунок глибини проникнення вихрових струмів:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\omega * j * \mu_0}} = 1 * 10^{-3} \text{ м}$$

Розрахунок напруги холостого ходу:

$$U_{ор} = 1.35 * \omega * \mu_0 * W_1 * W_2 * (m - 0.3) * I * \sqrt{D_{cr1} * D_{cr2}} = 1.5 \text{ В}$$

$$\text{Де } m = \frac{D_{cr1}}{D_{cr2}} = 1.269$$

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок відносних внесених напруг (по годографам):

З умови $\beta = 10$, а об'єкт контролю представляється у вигляді електропровідного напівпростору (оскільки глибина проникнення вихрових струмів значно менше за діаметр ОК) з годографу (Рис 1) визначаємо складові відносної внесеної напруги.



Рисунок 2.1 Годограф для розрахунку внесених напруг

Маємо: $\dot{U}_{вн}^* = (Re\dot{U}_{вн}^* + jIm\dot{U}_{вн}^*) = 0.17 - j0.78$

Визначення модуля абсолютної внесеної напруги:

$$U_{вн} = U_{op} * (Re\dot{U}_{вн}^* + jIm\dot{U}_{вн}^*) * e^{-3\xi} = 1.05 \text{ В}$$

Де коефіцієнт ξ визначається за формулою:

$$\xi = \frac{h_1+h_2}{De} = 9.56 * 10^{-2}.$$

В останій формулі $De = D_{cr1} + 1.5h_1$ - еквівалентний діаметр контуру вихрових струмів, $h_1 = h_2 = h = 0.35$ мм – висота розташування обмоток над ОК.

Визначення вихідного сигналу ВСП:

$$U_{вх} = E_0 + U_{вн} = 5.17 * 10^{-1} \text{ В}$$

$$E_0 = jU_{op} * e^{-\frac{3c}{D_{cr}}} = 1.29 * 10^{-1} \text{ В},$$

$$c = h_1 - h_2 = 0.$$

Лістинг програми для розрахунків системи ВСП-ОК в середовищі Matlab:

```
%input data

Dcr = 20*10^-3; %d ekvivalentnoe

Dcr1 = 16.5*10^-3;

Dcr2 = 13*10^-3;

beta = 10; %Beta

gamma = 12*10^6; %gamma

muS = 1; %mu = 1

mu0 = 4*pi*10^-7; %mu0

L = 0.5*10^-3; %axial length

d1 = 0.1*10^-3; %diameter

dliz = 0.12*10^-3;

d2 = 0.05*10^-3;

d2iz = 0.065*10^-3;

S0 = 1.75*10^-6; %square of segment
```

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

Im = 40.5*10^-3; %amperage

W1 = 116; %coil of first turns

W2 = 200; %coil of second turns

m = Dcr1/Dcr2;

display(sprintf('m = %d', m));

h1 = 0.85*10^-3;

h2 = h1;

godograph = 0.17 - j*0.78;

lambda = 10;

teta = 8;

%end of input data

%Calculation part

n = round(L/d1iz);

display(sprintf('n = %d ', n));

Soh = 2*(pi*Dcr^2 / 4) - (pi*Dcr2^2 / 4) + (pi*Dcr*L) + (pi * Dcr2 * L);

display(sprintf('Soh = %d', Soh));

W11 = round(S0/(L*d1iz));

display(sprintf('W11 = %d', W11));

display(sprintf('W1 = %d', W11*n));

r = (4*0.0175*10^-6*16.5*10^-3)*W1 / ((d1)^2);

display(sprintf('r = %d', r));

imP = 0.9 * sqrt((lambda*teta*Soh) / r);

```

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


```

display(sprintf('im = %d', imP));

frequince = (4*beta^2*10^7)/(Dcr^2*2*pi^2*4*gamma);

display(sprintf('Frequince = %d', frequince));

omega = 2*pi*frequince;

display(sprintf('omega = %d', omega));

delta = 1/(sqrt(omega*gamma*mu0));

display(sprintf('delta = %d', delta));

Uop = 1.35*omega*mu0*W1*W2*(m - 0.3)*Im*sqrt(Dcr1*Dcr2);

display(sprintf('Uop = %d', Uop));

eps = (h1+h2)/(Dcr1+1.5*h1);

display(sprintf('h1+h2 = %d', h1+h2));

display(sprintf('Dcr1+1.5h1 = %d', Dcr1+1.5*h1));

display(sprintf('eps = %d', eps));

display(sprintf('e^-3eps = %d', exp(-3*eps)));

Uvn = Uop*(real(godograph) + j*imag(godograph))*exp(-3*eps);

display(sprintf('Uvn = %d', real(Uvn)));

display(sprintf('Uvn = %d', imag(Uvn)));

display(sprintf('Uvn = %d', abs(Uvn)));

E0 = j*Uop*exp(-3*(h1-h2)/d1);

display(sprintf('E0 = %d', real(E0)));

display(sprintf('E0 = %d', imag(E0)));

