

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Дослідження перехідних режимів роботи асинхронних машин
в досліді холостого ходу»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Юрій ОСТАПЮК
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф. кафедри КЕМСК

Василь КУХАРЧУК
(прізвище та ініціали)

«21» 11 2023 р.

Опонент: к.т.н., доцент ЕСЕМ

Олександр Ю.А.
(прізвище та ініціали)

«11» 12 2023 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри

«18» 11 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

“24” 10 20 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Остапоку Юрію Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження перехідних режимів роботи асинхронних машин в досліді холостого ходу

керівник роботи Кухарчук Василь Васильович, д.т.н., проф. каф. КЕМСК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “18” 09 2023 року № 247

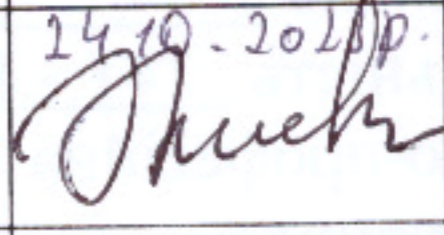
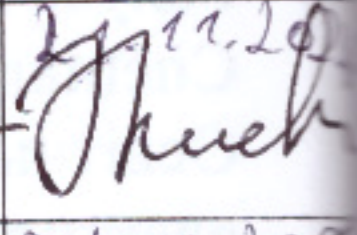
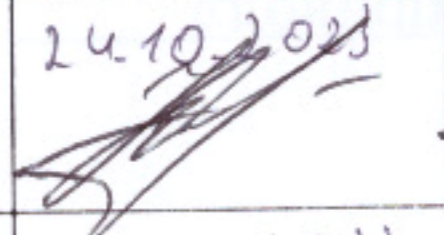
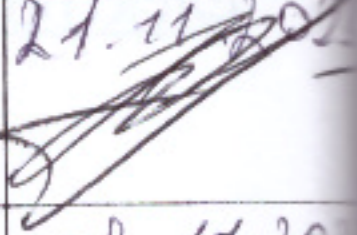
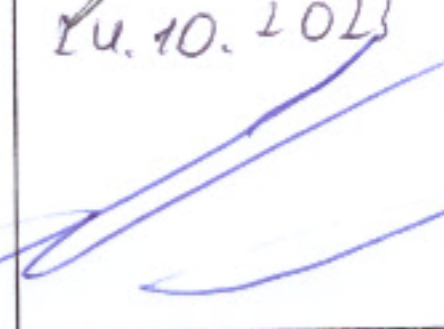
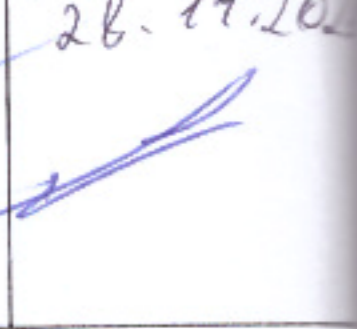
2. Термін подання студентом роботи 28.11.2023

3. Вихідні дані до роботи: тип двигуна 4A71A2Y3; p=2; m=3; R_s=16,39; R_r=15,08; L_m=0,624; L_s=0,663; L_r=0,7015; J=0,0097, M₀=0

4. Зміст текстової частини: 1 Огляд відомих методів та засобів виміру параметрів обертання руху асинхронних машин в досліді холостого ходу; 2 Розробка та дослідження математичних моделей засобів вимірювання параметрів обертання руху асинхронного двигуна в досліді холостого ходу; 3 Практична реалізація мікроконтролерних засобів вимірювання параметрів обертання руху асинхронних машин в досліді холостого ходу; 4 Вплив частоти електричної мережі на похибку вимірювання; 5 Техніко-економічне обґрунтування; 6 Охорона праці; Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1 Вступ, об'єкт, предмет, мета, задачі дослідження. 2 Аналіз засобів виміру параметрів обертання АМ в досліді ХХ; 3 Математична модель засобу динамічного вимірювання кутової швидкості АМ; 4 Застосування мікропроцесора для вимірювання кутової швидкості обертання; 5 Алгоритм роботи мікропроцесорного засобу вимірювання; 6 Моделювання асинхронної машини; 7 Моделювання похибки квантування; 8 Наукова новизна та практичне значення; 9 Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	д. т. н., проф. каф. КЕМСК Кухарчук В. В.	24.10.2023р. 	27.11.2023р. 
Економічна частина	Шулле Ю.А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ	24.10.2023 	21.11.2023 
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	24.10.2023 	26.11.2023 


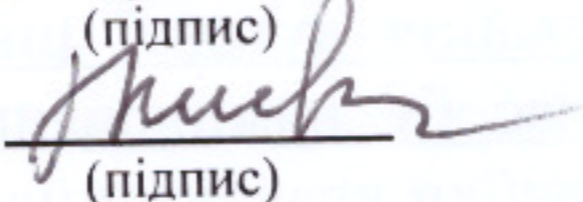
7. Дата видачі завдання 24.10.2023р

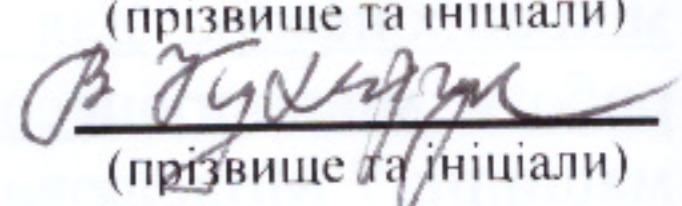
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	03.10.2023р.	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	21.11.2023р.	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	28.11.2023р.	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	21.11.2023р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	28.11.2023р.	
6	Попередній захист МКР	28.11.2023р.	
7	Нормоконтроль МКР	28.11.2023р.	
8	Рецензування МКР	11.12.2023р.	
9	Захист МКР	12.12.2023р.	

Студент

Керівник роботи


(підпис)

(підпис)

Осташук Ю.М.
(прізвище та ініціали)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 621.3(075)

Остапюк Ю. М. Дослідження перехідних режимів роботи асинхронних машин в досліді холостого ходу. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма – електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Вінниця: ВНТУ, 2023 86 с.

На укр. мові. Бібліограф.: 20 назв; рис.: 14; табл. 8.

В магістерській кваліфікаційній роботі були запропоновані рішення щодо підвищення якості оцінки асинхронних машин, за допомогою мікропроцесорних засобів вимірювання на усьому діапазоні зміни швидкості в досліді холостого ходу. За допомогою такого динамічного вимірювання, пропонується алгоритм по підвищенню якості вимірювання, за рахунок зменшення нормованої похибки квантування вимірювання кутової швидкості асинхронних машин. Методом імітаційного комп'ютерного моделювання в програмному середовищі Matlab (Simulink) було встановлено залежності похибки квантування при знаходженні кутової швидкості обертання асинхронної машин на усьому діапазоні її зміни. Запропоновано структурна схема мікропроцесорного засобу вимірювання та алгоритм роботи мікропроцесора на базі нормування похибки квантування

Графічна частина складається з 11 плакатів із результатами роботи.

Ключові слова: мікропроцесорний засіб вимірювання, енкодер, асинхронна машина, математична модель, імітаційне моделювання, структурна схема.

ABSTRACT

Ostapyuk Yu. M. Study of transient modes of operation of asynchronous machines in the experiment of idling. Master's qualification thesis on specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, educational program - electromechanical automation systems and electric drive. Vinnytsia: VNTU, 2023 86 p.

In Ukrainian language Bibliographer: 20 titles; fig.: 14; tabl. 8.

In the master's qualification work, solutions were proposed to improve the quality of asynchronous machine evaluation, using microprocessor-based measuring tools over the entire range of speed changes in the idling experiment. With the help of such dynamic measurement, an algorithm is proposed to improve the quality of the measurement by reducing the normalized error of quantization of the measurement of the angular speed of asynchronous machines. Using the method of simulation computer modeling in the Matlab (Simulink) software environment, the dependencies of the quantization error when finding the angular speed of rotation of asynchronous machines over the entire range of its change were established. A structural diagram of a microprocessor measuring device and an algorithm of microprocessor operation based on normalization of the quantization error are proposed

The graphic part consists of 11 posters with work results.