display(sprintf('E0 = %d', abs(E0)));

```

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{vih} = E0 + U_{vn};$$

display(sprintf('Uvih = %d', real(Uvih)));

display(sprintf('Uvih = %d', imag(Uvih)));

display(sprintf('Uvih = %d', abs(Uvih)));

**Результати обчислень для різних значень висоти розташування
обмоток ВСП над ОК**

$$h = 0.35 \text{ мм}$$

$$m = 1.269231e+00$$

$$n = 4$$

$$S_{oh} = 5.474225e-04 \text{ мм}^2$$

$$W1'' = 29$$

$$W1 = 116$$

$$r = 1.339800e+01 \text{ Ом}$$

$$i_m = 5.145515e-02 \text{ А}$$

$$F_{requence} = 1.055429e+04 \text{ Гц}$$

$$\omega = 6.631456e+04 \text{ рад/с}$$

$$\delta = 1.000000e-03$$

$$U_{op} = 1.500501e+00 \text{ В}$$

$$h1+h2 = 7.000000e-04 \text{ мм}$$

$$D_{cr1+1.5h1} = 1.702500e-02 \text{ мм}$$

$$\epsilon = 4.111601e-02$$

$$e^{-3\epsilon} = 8.839560e-01$$

$$U_{vn} = 2.254841e-01 \text{ В}$$

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						23
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{vn} = -1.034574e+00 \text{ B}$$

$$U_{vn} = 1.058861e+00 \text{ B}$$

$$E_0 = 0 \text{ B}$$

$$E_0 = 1.500501e+00 \text{ B}$$

$$E_0 = 1.500501e+00 \text{ B}$$

$$U_{vih} = 2.254841e-01 \text{ B}$$

$$U_{vih} = 4.659272e-01 \text{ B}$$

$$U_{vih} = 5.176207e-01 \text{ B}$$

$$\mathbf{h = 0.55 \text{ мм}}$$

$$m = 1.269231e+00$$

$$n = 4$$

$$S_{oh} = 5.474225e-04 \text{ мм}^2$$

$$W1'' = 29$$

$$W1 = 116$$

$$r = 1.339800e+01 \text{ Ом}$$

$$i_m = 5.145515e-02 \text{ A}$$

$$\text{Frequice} = 1.055429e+04 \text{ Гц}$$

$$\omega = 6.631456e+04 \text{ рад/с}$$

$$\delta = 1.000000e-03$$

$$U_{op} = 1.500501e+00 \text{ B}$$

$$h_1+h_2 = 1.100000e-03 \text{ мм}$$

$$D_{cr1+1.5h_1} = 1.732500e-02 \text{ мм}$$

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{eps} = 6.349206\text{e-}02$$

$$e^{-3\text{eps}} = 8.265654\text{e-}01$$

$$U_{vn} = 2.108446\text{e-}01 \text{ B}$$

$$U_{vn} = -9.674048\text{e-}01 \text{ B}$$

$$U_{vn} = 9.901148\text{e-}01 \text{ B}$$

$$E_0 = 0 \text{ B}$$

$$E_0 = 1.500501\text{e+}00 \text{ B}$$

$$E_0 = 1.500501\text{e+}00 \text{ B}$$

$$U_{vih} = 2.108446\text{e-}01 \text{ B}$$

$$U_{vih} = 5.330965\text{e-}01 \text{ B}$$

$$U_{vih} = 5.732777\text{e-}01 \text{ B}$$

$$\mathbf{h = 0.85 \text{ мм}}$$

$$m = 1.269231\text{e+}00$$

$$n = 4$$

$$S_{oh} = 5.474225\text{e-}04 \text{ мм}^2$$

$$W_1'' = 29$$

$$W_1 = 116$$

$$r = 1.339800\text{e+}01 \text{ Ом}$$

$$i_m = 5.145515\text{e-}02 \text{ A}$$

$$\text{Frequice} = 1.055429\text{e+}04 \text{ Гц}$$

$$\omega = 6.631456\text{e+}04 \text{ рад/с}$$

$$\delta = 1.000000\text{e-}03$$

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{op} = 1.500501e+00 \text{ D}$$

$$h_1+h_2 = 1.700000e-03 \text{ мм}$$

$$D_{cr1+1.5h_1} = 1.777500e-02 \text{ мм}$$

$$\epsilon_{ps} = 9.563994e-02$$

$$e^{-3\epsilon_{ps}} = 7.505719e-01$$

$$U_{vn} = 1.914598e-01 \text{ В}$$

$$U_{vn} = -8.784626e-01 \text{ В}$$

$$U_{vn} = 8.990848e-01 \text{ В}$$

$$E_0 = 0 \text{ В}$$

$$E_0 = 1.500501e+00 \text{ В}$$

$$E_0 = 1.500501e+00 \text{ В}$$

$$U_{vih} = 1.914598e-01 \text{ В}$$

$$U_{vih} = 6.220387e-01 \text{ В}$$

$$U_{vih} = 6.508371e-01 \text{ В}$$

Аналіз отриманих числових даних засвідчив, що найбільш чутливою до зазору є амплітуда вихідного сигналу, графік залежності амплітуди цього сигналу від зазору наведено на Рис.2.

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Графік залежності зазору від вихідної напруги сигналу:

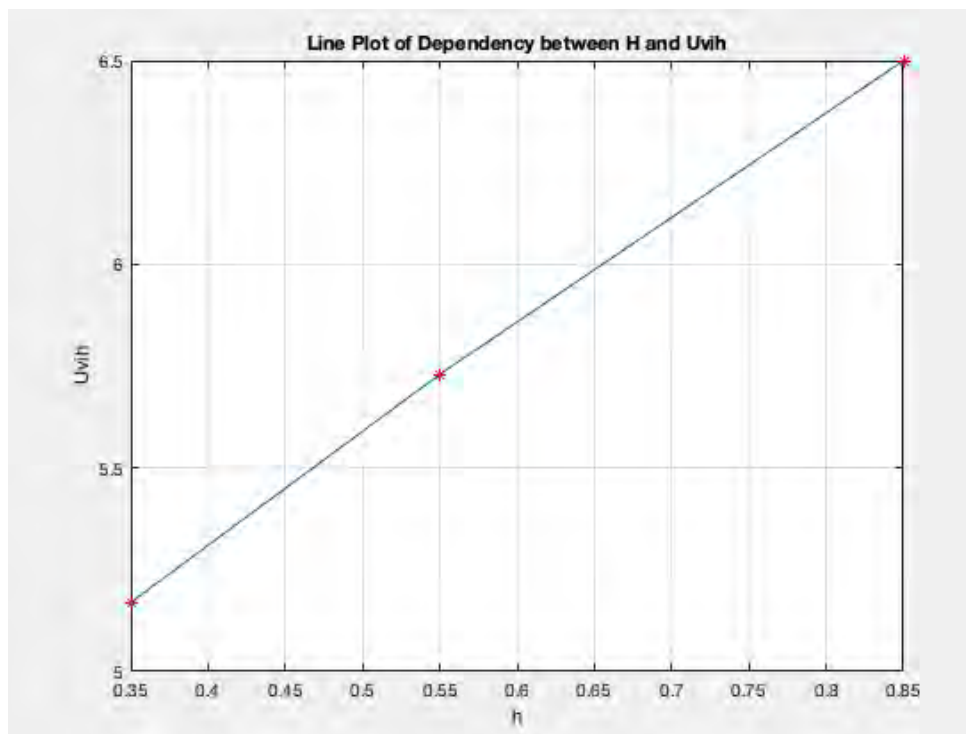


Рисунок 2.2 Графік залежності напруги вихідного сигналу (вольти) від зазору (міліметри)

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Вибір та обґрунтування функціональної схеми вихрострумowego приладу для контролю осьового переміщення валів турбін

Структура одного каналу засобу вихрострумowego контролю зображена на рисунку 2.4.

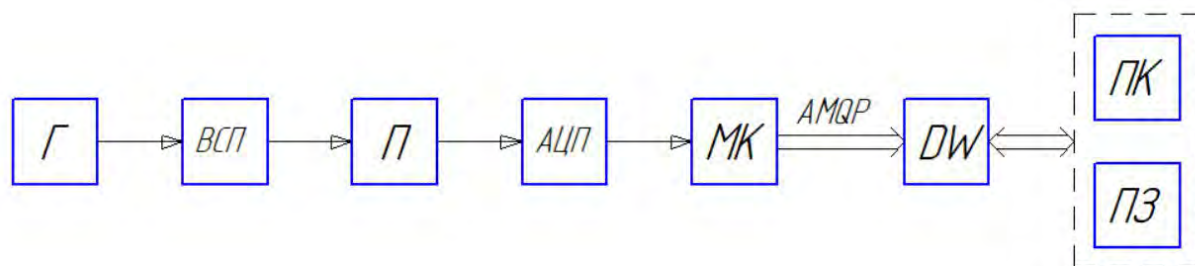


Рисунок 2.4 Функціональна схема приладу

Вимірювальну частину засобу складають послідовно ввімкнені вхідний пристрій ВСП, операційний підсилювач П, аналого-цифровий перетворювач АЦП з підключеним до нього мікроконтролером МК.

АЦП виконано на схемі МСР3008, що перетворює вхідну напругу у паралельний двійковий код для виводу його на контроллер.

МК являє собою мікрокомп'ютер raspberry pi, що отримує цифровий сигнал з ацп, фіксує час реєстрації сигналу, та посилає запит на збереження даних до сховища DW, використовуючи протокол AMQP.

DW – віддалене сховище даних, в якому зберігаються сигнали та час їх отримання в табличному вигляді. Сигнали зв'язані з перетворювачем ВСП за вторинним параметром, також ВСП має посилання в таблиці на об'єкт контролю, зв'язки спроектовані таким чином, дозволяють фільтрувати сигнали по ВСП та об'єкту контролю за певний час.

Блок ПК-ПЗ являє собою, систему візуалізації отриманого сигналу, за допомогою специфічного програмного забезпечення, сигнали можна вивести на графік, таблицю, чи діаграму, відфільтровану по ознакам заданим в пз, сам звіт можна переглянути на персональному комп'ютері з підключеним WiFi.

2.3. Вибір підсилювача та АЦП

Зважаючи на дані отримані у розрахунках, а саме напруги вихідного сигналу та абсолютної вносимої напруги ($U_{\text{вн}} = 1.05\text{В}$, $U_{\text{вх}} = 5.17 * 10^{-1}\text{В}$), для обробки сигналів з первинного перетворювача було обрано в якості мікроконтролера - Raspberry Pi, в якості АЦП – МСР3008 (зокрема через сумісність з Raspberry pi), та операційний підсилювач МАХ4169.

АЦП МСР3008



Рисунок 2.5. АЦП МСР3008

Основні характеристики Microchip MCP3008

- разрядність - 10біт;
- каналів - 8;
- шина - SPI;
- живлення - 2.7-5.5В

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опис виводів чипу наведено на рисунку 2.6

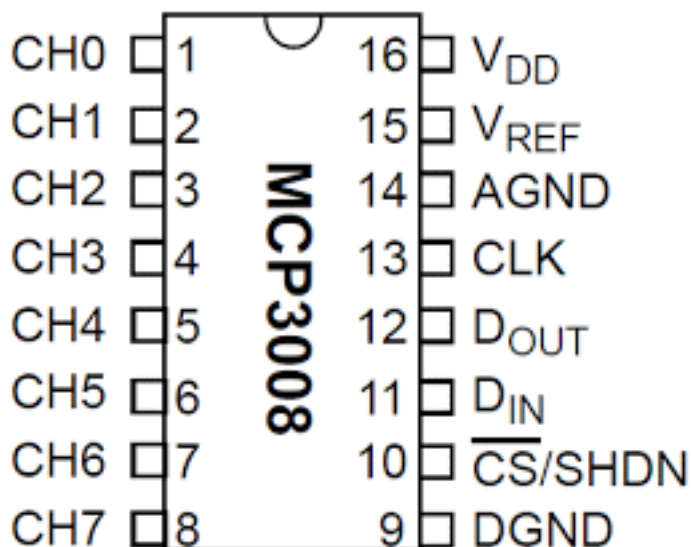


Рисунок 2.6 Опис виводів АЦП

- **CH0 - CH7** - вісім каналів для підключення аналогових перетворювачів;
- **V_{dd}** - напруга живлення 2.7-5.5В;
- **V_{ref}** - опорне живлення;
- **AGnd, DGnd** - земля;
- **CLK, Dout, Din, CS** - лінії шини SPI.

Підсилювач MAX4169

Чотирьохканальний прецизійний операційний підсилювач з однополярним живленням і рівнями сигналів від шини - до - шини живлення.

Виводи зображені на рис 2.7

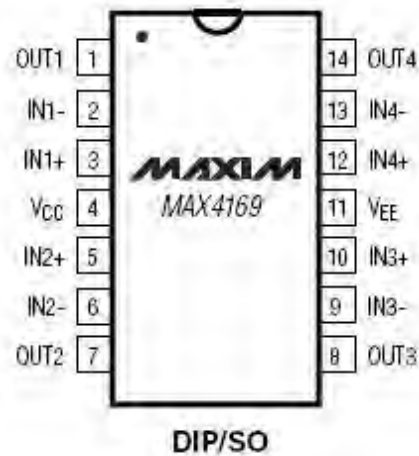


Рисунок 2.7 Опис виводів підсилювача

Родина операційних підсилювачів MAX4165 – MAX4169 поєднує в собі відмінну точність постійного струму з високим приводом струму на виході, операцією з одним подачею та входами та виходами залізничі до рейки. Ці пристрої працюють від одинарного + 2,7 до + 6,5 В або від подвійного $\pm 1,35$ В до $\pm 3,25$ В. Зазвичай вони подають струм живлення 1,2 мА і гарантовано подають вихідний струм 80 мА.

MAX4169 має режим відключення, що зменшує струм живлення до 38 мкА на підсилювач і переводить виходи у стан високого опору. Точність продуктивності MAX4165 – MAX4169 у поєднанні з високим вихідним струмом, широким динамічним діапазоном вводу / виводу, операцією одноразового живлення та низьким енергоспоживанням робить їх ідеальними для портативних аудіопрограм та інших низьковольтних систем, що працюють від акумуляторів.

Мікроконтролер Raspberry Pi



Рисунок 2.8 Мікроконтролер

Raspberry Pi - це недорогий комп'ютер розміром із кредитною карткою, який підключається до монітора комп'ютера чи телевізора та може використовувати стандартну клавіатуру та мишу. Це маленький спроможний пристрій, який дозволяє людям будь-якого віку вивчати обчислення та навчитися програмувати на таких мовах, як Scratch та Python. Він здатний робити все, що ви очікуєте від настільного комп'ютера, від перегляду Інтернету та відтворення відео високої чіткості, до створення електронних таблиць, обробки тексту та сигналів реального часу.

Більш того, Raspberry Pi має можливість взаємодіяти із зовнішнім світом, і його застосовують у широкому спектрі цифрових виробників проектів, від музичних машин та батьківських детекторів до метеостанцій та щебетання шпаківні інфрачервоними камерами.

У Raspberry Pi є такі переваги:

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Низька вартість (~ 35 \$);
- Величезна потужність обробки в компактному корпусі;
- Безліч інтерфейсів (HDMI, декілька USB, Ethernet, вбудований Wi-Fi та Bluetooth, GPIO, GSM, USB та ін.)
- Підтримує усі можливі операційні системи (Windows, Linux, Mac os)
- Суттєво спрощує процес розробки програмної частини (через підтримку безлічі операційних систем)