Key words: microprocessor measuring device, encoder, asynchronous machine, mathematical model, simulation modeling, structural diagram.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРУ ПАРАМЕТРІВ ОБЕРТАННЯ РУХУ АСИНХРОННИХ МАШИН В ДОСЛІДІ ХОЛОСТОГО ХОДУ	9
1.1 Методи виміру кутової швидкості обертання валу асинхронного двигуна в досліді холостого ходу	10
1.2 Вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронної машини за допомогою енкодерів	11
1.3 Вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронної машини за допомогою тахогенератора	13
1.4 Засоби вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронного двигуна в досліді холостого ходу	14
1.5 Вимірювання інших параметрів обертання руху асинхронних двигунів в досліді холостого ходу.....	15
1.6 Висновок.....	16
2 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЕРТАННЯ РУХУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В ДОСЛІДІ ХОЛОСТОГО ХОДУ	17
2.1 Математична модель двигуна	17
2.2 Імітаційне моделювання математичної моделі асинхронної машини в досліді холостого ходу.....	21
2.3 Висновок.....	25
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЕРТАННЯ РУХУ АСИНХРОННИХ МАШИН В ДОСЛІДІ ХОЛОСТОГО ХОДУ	26
3.1 Мікроконтролерний засіб вимірювання кутової швидкості	26
3.2 Створення алгоритму роботи мікропроцесорного засобу вимірювання	28

3.3 Імітаційне моделювання математичної моделі динамічних вимірювань асинхронної машини	30
3.4 Висновок.....	37
4 ВПЛИВ ЧАСТОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ НА ПОХИБКУ ВИМІРЮВАННЯ	38
4.1 Методи вимірювання частоти електричної мережі	38
4.1.1 Резонансний метод вимірювання частоти	38
4.1.2 Цифровий метод вимірювання частоти	39
4.1.3 Вимірювання частоти методом заряду і розряду конденсатора	39
4.1.4 Мостовий метод вимірювання частоти.....	39
4.1.5 Вимірювання частоти за допомогою осцилографа.....	40
4.2 Вплив відхилення частоти електричної мережі на похибку вимірювання	40
4.3 Способи покращення системи вимірювання в моделі з відхиленням частоти електричної мережі	41
4.4 Висновок.....	43
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	44
5.1 Технічне обґрунтування вибору двигуна	44
5.3 Висновок.....	47
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	48
6.1 Технічні рішення з безпеки експлуатації об'єкта	48
6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	48
6.1.2 Електробезпека.....	51
6.2 Технічні рішення з гігієни і виробничої санітарії	51
6.2.1 Мікроклімат	51
6.2.2 Виробниче освітлення	52
6.2.3 Виробничий шум.....	53
6.2.4 Виробнича вібрація.....	54
6.2.5 Фактори трудового процесу.....	55

6.3	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи мікропроцесорних засобів вимірювання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	56
6.3.1	Дослідження стійкості роботи мікропроцесорних засобів вимірювання в умовах дії іонізуючих випромінювань	57
6.3.2	Дослідження стійкості роботи мікропроцесорних засобів вимірювання в умовах дії електромагнітного імпульсу	59
6.4	Висновок.....	62
	ВИСНОВКИ	63
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65
	Додаток А	1
	Додаток Б.....	1

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Від початку ХХ століття, в світі широко почали використовувати двигуни на базі трьохфазних обмоток, які посіли назву асинхронні машини. Зі свого початку заснування, асинхронні машини мали дуже серйозні перехідні режими роботи при пуску, що викликало значні проблеми в машинах не тільки при запуску, а й на протязі їх роботи. Викликані проблеми мають не тільки електромагнітні явища, а ще й фізичні, як вібрація, та шуми. Тому, посіла гостра проблема в дослідженні перехідних режимів роботи асинхронних машин.

Дослід холостого ходу, визначається як запуск асинхронної машини без навантаження на валу, що робить цей дослід доцільним, при дослідженні перехідних режимів пуску асинхронних машин.

При проведенні досліду холостого ходу, проводяться вимірювання динамічних характеристик, тому потрібно визначитись з похибкою квантування на усьому проміжку вимірювання кутової швидкості асинхронних машин. З вимірювання кутової швидкості, можливо знайти, також, перехідні процеси в моменті навантаження та електромагнітному моменті.

Об'єктом дослідження є мікропроцесорні засоби вимірювання кутової швидкості в перехідних режимах роботи асинхронних машин.

Предметом дослідження є математична модель засобів динамічних вимірювань кутової швидкості асинхронних машин в досліді холостого ходу.

Мета. Підвищення точності вимірювань кутової швидкості шляхом нормування похибки квантування в усьому динамічному діапазоні її зміни.

До **задач** магістерської кваліфікаційної роботи можна віднести:

- аналіз відомих методів та засобів виміру параметрів обертання руху асинхронних машин;

- створення математичної моделі динамічної системи вимірювання кутової швидкості асинхронної машини;
- імітаційне моделювання на базі математичної моделі динамічних систем вимірювання кутової швидкості асинхронних машин;
- розробка структурної схеми мікропроцесорного засобу вимірювання похибки квантування та нормування створення алгоритму нормування даної похибки.

Методи дослідження засновані на використанні математичних моделей асинхронних двигунів, теорії та методів метрологічних засобів вимірювання динамічних систем, теорії та методів мікропроцесорної обробки даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримав подальший розвиток метод нормування похибки квантування в усьому діапазоні можливої зміни кутової швидкості, шляхом адаптації мікропроцесорного засобу до динамічних властивостей асинхронних машин, що дозволило в 1,5 рази підвищити точність вимірювань.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено структурну схему мікропроцесорного методу вимірювання кутової швидкості асинхронного двигуна;
- розроблено алгоритм нормування похибки квантування за допомогою мікропроцесорного методу вимірювання кутової швидкості асинхронного двигуна.

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи було отримано автором самостійно.

Апробація результатів дослідження. За результатами дослідження, було проведено подальше дослідження теми, яке доповідалось та обговорювалось на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2024)

Публікації. За темою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій :

- Особливості динамічних вимірювань ковзання асинхронних машин з енкодером / В. В. Кухарчук, Ю. М. Остапюк, Д. О. Глух – Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/19153> :
Вінниця: ВНТУ, 2023р. – 7 с.

1 ОГЛЯД ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРУ ПАРАМЕТРІВ ОБЕРТАННЯ РУХУ АСИНХРОННИХ МАШИН В ДОСЛІДІ ХОЛОСТОГО ХОДУ

Відомо, що при виході на постійну швидкість обертання асинхронні двигуни, мають малі для значення відхилення, як по швидкості так і по іншим параметрам [1]. При розгону, або холостому ході, асинхронні машини мають значні перехідні процеси, на разі з вібрацією та шумом. Тому саме дослід холостого ходу потребує вивченню та способу зменшення перехідних процесів.

Під параметрами обертального руху, розуміють наступні величини:

- Швидкість обертання двигуна ($\omega(t)$);
- Прискорення обертання двигуна ($\varepsilon(t)$);
- Електромагнітний момент двигуна ($M_E(t)$);
- Динамічна механічна характеристика двигуна ($M_D(\omega)$).

Для подальшого розуміння, можливостей вимірювання цих параметрів, потрібно визначити, основні показники.

Основний показник, вимірювання кутової швидкості обертання двигуна, являється кут повороту вала. В рухомому об'єкті, як асинхронна машина, кут повороту валу, це функція від часу [1-2]:

$$\varphi = f(t). \quad (1.1)$$

За даним рівнянням, можна визначити положення валу в будь який заданий момент часу t . Відповідно, задавши два положення часу t , та Δt , можна визначити на який кут повернувся вал, через час Δt . Якщо від цього значення взяти диференціал по часу, то можна дізнатись швидкість обертання валу двигуна. Тобто:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt}. \quad (1.2)$$

З фізики відомо, що прискоренням є диференціал по швидкості, тому:

$$\varepsilon(t) = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \quad (1.3)$$

Для вимірювання інших параметрів, потрібно знати такі показники, як електрична напруга, яка подається на двигун, частота мережі, та пасивні параметри двигуна, як опір та індукція статора і ротора.

1.1 Методи виміру кутової швидкості обертання валу асинхронного двигуна в досліді холостого ходу

В електромеханіці поширені методи вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронного двигуна, за допомогою: багатополюсних обертових трансформаторів, фазових перетворювачів, кругових індуктосинів, фотоелектричних перетворювачів, індукційних редуктосинів та інші.

Обертові трансформатори – це мікромашини змінного струму, котрі призначені для вимірювання кута повороту, шляхом перетворення кута повороту на валу асинхронного двигуна в напругу, пропорційну деякій функції (для нашого випадку, використовується функція синусу та косинусу). Проблемою обертових трансформаторів є те, що вони вимагають прямого підключення до валу асинхронного двигуна, що добавляє кінематичні зв'язки, збільшує похибку, та робить самі обертові трансформатори вимогливими по надійності [3].

Також, одна з проблем обертових трансформаторів це його низька роздільна здатність, що робить його не ефективним, та застарілим в використанні.

Індукційні редуктосини, як і кругові індуктосини – є різновидністю обертових трансформаторів, з різною конструкцією. Але проблема

залишилась така сама, тому і використання всіх цих приладів вимірювання залишилась в минулому.

Фазовий перетворювач – це перетворювачі, що перетворюють вхідну величину в фазовий зсув змінної напруги [3]. Цей пристрій дає велику точність, але має складну конструкційну складову, через подвоєний сенсор опорного каналу і синхронний двигун для обертання роторів.

Найкраще з цими всіма проблемами, а саме, перетворенням величин, конструкцією, та підключенням до валу асинхронного двигуна, справляється фотоелектричний перетворювач.

Фотоелектричний перетворювач, як сказано в назві, перетворює світло, в електроенергію (зазвичай в вигляді двійкового коду). Такий перетворювач має найменше проблем з підключенням його до валу, так як не має прямого контакту з валом. Також він має найбільшу роздільну здатність, за рахунок швидкості світла.

Недоліками фотоелектричних перетворювачів є складність в виготовленні перетворювачів. Ця складність підвищується з більшою роздільною здатністю.

1.2 Вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронної машини за допомогою енкодерів

Енкодер – це електромеханічний пристрій, здатний вимірювати кут повороту вала. Так, енкодери поділяються на інкрементні та абсолютні, і можуть бути, як оптичними так і магнітними [4].

На початку свого існування, було розроблено саме оптичний інкрементний енкодер, який має наступний принцип дії. До вала двигуна прикріплюється диск з розміткою, або прорізами, на одній стороні диску стоїть світлодіод, на іншому фототранзистор. Відповідно при проходженні світла через диск, фототранзистор формує імпульсні сигнали, які зчитуються вторинним пристроєм та перетворюються на двійковий код.

Зазвичай такі енкодери, навіть по сьогодні, виготовляють з трьома виходами. Два з них визначають напрям руху і швидкість (канали А і В) [5], за рахунок зсунутої послідовності імпульсів на виходах цих каналів. Якщо говорити про перші моделі, то зсув відбувався на 90 градусів. Третій вихід, або канал, визначає позицію, і позначається як канал Z. Цей канал формує імпульс нульової оцінки на один оберт, що дозволяє корегувати помилки в межах кожного оберту [4-5].

Після цього розвиток енкодерів пішов далі, та було розроблено абсолютний оптичний енкодер. Головна відмінність між інкрементним та абсолютним енкодером, полягає в видозміненому диску на валу двигуна та іншим вторинним пристроєм для зчитування сигналів. За рахунок цього, абсолютні енкодери можуть постійно визначати не тільки швидкість і положення валу двигуна, а ще й вирізняти в яку сторону обертається вал.

Головною проблемою на початку існування оптичних енкодерів, була мала роздільна здатність, z , яка впливає на похибку вимірювання кутової швидкості обертання асинхронних машин, за допомогою оптичного енкодера.

З часом, було розроблено оптичні енкодери, як інкрементні, так і абсолютні, з роздільною здатністю 1000, і більше. На сьогоднішній день, вважається стандартом, якщо оптичний енкодер має роздільну здатність z від 2000 до 3000 мінімум.

Недоліками оптичних енкодерів є:

- При запуску усієї системи, невідомо початкове положення вала двигуна;
- Можливість помилкових значень, за рахунок великої кількості прорізів в диску (за допомогою спеціального алгоритму, можна усунути цей недолік);
- Неможливо визначити напрямок обертання валу (відноситься до інкрементних енкодерів).

Основною перевагою оптичних еncoderів є легкість реалізації та мала вартість пристрою. Також, оптичні еncoderи, поділяються й за можливістю працювати з різними типами даних. Оптичні еncoderи, можуть працювати як з двійковим кодом, на кодї Грея, за допомогою шини даних та інші типи даних. Відповідно, для різних принципів обробки даних, будова дисків, або й всієї конструкції буде відрізнятись.

Магнітні еncoderи, в не залежності від виду, інкрементні, або абсолютні, працюють за рахунок магнітного диску на валу асинхронної машини, вилловлюючи магнітні полюси на цьому диску, та перетворюючи сигнал на двійкових, або, відповідно, на інший, потрібний, тип даних.

Основна перевага магнітного еncoderа – набагато більша роздільна здатність, що значно підвищують точність отриманих результатів. До недоліків, можна віднести, дорогу вартість приладу, та чутливість приладу до електромагнітних імпульсів зовнішньої дії.

1.3 Вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронної машини за допомогою тахогенератора

Тахогенератор – це пристрій для вимірювання швидкості обертання, за допомогою вимірювання кута повороту валу двигуна, та перетворення цієї величини в відповідну електричну напругу [6-7]. Недоліком тахогенератора є наявність в конструкції щіток і колектора, що призводить до зони нечутливості, та відхилення від лінійної залежності.

Тахогенератором являється мікромашина, яка встановлюється на вал асинхронної машини, для визначення кутової швидкості валу, та перетворення даної величини в напругу або частоту.

Конструкція тахогенератора для вимірювання кутової швидкості, саме, асинхронних машин, створена на базі асинхронних машин, з короткозамкнутим ротором. Відмінність між звичайними асинхронними машинами, в тому що, на статорі магнітні потоки мають між собою кут 90

градусів відносно один одного. Всього обмоток дві, одна з них живиться від мережі, та вважається обмоткою збудження, а інша – обмоткою вихідних даних, до якої і потрібно підключати вимірювальні прилади і знімати характеристики.

Принцип дії заснований на збільшенні магнітного потоку, наведеного в роторі при його обертанні [7]. Відповідно, якщо ротор тахогенератора не обертається, то й напруги не буде. А якщо почне обертатись, то електрорушійна сила створиться на обмотці статора, і він буде видавати напругу, яка пропорційна кутовій швидкості обертання валу асинхронного двигуна.

До недоліків тахогенераторів можна віднести:

- Не можливість вимірювати малі кутові швидкості обертання асинхронних машин, через існування зони нечутливості;
- Внесення додаткових електромагнітних моментів навантаження, що привносить додаткову похибку вимірювання цього моменту;
- Підвищення вібрацій, та шумів, що призводить до бистої зноски тахогенераторів.

Якщо говорити про переваги тахогенераторів, то можна сказати, що вони надійні в плані вимірювань, та не потребують додаткового живлення, від деякої окремої мережі.

1.4 Засоби вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронного двигуна в досліді холостого ходу

Засобом вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронного двигуна, або кута повороту, являється тахометр. Відбувається це вимірювання за наступним принципом:

1. Визначення проміжку часу вимірювання Δt .
2. Вимірювання кута повороту $\Delta \varphi$, за проміжок часу Δt .

3. За допомогою математичних операцій за (1.2, 1.3) знаходження вже безпосередньо швидкості обертання, та прискорення.

Відповідно, чим меншим буде проміжок часу вимірювання Δt , тим краще буде результат математичних операцій. Саме тому i є важливим величина роздільної здатності перетворювача.