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Вибір виду системи передачі цифрових даних

Для організації передачі даних між апаратною та програмною частинами засобу буде використовуватися протокол передачі даних **AMQP** (Advanced Message Queueing Protocol), задля роботи цього протоколу потрібно мати підключення до мережі інтернет, яке можна досягнути за допомогою GSM модулю вбудованого в контролер та звичайної сім карти.

AMQP - чудовий, вже досить широко підтримуваний відкритий протокол для передачі повідомлень між компонентами системи з низькою затримкою і на високій швидкості. Загальна ідея полягає у тому, що окремі або незалежні додатки можуть обмінюватися довільним чином меседжами з даними через AMQP-брокер, що здійснює маршрутизацію, гарантує доставку, розподіляє потоки даних, підписку на можливі типи подій. Як класичні приклади зазвичай наводяться інтеграційні програми, пов'язані, наприклад, з доставкою споживачам інформації про курси цінних паперів в режимі реального часу, також можливо RPC-взаємодія двох ізоляваних систем, які не мають зв'язку між собою (взаємодія таким чином буде проходити через протокол AMQP). На рисунку 2.9 зображено модель протоколу AMQP.

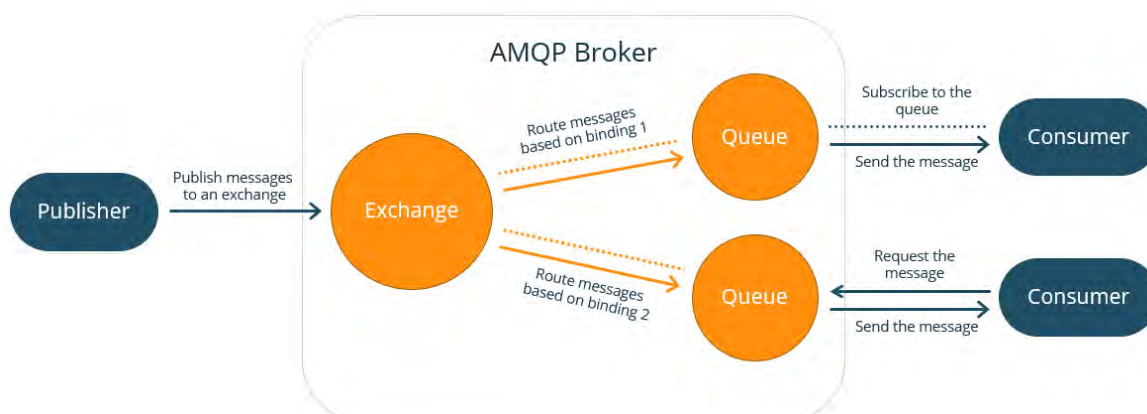


Рисунок 2.9 Модель протоколу amqp

AMQP влаштований досить цікаво: на нижньому рівні визначається формат кодування даних в бінарний вигляд для передачі по TCP-з'єднання, вище лежить формат передачі RPC-запитів між сервером і клієнтом. Сама семантика роботи з повідомленнями, створення черг і т.п. описується в XML-специфікації, яка по суті задає RPC-інтерфейс сервера і клієнта (приклади таких XML-файлів для версій 0-8 і 0-10). Цей XML є останньою і кінцевою специфікацією протоколу.

Як працює AMQP:

Подивимось, як працює AMQP, AMQP має справу з видавцями та споживачами. Видавці випускають повідомлення, споживачі підбирають їх та обробляють. Завдання брокера повідомлень (наприклад, RabbitMQ) - забезпечити, щоб повідомлення видавця надходили потрібним споживачам. Для цього брокер використовує два ключові компоненти:

1. Події (events)
2. Черги (queues)

Видавець надсилає повідомлення на іменний обмін, а споживач витягує повідомлення з черги або черга висуває їх споживачеві залежно від конфігурації. Зв'язки повинні бути зроблені в першу чергу, тож питання полягає в тому, як видавці та споживачі виявляють один одного? Відповідь - через назву брокера. Зазвичай або видавець, або споживач створює обмін із заданим іменем, а потім робить це ім'я загальнодоступним.

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

AMQP заснований на наступних поняттях:

1. Повідомлення (message) - одиниця обміну даними або ж сутність, основна його частина (тіло) не ідентифікується приймаючим сервісом, до меседжу зазвичай додаються певні заголовки які являють собою метадані.
2. Точка обміну (exchange) – вхідна сервіс усіх даних тобто меседжів. Exchange service зазвичай оркеструє повідомлення в одну або декілька черг. При тому що в самій точці обміну меседжі не повинні зберігатися. Точки обміну бувають декількох типів: fanout - повідомлення передається в усі додані до неї черги; direct - повідомлення передається в чергу з певною заздалегідь ініціалізованою унікальною назвою, що збігається з так званим routing key.

Даний протокол має наступні переваги:

1. Надійність (надійність доставки повідомлень)
2. Швидка та забезпечена доставка повідомлень
3. Моніторинг стану повідомлення, було отримане чи ні
4. Amqp забезпечує безпечне з'єднання, тому не потрібно турбуватися про безпеку
5. Amqp має чітко визначені точки розширення

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до 2 розділу

В даному розляді було розглянуто функціональну схему засобу. Виконано обчислення системи “ВСП-ОК”, проаналізовано залежність зазору від вихідного сигналу. Також були обрана апаратна частина засобу, а саме АЦП, мікроконтроллер, та операційний підсилювач.

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Огляд архітектури компонентів програмного забезпечення

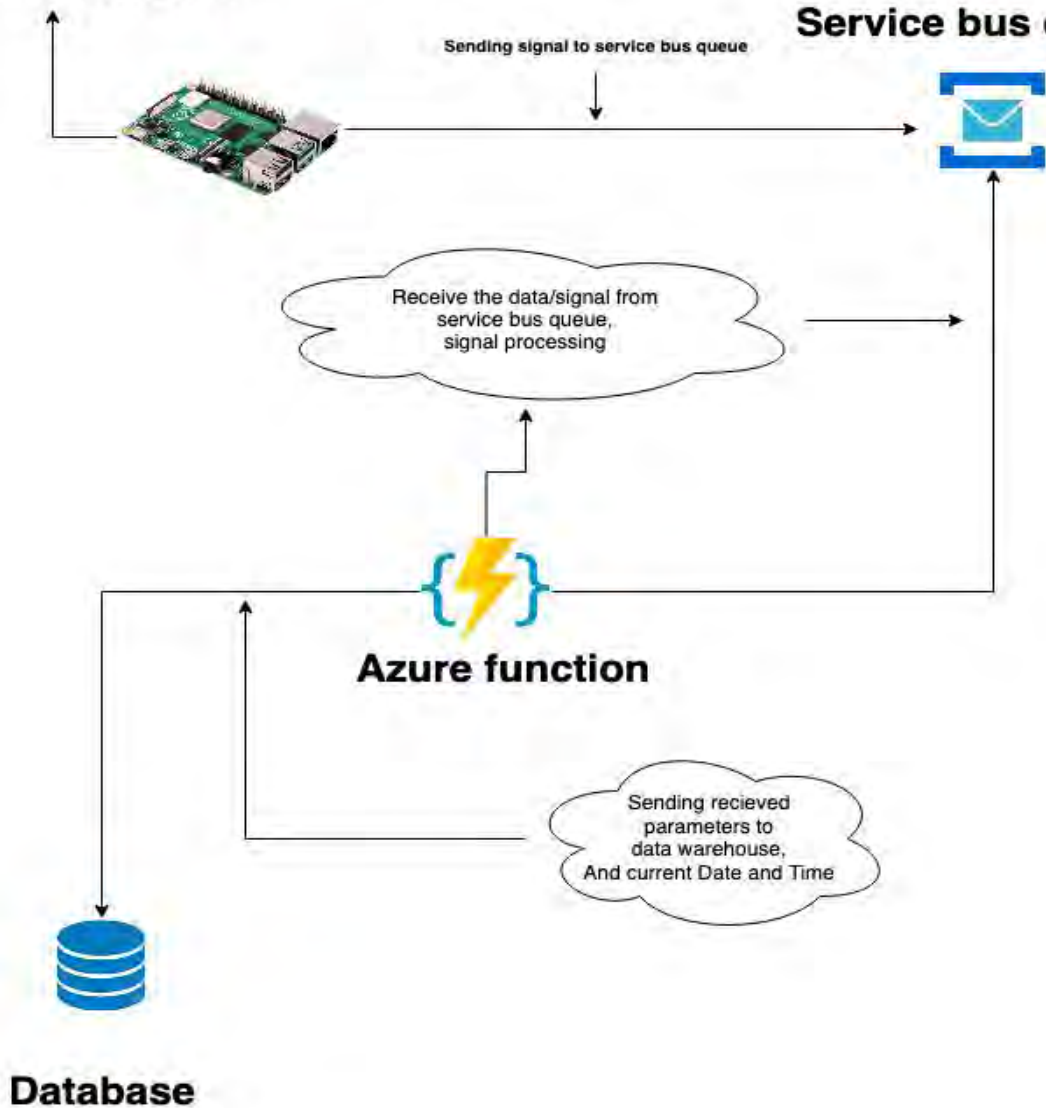