Тахометри можуть бути побудовані на базі різних елементів, як тахогенератори, частотні фотоелектричні тахометри, волокно-оптичні, магнітоелектричні та електромагнітні. Але, всі ці тахометри потребують обробку даних отриманих з валу двигуна, тому, важливим елементом тахометра, є також його кодування. Також недоліком тахометрів є їхня чутливість, що не дає створити універсальний тахометр, який буде працювати на всіх ділянках роботи асинхронного двигуна.

Частотні тахометри – пристрої які перетворюють швидкість обертання в імпульси, частота котрих пропорційна вимірюваній швидкості. Вони мають велику роздільну здатність, що дає можливість вимірювати більший діапазон швидкостей, ніж тахогенератор. Також частотні тахометри мають високу точність, похибка вимірювання не більше 0,5%.

Слід зазначити, що якщо ми хочемо отримати найкращі показники, то потрібно мати не тільки надійні тахометри, з великою роздільною здатністю, та малою похибкою, а ще й пристрій який буде зчитувати, та обробляти дані, які видає цей самий тахометр. Тобто потрібно мати налаштований та швидкодіючий мікроконтролер, який і буде обробляти всі дані.

1.5 Вимірювання інших параметрів обертання руху асинхронних двигунів в досліді холостого ходу

Вище було визначено як та за допомогою чого можна виміряти показники кутової швидкості, та, відповідно, прискорення обертання валу асинхронного двигуна. Коли мова йде про момент та динамічну

характеристику, вже безпосередньо потрібно знати параметри двигуна, разом з параметрами напруги живлення, від яких і буде залежати електромагнітний момент двигуна.

Тобто, безпосереднє вимірювання даної характеристики не можливе. Тільки апробація даних за заданими параметрами. Тобто, прийняття даних електричної мережі та параметрів асинхронної машини, як сталими. Також слід зазначити, що оскільки, розглядається саме дослід холостого ходу, то статичний момент на валу буде рівним 0 ($M_c = 0$).

Те саме стосується і динамічної характеристики ($M_d(\omega)$). Можлива тільки апробація, та моделювання даної характеристики.

Задля подальшого розбору та розуміння всіх цих характеристик, потрібно створити математичну модель асинхронного двигуна.

1.6 Висновок

Проведено аналіз того, що таке кутова швидкість обертання та як її можна представити. Проведено порівняння методів вимірювання кутової швидкості обертання в цілому, та при досліді холостого ходу. Також, висунуто припущення про деякі параметри двигуна в досліді холостого ходу, та параметри, які потрібно моделювати.

2 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЕРТАННЯ РУХУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В ДОСЛІДІ ХОЛОСТОГО ХОДУ

2.1 Математична модель двигуна

Для подальшого вимірювання параметрів обертання руху асинхронних двигунів, як було вказано вище, потрібно визначитись з параметрами двигуна, та напруги мережі.

Для цього використаємо математичну модель асинхронного двигуна. Математична модель асинхронного двигуна – це система диференційованих рівнянь, рішення яких дасть повні характеристики двигуна [8].

Існує декілька математичних моделей асинхронного двигуна, якщо взяти витoki створення цієї моделі, то в загальному асинхронну машину, представляють в вигляді узагальненого електромеханічного перетворювача енергії, з відповідними значеннями по кожній фазі асинхронної машини.

Так диференціальні рівняння, які описують узагальнену машину, в дійсних, або фазових незмінних координатах, має наступний вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_a^s = i_a^s \cdot r_a^s + \frac{d\psi_a^s}{dt}; \\ u_b^s = i_b^s \cdot r_b^s + \frac{d\psi_b^s}{dt}; \\ -u_a^r = i_a^r \cdot r_a^r + \frac{d\psi_a^r}{dt}; \\ -u_b^r = i_b^r \cdot r_b^r + \frac{d\psi_b^r}{dt}. \end{array} \right. , \quad (2.1)$$

Де в формулі (2.1), потокозчеплення, можна розписати, як:

$$\begin{cases} \psi_a^s = L_a^s \cdot i_a^s + M \cdot (\cos \varphi) \cdot i_a^r + M \cdot (\sin \varphi) \cdot i_b^r; \\ \psi_b^s = L_b^s \cdot i_b^s + M \cdot (\cos \varphi) \cdot i_b^r - M \cdot (\sin \varphi) \cdot i_a^r; \\ \psi_a^r = L_a^r \cdot i_a^r + M \cdot (\cos \varphi) \cdot i_a^s - M \cdot (\sin \varphi) \cdot i_b^s; \\ \psi_b^r = L_b^r \cdot i_b^r + M \cdot (\cos \varphi) \cdot i_b^s + M \cdot (\sin \varphi) \cdot i_a^s. \end{cases}, \quad (2.2)$$

де $u_a^s, u_b^s, u_a^r, u_b^r$ - напруги на обмотках статора і ротора відповідно;

$i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r$ - струми в обмотках статора і ротора відповідно;

$r_a^s, r_b^s, r_a^r, r_b^r$ - активний опір обмоток статора і ротора;

$L_a^s, L_b^s, L_a^r, L_b^r$ - індуктивності обмоток статора і ротора;

M - взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора;

φ - кут між осями обмоток статора і ротора.

Звісно, якщо підставити (2.2) в (2.1), то вийде громіздке рівняння. Тому було запропоновано подати узагальнену модель асинхронної машини, в вигляді умовно не рухомої машини, в обмотках ротора якої вводиться електрорушійна сила обертання. При цьому, всі величини потужностей, як активних так і реактивних, залишаються незмінними.

Для такої умовно не рухомої асинхронної машини, вводять систему координат, в вигляді $\alpha, \beta, 0$. Математична модель з умовності для потокозчеплення буде мати наступний вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} = U_{s\alpha} - i_{s\alpha} \cdot R_{s\alpha}; \\ \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} = U_{s\beta} - i_{s\beta} \cdot R_{s\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} = U_{r\alpha} - i_{r\alpha} \cdot R_{r\alpha} - \omega_r \cdot \psi_{r\beta}; \\ \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} = U_{r\beta} - i_{r\beta} \cdot R_{r\beta} - \omega_r \cdot \psi_{r\alpha}, \end{cases}, \quad (2.3)$$

де $\psi_{s\alpha}, \psi_{s\beta}, \psi_{r\alpha}, \psi_{r\beta}$ - потокозчеплення статора і ротора в координатах $\alpha, \beta, 0$;

$U_{s\alpha}, U_{s\beta}, U_{r\alpha}, U_{r\beta}$ - проєкції напруг на статор і ротор на осі координат $\alpha, \beta, 0$;

$i_{s\alpha}, i_{s\beta}, i_{r\alpha}, i_{r\beta}$ - струми в обмотках статора і ротора;

$R_{s\alpha}, R_{s\beta}, R_{r\alpha}, R_{r\beta}$ - активні опори статора і ротора;

ω_r - кутова швидкість обертання ротора.

Потокозчеплення в (2.3) можна відобразити в вигляді:

$$\begin{cases} \Psi_{s\alpha} = L_{s\alpha} \cdot i_{s\alpha} + L_m \cdot i_{r\alpha}; \\ \Psi_{s\beta} = L_{s\beta} \cdot i_{s\beta} + L_m \cdot i_{r\beta}; \\ \Psi_{r\alpha} = L_{r\alpha} \cdot i_{r\alpha} + L_m \cdot i_{s\alpha}; \\ \Psi_{r\beta} = L_{r\beta} \cdot i_{r\beta} + L_m \cdot i_{s\beta}; \end{cases} \quad (2.4)$$

де $L_{s\alpha}, L_{s\beta}, L_{r\alpha}, L_{r\beta}$ - індуктивності в обмотках статора і ротора;

L_m - взаємна індуктивність в обмотках статора і ротора.