Даний прилад спроектовано базуючись на тому що контроль повинен проводитися довгий час, апаратна частина повинна постійно знаходитися на валу турбіни, так як важливо знати про стан об'єкту в кожний момент часу. Тож мережа прийому та обробки даних також повинна працювати у режимі «online» тобто у режимі постійного очікування. Для цього можна розгорнути власну інфраструктуру. Тобто придбати сервер, який буде приймати дані та записувати дані до сховища. Переваги такого підходу в тому що ми можемо керувати та налагоджувати наш сервер в залежності від наших потреб, але така інфраструктура зазвичай потребує адміністрування, сховища для логів, та ліцензій на операційну систему. Тому в даному проекті будуть використовуватися компоненти хмарного провайдера Microsoft Azure. Таким чином нам не потрібно думати про адміністрування та лише реалізовувати логіку по отриманню та обробці даних.

На Рис.7 наведена діаграма роботи апаратної та програмної частини засобу в режимі неперервного прийому даних.

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Microcontroller

Service bus queue



Database

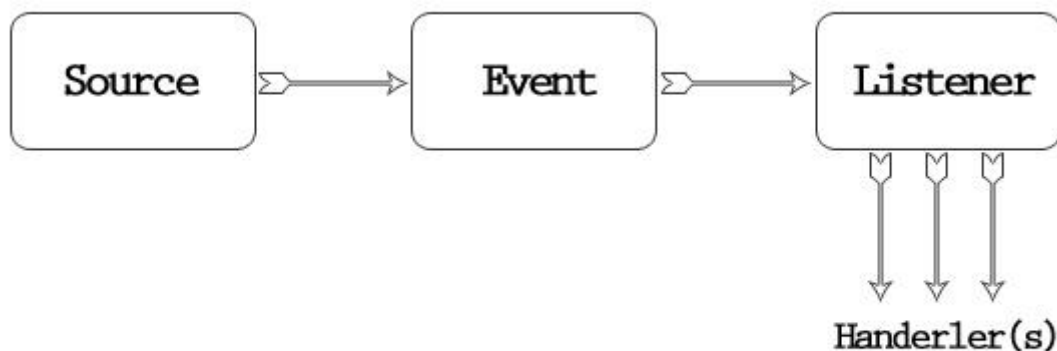
Continuous process

Рисунок 3.1. Діаграма активності програмної частини приладу

Як можна побачити на діаграмі, спочатку мікроконтроллер отримує сигнал від первинного перетворювача, та відправляє ці данні у тілі повідомлення до черги Azure Service Bus через AMQP протокол. Далі Azure function (ажур функція) яка підписана на отримання нових повідомлень від Service Bus Queue, реєструє нове повідомлення, зчитує дані сигналу та вносить їх до сховища даних вказавши в технічні поля запису поточний час та дату.

Модель представлена вище називається – event source – (подія джерело), мається на увазі те, що система в реальному часі опрацьовує лише одну подію, тобто отримання сигналу є подією яка розпочинає процес отримання та обробки даних для зберігання у сховищі.

На рисунку 3.2 зображена модель event driving programming.



Event-Driving Programming Model

Рисунок 3.2. Event driving programming

Як можна побачити абстрактне джерело (source), формує певну подію (event) при виникненні якої так звані обробники (listener), отримують метадані з події та починають обробку даних.

2.2. Опис використаних компонентів хмарного провайдера Microsoft Azure

Як можна побачити з діаграми ми використовуємо наступні компоненти хмарного провайдера Microsoft Azure, такі як Azure Function, Azure Service Sub та сховище даних. В якості сховища буде використовуватися документарна база Azure Cosmos Db. Далі наведено опис кожного з компонентів:

Azure Function – це підхід так званих serverless (без серверних) обчислень, який дозволяє виконувати код, що викликається тригерами, без явного управління інфраструктурою, іншими словами, Azure Functions - це сучасна архітектура без сервера, що пропонує хмарні обчислення, керовані подіями, які розробникам легко використовувати.

Тригери - це те, що викликає запуск функції. Тригер визначає, як викликається функція, і функція повинна мати саме один тригер.

Тригери мають пов'язані дані, які часто надаються як корисне навантаження функції.

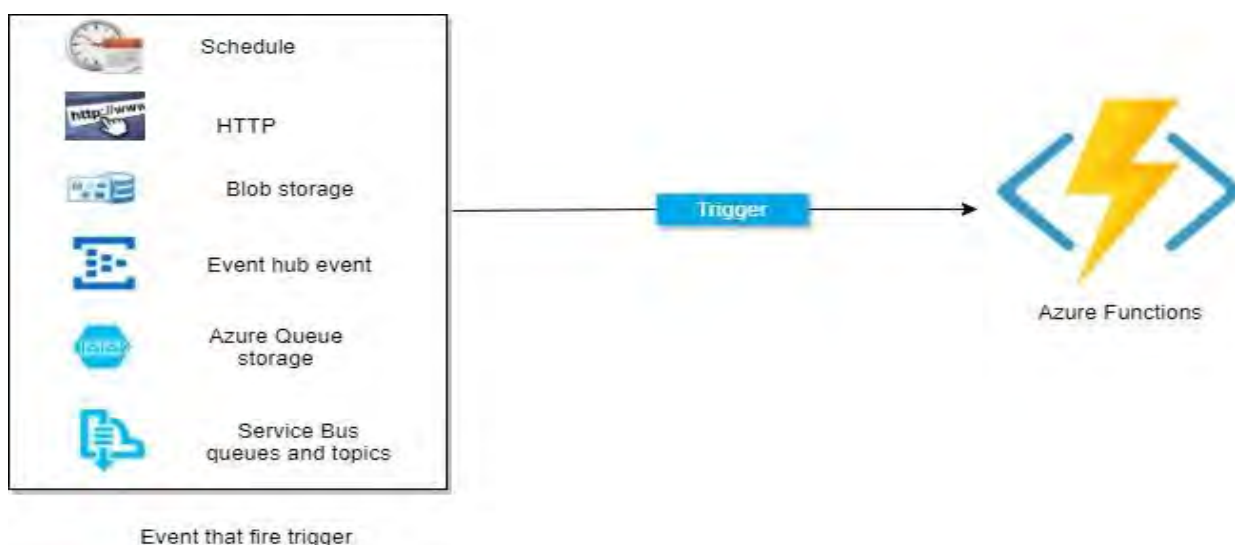


Рисунок 3.3. Характеристика Azure functions

У розробленому додатку тригером виступає нове повідомлення в шині Azure Service Bus. Тобто при появі нового меседжу в черзі функція починає виконувати код який читає тіло повідомлення та робить запис до сховища.

Azure Service Bus - це повністю керований брокер повідомлень для інтеграції даних в реальному часі. Сервіс-шина може поєднати додатки та послуги. Service Bus пропонує надійну і безпечну платформу для асинхронної передачі даних і стану об'єкта. Дані передаються між різними програмами та службами за допомогою повідомлень. Повідомлення у двійковому форматі і може містити такі формати як - JSON, XML або текст. Service bus – містить всередині такі підкомпоненти як – Namespace (контейнер підкомпонентів в рамках одного модуля), Queue – черга з повідомленнями отриманих від sender-а, та Topic (детально зупинятися на цьому типі не будемо так як його використання нам в роботі не потрібно).

Повідомлення надсилаються та надходять із черг. Черги зберігають повідомлення, поки приймаючий додаток не стане доступним для їх отримання. На рисунку 3.4 наведено принцип обслуговування черги.