Якщо прийняти допущення, що $L_s = L_{s\alpha} = L_{s\beta}$; $L_r = L_{r\alpha} = L_{r\beta}$;

$R_s = R_{s\alpha} = R_{s\beta}$; $R_r = R_{r\alpha} = R_{r\beta}$ і підставивши в (2.3, 2.4) то отримаємо:

$$\begin{cases} U_{s\alpha} = R_{s\alpha} \cdot i_{s\alpha} + \frac{d}{dt}(L_s \cdot i_{s\alpha}) + \frac{d}{dt}(L_m \cdot i_{r\alpha}); \\ U_{s\beta} = R_{s\beta} \cdot i_{s\beta} + \frac{d}{dt}(L_s \cdot i_{s\beta}) + \frac{d}{dt}(L_m \cdot i_{r\beta}); \\ U_{r\alpha} = R_{r\alpha} \cdot i_{r\alpha} + \frac{d}{dt}(L_r \cdot i_{r\alpha}) + \frac{d}{dt}(L_m \cdot i_{s\alpha}) + \omega_r \cdot (L_r \cdot i_{r\beta} + L_m \cdot i_{s\beta}); \\ U_{r\beta} = R_{r\beta} \cdot i_{r\beta} + \frac{d}{dt}(L_r \cdot i_{r\beta}) + \frac{d}{dt}(L_m \cdot i_{s\beta}) - \omega_r \cdot (L_r \cdot i_{r\alpha} + L_m \cdot i_{s\alpha}), \end{cases} \quad (2.5)$$

Якщо розглянути асинхронну машину, із короткозамкненим ротором, тобто $U_{r\alpha} = U_{r\beta} = 0$, та як систему із зосередженими параметрами, можна зробити наступне перетворення:

$$\begin{cases} U_{s\alpha} = R_s \cdot i_{s\alpha} + L_s \cdot \frac{d}{dt} i_{s\alpha} + L_m \cdot \frac{d}{dt} i_{r\alpha}; \\ U_{s\beta} = R_s \cdot i_{s\beta} + L_s \cdot \frac{d}{dt} i_{s\beta} + L_m \cdot \frac{d}{dt} i_{r\beta}; \\ 0 = R_r \cdot i_{r\alpha} + L_r \cdot \frac{d}{dt} i_{r\alpha} + L_m \cdot \frac{d}{dt} i_{s\alpha} + \omega_r \cdot (L_r \cdot i_{r\beta} + L_m \cdot i_{s\beta}); \\ 0 = R_r \cdot i_{r\beta} + L_r \cdot \frac{d}{dt} i_{r\beta} + L_m \cdot \frac{d}{dt} i_{s\beta} + \omega_r \cdot (L_r \cdot i_{r\alpha} + L_m \cdot i_{s\alpha}), \end{cases}, \quad (2.6)$$

Провівши певні математичні перетворення, можливо записати систему рівнянь (2.6) в матричній формі:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ i_{r\alpha} \\ i_{r\beta} \end{bmatrix} = k \cdot \begin{bmatrix} L_r (U_{s\alpha} - R_s i_{s\alpha}) + L_m (R_r i_{r\alpha} + \omega_r (L_r i_{r\beta} + L_m i_{s\beta})) \\ L_r (U_{s\beta} - R_s i_{s\beta}) + L_m (R_r i_{r\beta} + \omega_r (L_r i_{r\alpha} + L_m i_{s\alpha})) \\ -L_m (U_{s\alpha} - R_s i_{s\alpha}) + L_s (R_r i_{r\alpha} + \omega_r (L_r i_{r\beta} + L_m i_{s\beta})) \\ -L_m (U_{s\beta} - R_s i_{s\beta}) + L_s (R_r i_{r\beta} + \omega_r (L_r i_{r\alpha} + L_m i_{s\alpha})) \end{bmatrix}, \quad (2.7)$$

$$\text{де } k = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2}.$$

Рівняння руху асинхронного двигуна має наступний вигляд:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{P}{J} (M_e - M_0), \quad (2.8)$$

де M_e - електромагнітний момент асинхронного двигуна:

$$M_e = \frac{mp}{2} L_m (i_{s\beta} i_{r\alpha} - i_{s\alpha} i_{r\beta}), \quad (2.9)$$

M_0 - момент опору на валу;

J – момент інерції ротора;

m – кількість фаз;

p – кількість пар полюсів.

Отже, математична модель асинхронного двигуна можна записати в стандартизованому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{s\alpha}(t)}{dt} = k[L_r(U_{s\alpha}(t) - R_s i_{s\alpha}(t)) + L_m(R_r i_{r\alpha}(t) + \omega_r(t)(L_r i_{r\beta}(t) + L_m i_{s\beta}(t)))] \\ \frac{di_{s\beta}(t)}{dt} = k[L_r(U_{s\beta}(t) - R_s i_{s\beta}(t)) + L_m(R_r i_{r\beta}(t) - \omega_r(t)(L_r i_{r\alpha}(t) + L_m i_{s\alpha}(t)))] \\ \frac{di_{r\alpha}(t)}{dt} = k[-L_m(U_{s\alpha}(t) - R_s i_{s\alpha}(t)) - L_s(R_r i_{r\alpha}(t) + \omega_r(t)(L_r i_{r\beta}(t) + L_m i_{s\beta}(t)))] \\ \frac{di_{r\beta}(t)}{dt} = k[-L_m(U_{s\beta}(t) - R_s i_{s\beta}(t)) - L_s(R_r i_{r\beta}(t) - \omega_r(t)(L_r i_{r\alpha}(t) + L_m i_{s\alpha}(t)))] \\ \frac{d\omega_r(t)}{dt} = \frac{p}{J} \cdot (M_e(t) - M_0(\omega_r(t))); \quad k = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2}; \\ M_e(t) = \frac{mp}{2} \cdot L_m(i_{s\beta}(t)i_{r\alpha}(t) - i_{r\beta}(t)i_{s\alpha}(t)), \end{array} \right. \quad (2.10)$$

де $U_{s\alpha}(t) = \sqrt{2}U_m \cos(\omega t)$;

$U_{s\beta}(t) = \sqrt{2}U_m \sin(\omega t)$;

U_m - напруга мережі живлення;

ω - кругова частота мережі живлення.

Розв'язок системи рівнянь (2.10) дозволить знайти потрібні нам характеристики параметрів обертання руху асинхронного двигуна. А саме наступні величини: $\omega(t)$, $M_e(t)$, $M_D(\omega)$.

2.2 Імітаційне моделювання математичної моделі асинхронної машини в досліді холостого ходу

За математичною моделлю (2.10) в програмі Matlab (Simulink), можна побудувати цю модель з блоків та зняти всі необхідні величини, для отримання графіків.

Побудована модель береться на базі асинхронної машини типу 4A71A2У3, та представлена на рисунку 2.1. Для цієї асинхронної машини проводиться дослід холостого ходу, тобто статичний момент на валу рівний 0.

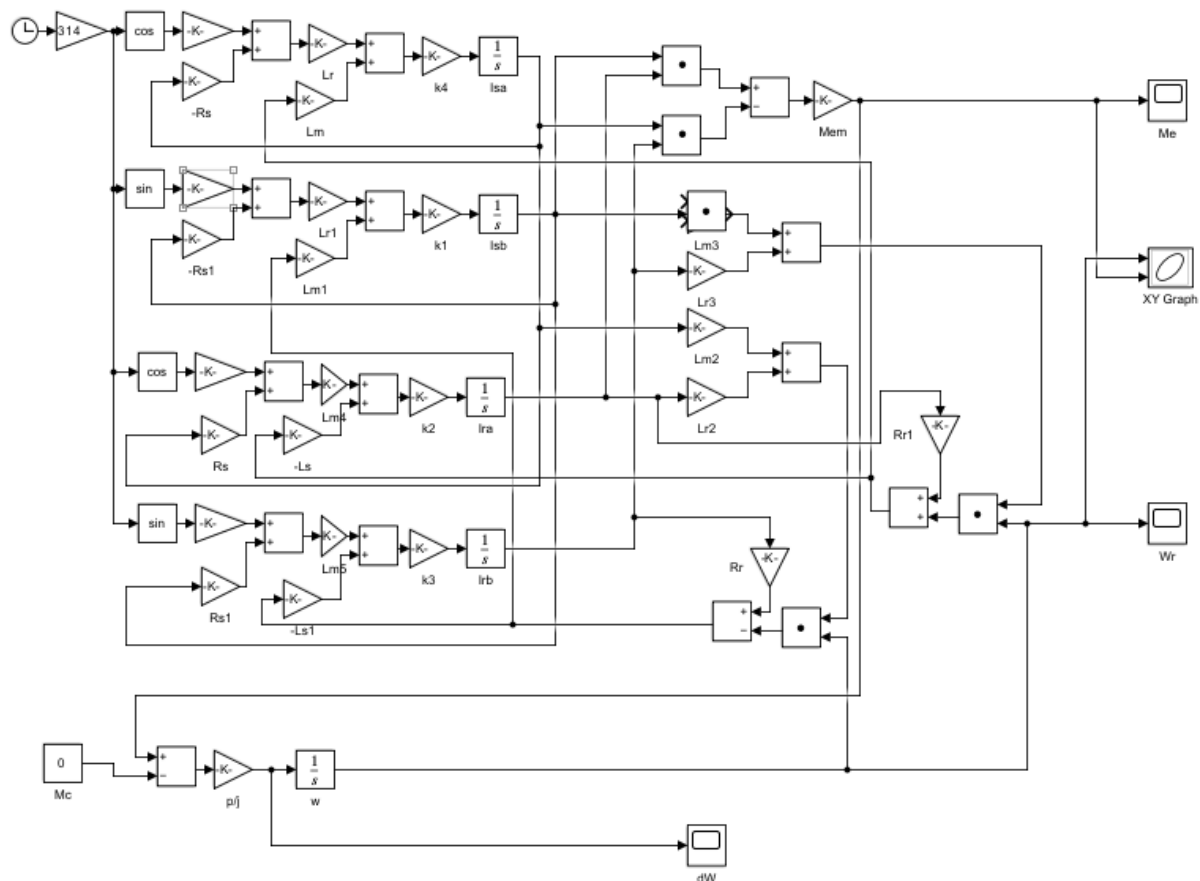


Рисунок 2.1 – Моделювання математичної моделі АД

За даною моделлю, ми знімаємо такі графіки, як $\omega(t)$ $M_e(t)$ $M_D(\omega)$ $\varepsilon(t)$. Графіки залежностей приведені на рисунку 2.2-2.5.

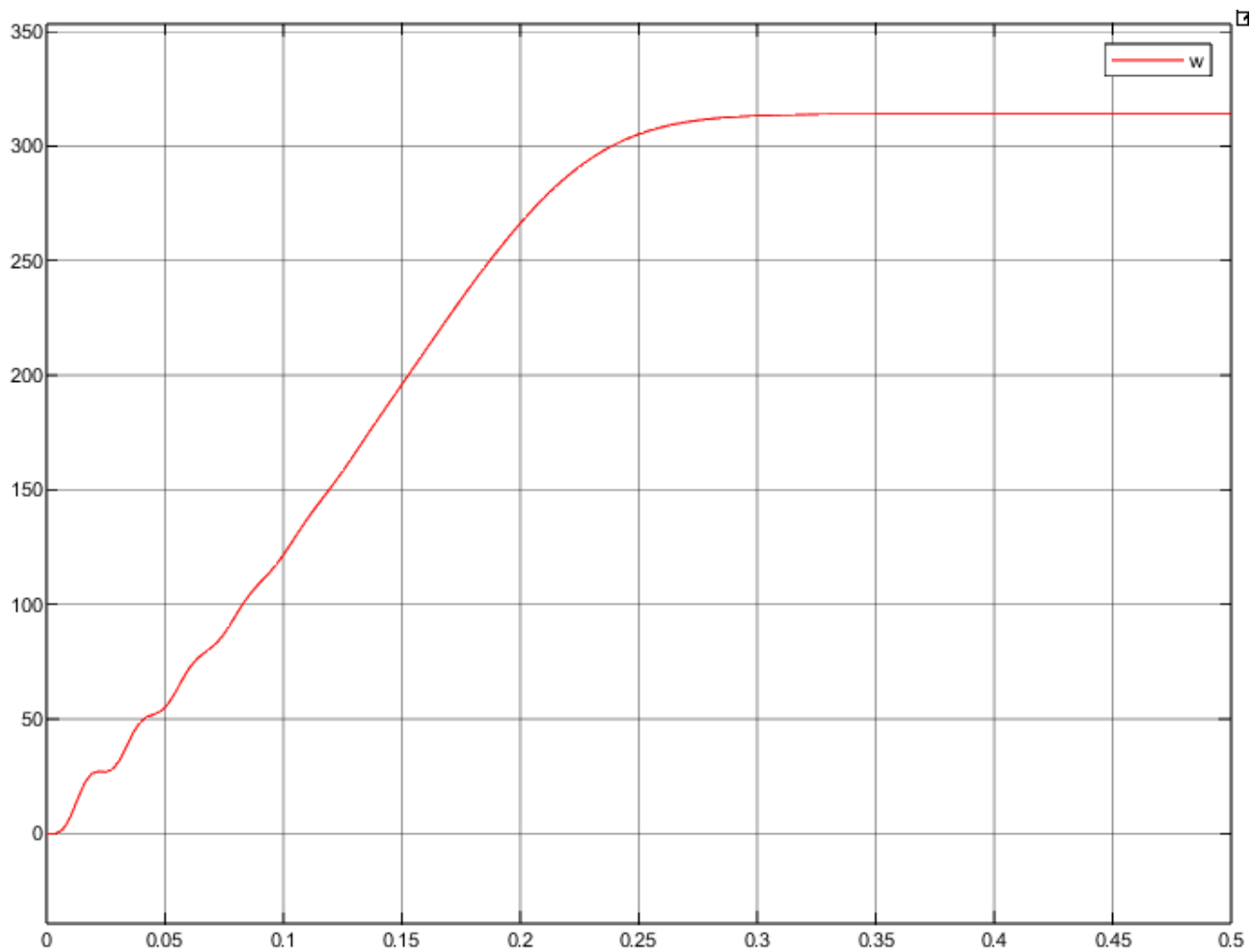
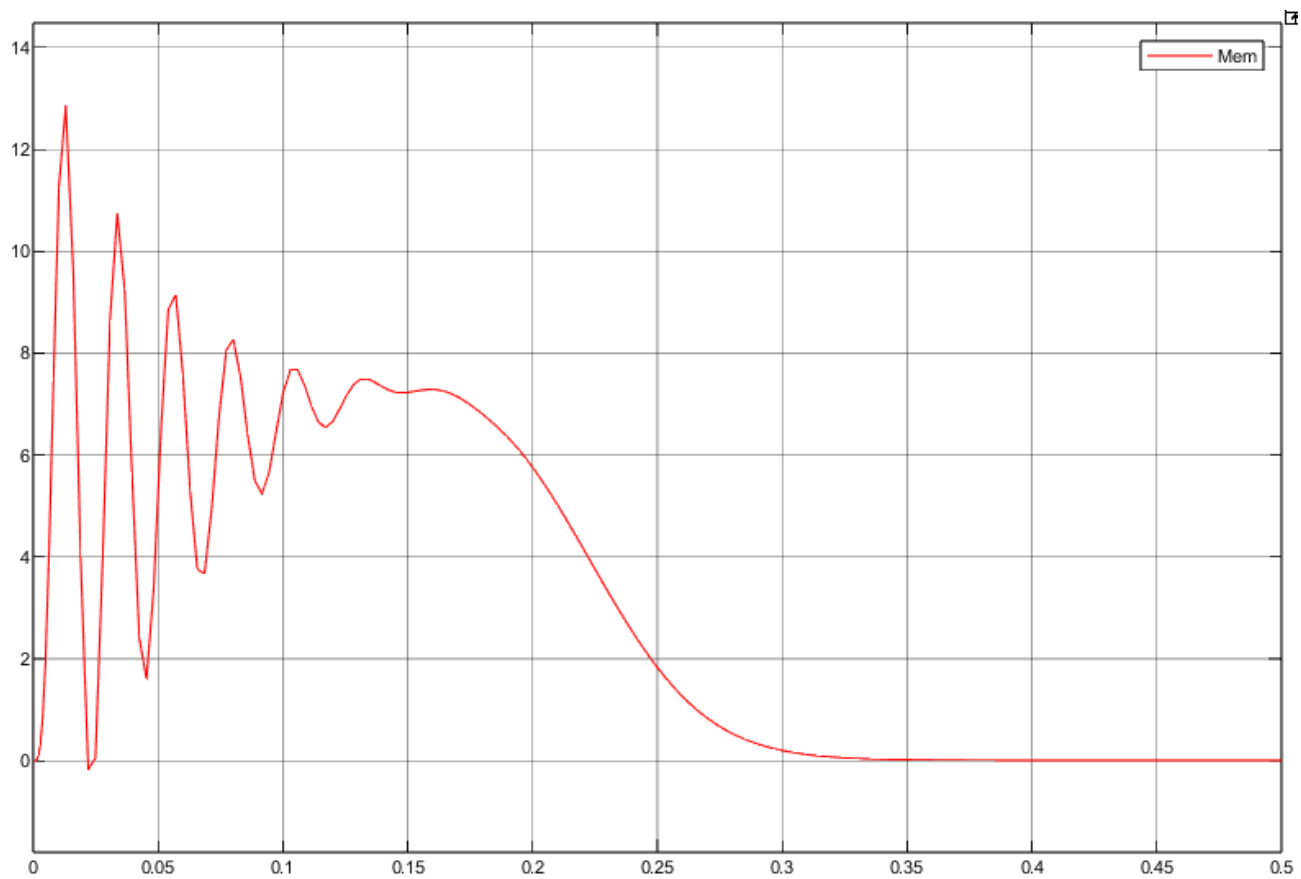
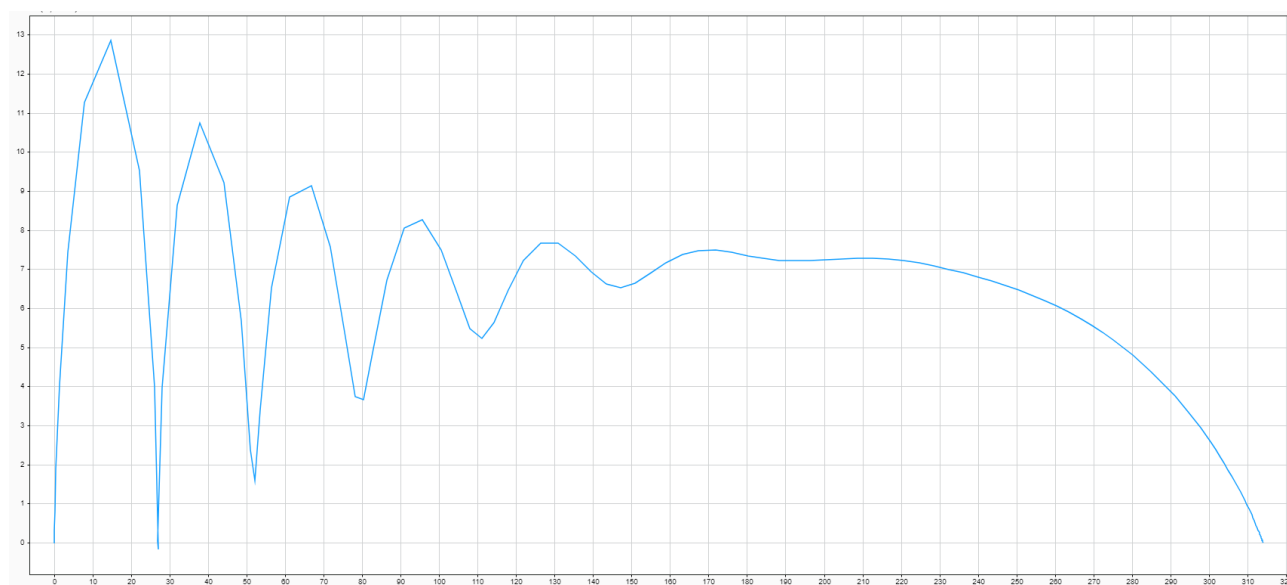