Рисунок 3.4 Схема роботи брокерів повідомлень

Повідомлення в чергах впорядковуються та позначаються часом по прибуттю до шини. Після прийняття повідомлення надійно зберігається у надмірному сховищі. Повідомлення доставляються в режимі витягування.

Azure Cosmos Db – це багатомодельна база даних від Microsoft Azure.

Яка підтримує такі моделі бази даних як

- Sql (транзакційні табличні бази даних)
- Document oriented (документо орієнтовані бази даних) – основним елементом якої є документ з певною структурою у форматі JSON
- Gremlin (мережеві бази даних) – основним елементом якої є граф, дані представлені у вигляді вершин, а зв'язки – гілок
- Cassandra
- Table Api
- Mongo Db та інші

В даному проєкті буде використовуватися саме документо-орієнтована база даних в якості сховища. Вона має наступні переваги:

- Висока швидкодія (запис та читання з документу досить швидко та атомарна операція)
- Глобальний розподіл даних з контролем доступу до них
- Завжди у високій степені доступності
- Еластична масштабованість пропускну здатності та зберігання у всьому світі
- Гарантована низька затримка за 99-ого перцентилля по всьому світу
- Точно визначений вибір даних з декількома консистенціями
- Безпечна за замовчуванням
- Відсутня необхідність створення міграцій даних для додавання нових полів, потрібно лише створити це поле у вхідному документі
- Зв'язані дані можна зберігати напряму в тілі документа
- Надзвичайно проста візуалізація даних

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Із недоліків можна підкреслити відсутність реляційних зв'язків,
- транзакцій, та періодичних завдань.

3.3. Розробка сутностей для бази даних

Сутність бази даних – це предметна область яка накриває інформаційний об'єкт (річ, особа, місце, одиниця, об'єкт або будь-який предмет), про який дані якого повинні бути отримані та збережені у вигляді властивостей, робочого процесу та таблиць. Хоча робочий процес і таблиці необов'язкові для сутності бази даних, властивості потрібні (оскільки сутність без властивостей не є сутністю).

В даному проекті в базі даних сформовано 3 сутності.

Сутність NDTObject:

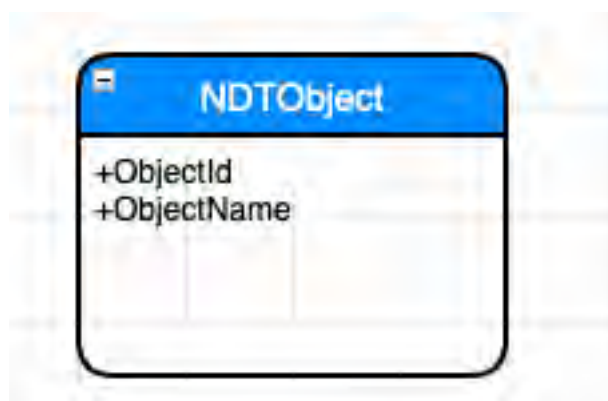


Рисунок 3.5 Модель сутності NdtObject

Ця сутність використовується для характеристики об'єкта контролю, вона має дві властивості. ObjectId – унікальний ідентифікатор об'єкта контролю. ObjectName – назва об'єкту контролю (не унікальне поле).

Сутність NDTDevice:

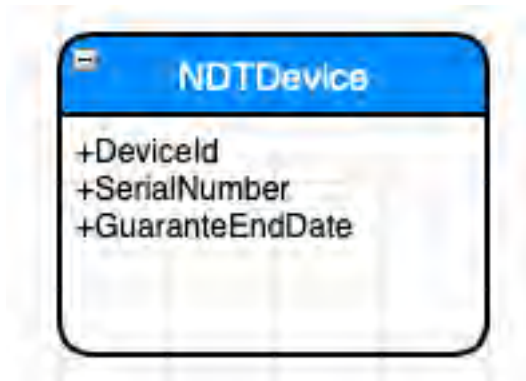


Рисунок 3.6 Модель сутності NDTDevice

Ця сутність характеризує апаратну частину проекту (мікроконтроллер з первинним перетворювачем). Сутність має 3 властивості.

DeviceId – унікальний ідентифікатор девайсу.

SerialNumber – серійний номер девайсу.

GuaranteEndDate – рекомендована дата виходу девайсу з експлуатації

Сутність NDTTransaction:



Рисунок 3.7 Модель сутності NDTTransaction

Ця сутність характеризує отримане значення амплітуди від конкретного девайсу встановленого на конкретному об'єкті контролю, назвемо це значення транзакцією.

Вона має 6 властивостей.

TransactionId – унікальний ідентифікатор транзакції.

ReceiveDate – дата отримання значення амплітуди.

ReceiveTime – час отримання значення амплітуди (в дату ReceiveDate).

AmplitudeValue – значення амплітуди отримане з девайсу.

DeviceId – унікальний ідентифікатор девайсу з якого отримане значення амплітуди.

ObjectId – унікальний ідентифікатор об'єкта контролю.

На рисунку 3.8, ми можемо побачити схему зв'язків між сутностями.

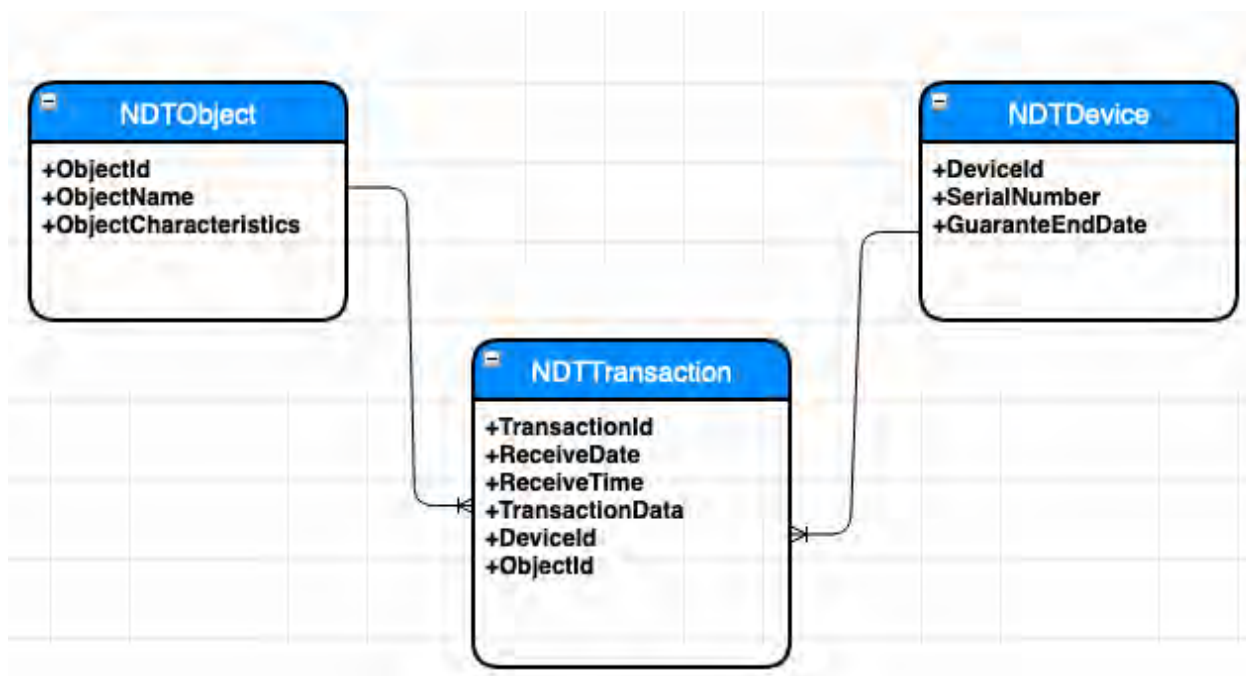


Рисунок 3.8 Entity Relationship діаграма описаних сутностей

Як можна побачити сутність NDTObject зв'язана з сутністю NDTTransaction як 1:N (один до багатьох), з чього випливає що у одного

об'єкту NDTObject багато зв'язаних об'єктів транзакцій. Сутність NDTDevice зв'язана з сутністю NDTTransaction як 1:N, аналогічно у одного NDTDevice є багато зв'язаних NDTTransaction.

У сховищі дані зберігаються у вигляді документів у форматі JSON (Javascript object notation). Приклади заповнених даних у сховищі наведено далі.

Сутність NDTObject, у сховищі має наступне відображення:

```
{
  "id": "77392c03-89a9-4698-8ae5-b2e373dd9c50",
  "type": "NDTObject",
  "objectname": "turbine shaft",
  "_rid": "SAEcANpIk-oDAAAAAAAAAA==",
  "_self": "dbs/SAEcAA==/colls/SAEcANpIk-o=/docs/SAEcANpIk-oDAAAAAAAAAA==/",
  "_etag": "\"0600968b-0000-0d00-0000-5e666b270000\"",
  "_attachments": "attachments/",
  "_ts": 1583770407
}
```

Рисунок 3.9 Документ сутності NDTObject

Сутність NDTDevice, у сховищі має наступне відображення:

```
{
  "id": "0c022d27-8052-4758-ac47-e2951a358521",
  "type": "NDTDevice",
  "serialnumber": "DemoApp",
  "guaranteenddate": "2023/12/24",
  "_rid": "SAEcANpIk-oCAAAAAAAAAAA==",
  "_self": "dbs/SAEcAA==/colls/SAEcANpIk-o=/docs/SAEcANpIk-oCAAAAAAAAAAA==/",
  "_etag": "\"0600958b-0000-0d00-0000-5e666ad40000\"",
  "_attachments": "attachments/",
  "_ts": 1583770324
}
```

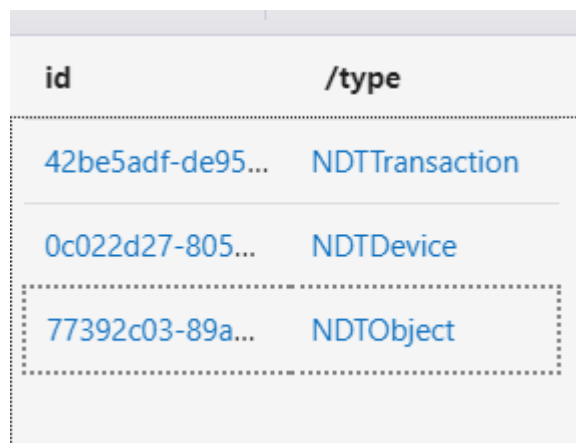
Рисунок 3.10 Документ сутності NDTDevice

Сутність NDTTransaction, у сховищі має наступне відображення:

```
1 {  
2   "id": "42be5adf-de95-4069-908a-f5eed9eb9fa4",  
3   "type": "NDTTransaction",  
4   "receivedate": "2020/03/03",  
5   "receivetime": "11:58:53",  
6   "amplitudevalue": 153.332321,  
7   "deviceid": "0c022d27-8052-4758-ac47-e2951a358521",  
8   "objectid": "77392c03-89a9-4698-8ae5-b2e373dd9c50",  
9   "_rid": "SAEcANpIk-oBAAAAAAAAAAAAA==",  
10  "_self": "dbs/SAEcAA==/colls/SAEcANpIk-o=/docs/SAEcANpIk-oBAAAAAAAAAAAAA==/",  
11  "_etag": "\"0600948b-0000-0d00-0000-5e666a610000\"",  
12  "_attachments": "attachments/",  
13  "_ts": 1583770209  
14 }
```

Рисунок 3.11 Документ сутності NDTTransaction

Як можна побачити це json документи, які мають типізовану структуру структуру, усі документи поділяються за типом (властивість Type), це partition key, або так званий унікальний індекс за допомогою якого провайдер сховища поділяє різні типи сутностей.



id	/type
42be5adf-de95...	NDTTransaction
0c022d27-805...	NDTDevice
77392c03-89a...	NDTObject

Рисунок 3.12. Відображення різних сутностей у провайдері сховища

3.4. Візуалізація даних сховища. Побудова автоматизованих звітів

Візуалізація даних - це кінцевий результат роботи приладу, який дозволить наочно і інтерактивно відстежити проміжні результати контролю, залежності та відхилення показників. Це можливість ефектно презентувати дані і зрозуміло показати оператору для прийняття рішення. А зрозумілий звіт - це те, що потрібно для прийняття правильних рішень. Наразі існує чимало засобів візуалізації даних які розміщуються у віддалених сховищах. Такі інструменти мають назву ВІ (business intelligence) додатки. Такі програми мають можливість

- підключення до сховища (від конкретного користувача або від сервісного облікового запису)
- формування вибірки даних за певними критеріями
- графічне відображення отриманої вибірки
- графічне відображення комбінації з-декілької вибірок

В даному проекті буде розглядатися система Microsoft PowerBI, яка є визнаним лідером в галузі обробки та візуалізації даних, через можливість підключення до більш ніж 100 різних сховищ (як хмарних так і наземних) , та свою ціну. Ліцензія користувача становить лише 5\$ на місяць.

Power BI - це набір програмних сервісів Microsoft, які працюють разом, перетворюючи незв'язані джерела даних компанії в цілісні інтерактивні звіти. При цьому джерелом можуть бути бази даних, файли Excel, дані з хмарних джерел та Інтернету, текстові файли і так далі.

Power BI призначений для створення індивідуальних звітів, а також може використовуватися для роботи в рамках групових проектів.

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Power BI включає:

- Додаток Power BI Desktop для створення моделей даних і розробки звітів - панелей управління (Dashboard).
- Онлайн сервіс Power BI (SaaS - Software as a Service) для публікації звітів.
- Мобільні додатки Power BI Mobile для перегляду звітів на мобільних пристроях і планшетах під управлінням Windows, iOS і Android.

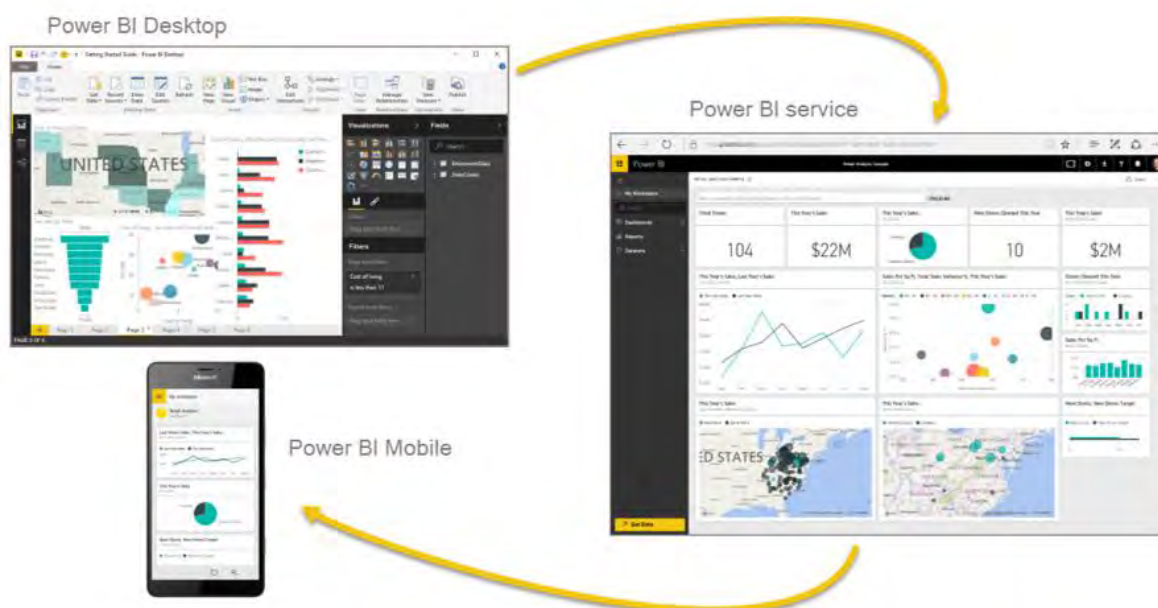


Рисунок 3.13 Додатки PowerBi

Візуалізація даних - це найцікавіша і ефектна частина Power BI.

І це крім наступних переваг :

- підключення до різних джерел даних безпосередньо;
- всі дані об'єднуються в одному звіті - не потрібно переглядати різні звіти, щоб побачити картину по компанії в цілому;
- записана послідовність обробки і розрахунків - розрахунки не потрібно повторювати і виконувати рутинну монотонну роботу, вони сформуються автоматично;
- можливість роботи в режимі реального часу.

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Power BI включає безліч засобів візуалізації - графіки, лінійчатих діаграми, кругові діаграми, діаграми з накопиченням, комбіновані діаграми, водоспадні і воронкоподібні діаграми, точкові і бульбашкові діаграми.



Рисунок 3.14 Види доступних графіків у powerbi

Послідовність роботи з PowerBI:

Створення звітів починається з їх розробки в Power BI Desktop. Потім звіти публікуються за допомогою захищеного онлайн сервісу Microsoft. Після цього вони стають доступними на мобільних пристроях під управлінням Windows, iOS і Android, за допомогою Power BI Mobile.

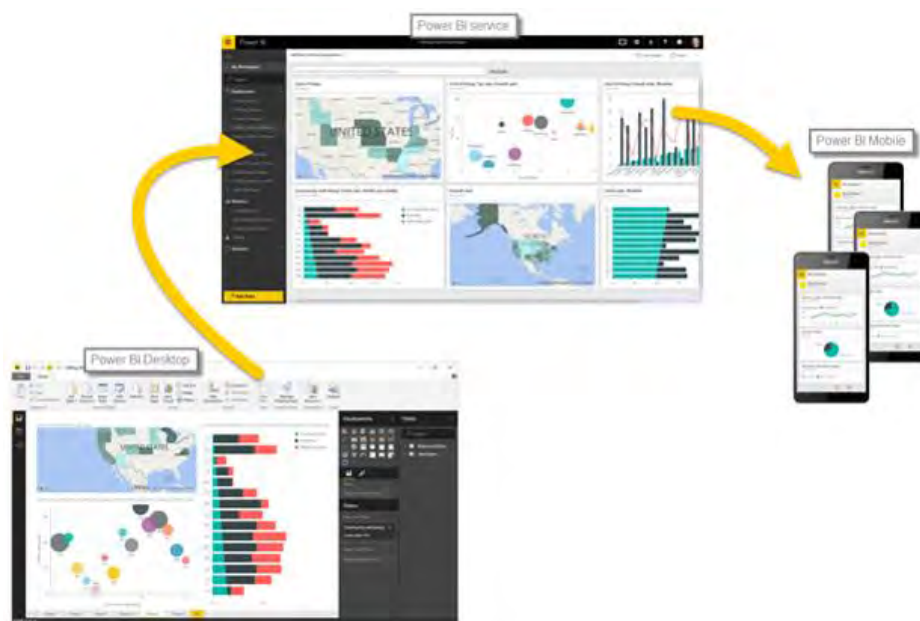


Рисунок 3.15. Послідовність роботи з системою PowerBi

Після конфігурації підключення до сховища даних, налагодження послідовності фільтрації та вибірки, звіти будуть формуватися автоматично при надходженні нових даних до сховища. І витратити час на створення звітів більше не потрібно.

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						52
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до 3 розділу.

В даному розділі, було оглянуто архітектуру програмної частини засобу для контролю осьового переміщення валів турбін. Спроековано сховище даних базуючись на NoSql базі даних Azure Cosmos Db. Створенні таблиці/типи документів, описано зв'язки кожної з сутностей у базі даних та надані характеристики властивостей. Описано процес обробки та візуалізації завантажених у сховищен даних за допомогою Microsoft Power Bi.

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

За завданням дипломного проекту було спроектовано засіб для контролю осьового переміщення валів турбін, а саме вимірювання амплітуди вихрострумів методом неруйнівного контролю.

В ході виконання дипломного проекту отримали наступні результати. Як ВСП слід використовувати накладний перетворювач. Найкращим способом виділення інформації з сигналу, що надходить з ВСП, є амплітудний метод. Обчислено вихідну напругу сигналу яка становить 0.571 В.

Спроектовано апаратну та реалізовано програмну частину засобу. Програмна частина являє собою мікросервісне рішення, яке складається, з мікроконтролеру як клієнта сервісу, AMQP брокера повідомлень (Service Bus Queue), для отримання сигналів з мікроконтролеру, фоновому сервісу для асинхронного читання сигналів з AMQP брокера, та завантаження цифрового сигналу до віддаленого сховища, для подальшої візуалізації на ПК оператора.

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Y. Kuts, A. Protasov, Iu. Lysenko, O. Dugin, O. Bliznuk, V. Uchanin Using multidifferential transducer for pulsed eddy current object inspection // IEEE First Ukraine Conference on Electrical and computer engineering (Ukrcon) . Conference Proceedings. May 29 –June 2, 2017. Kyiv, Ukraine.– P.826 – 829.
2. Kuts Y., Protasov A., Lysenko U., Dugin O. Pulsed Eddy Current Non-Destructive Testing of the Coating Thickness // The e-Journal of Nondestructive Testing.– .2014.– № 12, Vol.19.– Access mode: http://www.ndt.net/events/ECNDT2014/app/content/Paper/187_Lysenko-Rev1.pdf(last access: 05.07.17)
3. Куц Ю.В., Петрик В.Ф., Лысенко Ю.Ю., Дугин А.Л. Экспериментальное исследование вихретоковой системы контроля крупногабаритных изделий // Научни известия на НТСМ 2013 (Болгария). – №2 (139). – С.72–74.
4. Лисенко Ю.Ю., Дугін О.Л., Куц Ю.В., Протасов А.Г. Застосування накладних перетворювачів в імпульсному вихрострумівому контролі // Вісник національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” серія приладобудування. - Київ : Вид-во НТУУ “КПІ”, 2016, вип. 51.–С.58–63.
5. Kuts Y.V., Lysenko Y.Y., Dugin A.L Zakrevskii ., A.F. Analysis of an Eddy-Current Transducer with Impulsive Excitation in the Nondestructive Testing of Cylindrical Objects // Materials Sciences, Vol. 52, No.3, November, 2016. –P.431 – 437.
6. Петруша А. В. Розробка віддаленого сховища даних для багатоканальних приладів вихрострумівому контролю реального часу / А. В. Петруша, Ю. В. Куц // XIII Науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14

					ПК61.15.0000.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

травня 2020 р., м. Київ, Україна: збірник статей. КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, 2018. – С. 307–311.

7. Высокоскоростная обработка. [Электронный ресурс]. 2011. – Режим доступа к статье: <http://www.delcam-ural.ru/cam/tehpodderjka> (Дата обращения: 04.05.2011).
8. Miller, R.A “Thermal Barrier Coatings of Aircraft Engines: History and directions” Journal of Thermal Spray Technology 1997, pp 35 - 42
9. Bhagi LK, Rastogi V, Gupta P (2017). "Study of corrosive fatigue and life enhancement of low pressure steam turbine blade using friction dampers". Journal of Mechanical Science and Technology. 31: 17–27. doi:10.1007/s12206-016-1203-5.
10. Kurt H. Stern Metallurgical and Ceramic Protective Coatings, ISBN 0412544407, Chapman & Hall.
11. Высокотемпературные жаростойкие покрытия и жаростойкие слои для теплозащитных покрытий / [С. А. Мубояджян, С. А. Будиновский, А. М. Гаямов, П. В. Матвеев] // Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 1. – С. 17–20
12. Thomas E. Strangman Metallurgical and protective coatings thermal barrier coatings for turbine airfoils / Thomas E. Strangman // Thin solid films, 1985. – 127. – P. 93–105.
13. Срабатываемые, износостойкие и теплозащитные покрытия для деталей газового тракта турбины, компрессора и камеры сгорания ГТД / [В. А. Барвинок, И. Л. Шитарев, В. И. Богданович и др.] // Вестник СГАУ. – 2009. – № 3– 1(19). – С. 11–29
14. Каблов Е. Н. Теплозащитные покрытия для лопаток турбины высокого давления перспективных ГТД / Е. Н. Каблов, С. А. Мубояджян // Металлы, 2012. – № 1. – С. 5–13.
15. Каблов Е. Н. Защитные покрытия лопаток турбин перспективных / Е. Н. Каблов, С. А. Мубояджян // ГТГ, 2001. – №3 (12). – С. 30–32

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						56
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 16.de Matthew J. Donachie, Stephen James Donachie Superalloys: A Technical Guide – Pag 319 ISBN 0871707497 Technology – 2002
- 17.Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: Підручник/ Є. С. Поліщук. – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2000. – 360 с.
- 18.Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; За ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с.
- 19.Lashko Olena Experience in the Organization of Non-Destructive Testing Formal Education in Ukraine / International Conference NDT Days 2019, 17-21 June, 2019, Sozopol, Bulgaria (NDT Days 2019). - P. 91-95.
- 20.Куц Ю.В. Магнітний неруйнівний контроль: Навчальний посібник / Ю.В. Куц, А.Г. Протасов, В.К. Цапенко, В.С. Єременко, Ю.Ю. Лисенко – К: НТУУ "КПІ". – 2012. – 139 с.

					<i>ПК61.15.0000.000 ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		