Рисунок 2.2 – Графік швидкості обертання, $\omega(t)$

Рисунок 2.3 – Графік електромагнітного моменту АД, $M_e(t)$ Рисунок 2.4 – Динамічний момент АД, $M_D(\omega)$

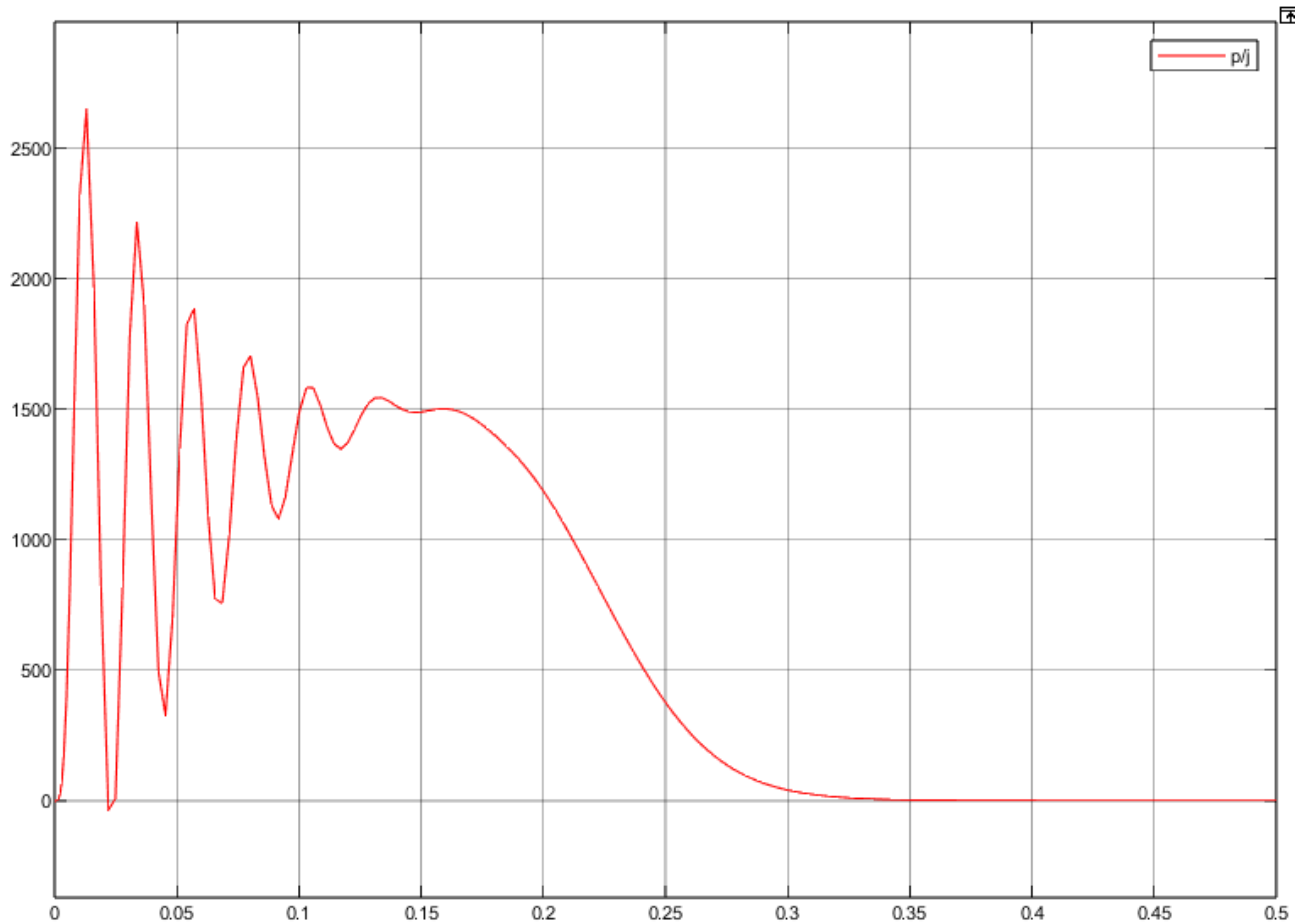


Рисунок 2.5 – Графік прискорення АД, $\varepsilon(t)$

2.3 Висновок

На базі аналізу існуючих математичних моделей асинхронного двигуна, було обрано найбільш оптимальну та повну модель за (2.8). Відповідно дана математична модель, має свої припущення та недоліки, які не дають повноцінної картини про асинхронний двигун та процеси які там відбуваються. Але дана математична модель має й переваги в достатній простоті обчислень та знаходження параметрів. Саме тому математична модель за (2.10) вважається стандартизованою на сьогоднішній день. За допомогою імітаційного моделювання, проведено дослід холостого ходу двигуна типу 4A71A2У3, та знайдено його характеристики.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБЕРТАННЯ РУХУ АСИНХРОННИХ МАШИН В ДОСЛІДІ ХОЛОСТОГО ХОДУ

3.1 Мікроконтролерний засіб вимірювання кутової швидкості

Як вже було сказано вище, при обертанні валу двигуна, кут повороту можна описати, як функцію часу [9-10].

$$\varphi = f(t), \quad (3.1)$$

Відповідно і швидкість обертання вала двигуна буде визначатись як похідна від кута повороту, тобто:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad (3.2)$$

Частота обертання визначається, як число повних обертів, яка здійснює точка при повному русі по колу, за одиницю часу:

$$n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \quad (3.3)$$

Структурна схема роботи мікроконтролерного засобу вимірювання кутової швидкості на валу асинхронного двигуна, за допомогою оптичного енкадера, представлена на рисунку 3.1.

На рисунку 3.1 представлені наступні елементи:

- блок АД – асинхронний двигун;
- блок $\frac{\omega}{f}$ - фотоелектричний сенсор, який перетворює кутову швидкість в задану частоту;
- блок $\frac{f}{N}$ - блок узгодження сигналів, який перетворює частоту в імпульси певної величини;
- MCU – мікроконтролер.

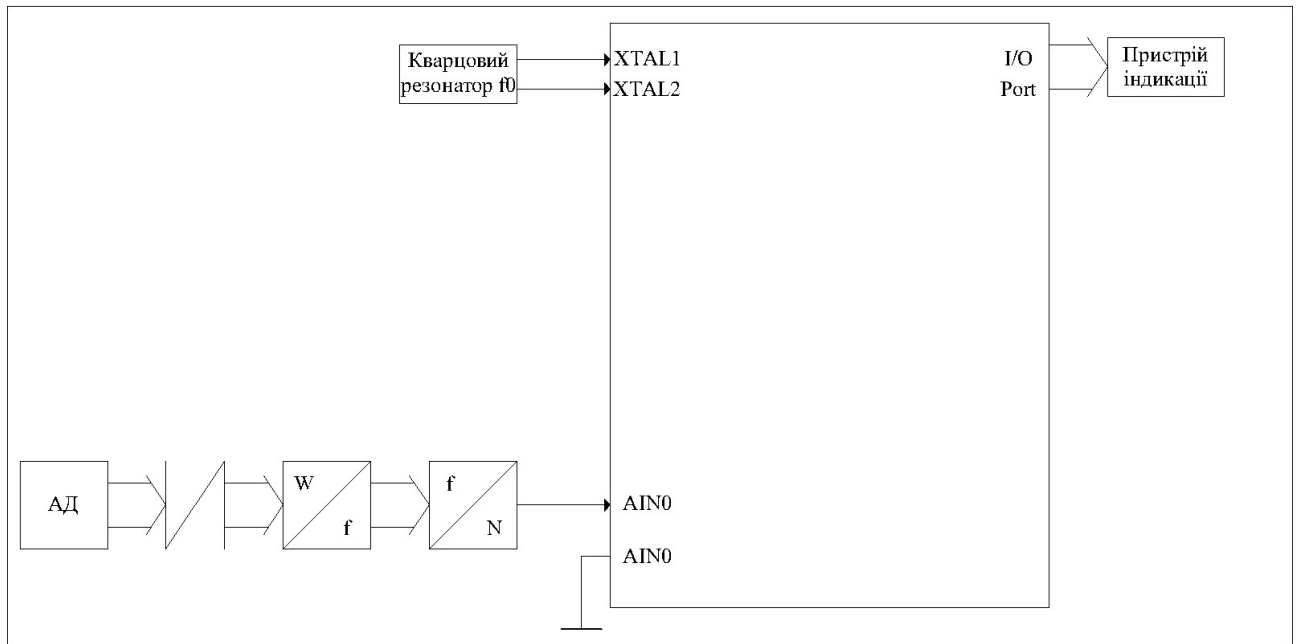


Рисунок 3.1 – Структурна схема мікропроцесорного засобу вимірювання кутової швидкості асинхронних машин

За аналізом методів і способів вимірювання кутової швидкості асинхронної машини, було визначено, що оптимальним є оптичний енкодер. Енкодер перетворивши сигнал на двійковий код, надсилає його на мікроконтролер, де той обробляється, за певним алгоритмом [11].

Задачею стоїть визначення похибки квантування на усьому динамічному проміжку. Можна виділити два можливих параметра похибки квантування: похибка квантування миттєвих значень, похибка квантування середніх значень.

Для визначення миттєвих значень задаються наступним рівнянням перетворення в мікроконтролері:

$$N_{\omega}^M(t) = \frac{2\pi \cdot f_0}{\omega_x(t) \cdot z}, \quad (3.4)$$

де z – роздільна здатність енкодера.

f_0 - частота імпульсів квантування;

Відповідно похибка квантування миттєвих значень, матиме наступний вигляд:

$$\delta_{\omega}^M(t) = \frac{100\%}{N_{\omega}^M(t)} = \frac{\omega_x(t) \cdot z}{2\pi \cdot f_0} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

Для визначення середніх значень, рівняння перетворення в мікроконтролері буде видозмінене, і матиме наступний вигляд:

$$N_{\omega}^c(t) = k \cdot \frac{\omega_x(t) \cdot z}{2\pi \cdot f_0}, \quad (3.6)$$

Похибка квантування для середніх значень матиме наступний вигляд:

$$\delta_{\omega}^c(t) = \frac{100\%}{N_{\omega}^c(t)} = \frac{2\pi \cdot f_0}{\omega_x(t) \cdot z} \cdot \frac{100\%}{k}, \quad (3.7)$$

де k – коефіцієнт подільника частоти у вимірювальному каналі кутової швидкості.

3.2 Створення алгоритму роботи мікропроцесорного засобу вимірювання

Алгоритм роботи мікропроцесорного засобу вимірювання, потрібний для зменшення похибки квантування на усьому діапазоні динамічного вимірювання швидкості кутової швидкості обертання. Зменшення похибки відбувається за рахунок нормування похибки квантування, тобто поєднанні знаходження похибки квантування для миттєвих значень, разом з знаходженням похибки квантування для середніх значень.

Логіка роботи, полягає в наступному: проводити вимірювання кутової швидкості на базі миттєвої похибки квантування, допоки миттєва похибка квантування не стане рівна похибці квантування для середніх значень. Далі переключення на вимірювання кутової швидкості обертання за рахунок визначення середніх значень.

Для знаходження нормованого значення, задамо початковими умовами енодера, тобто параметрами f_0 , z , k , які будуть мати наступні значення:

- $z = 2000$ - роздільна здатність енодера;
- $f_0 = 2$ (МГц) – частота імпульсів квантування;
- $k = 10^6$ - коефіцієнт подільника частоти у вимірювальному каналі кутової швидкості.

Далі, потрібно прирівняти похибку квантування миттєвих значень, з похибкою квантування середніх значень. Тобто:

$$\delta_{\omega}^M(t) = \delta_{\omega}^c(t).$$

Тоді, підставивши наші дані, отримаємо:

$$\frac{\omega_x(t) \cdot z}{2\pi \cdot f_0} = \frac{2\pi \cdot f_0}{\omega_x(t) \cdot z} \cdot \frac{1}{k}.$$

$$\omega_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f_0^2}{z^2 \cdot k}}, \quad (3.8)$$

де ω_k - критична кутова швидкість валу, при якій за алгоритмом, має відбуватись перемикання вимірювання швидкості.

$$\omega_k = \frac{2\pi \cdot 2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{\sqrt{10^6}} = 2\pi$$

Визначивши критичну кутову швидкість, можна створити алгоритм роботи, для заданих параметрів енодера, який представлений на рисунку 3.2.

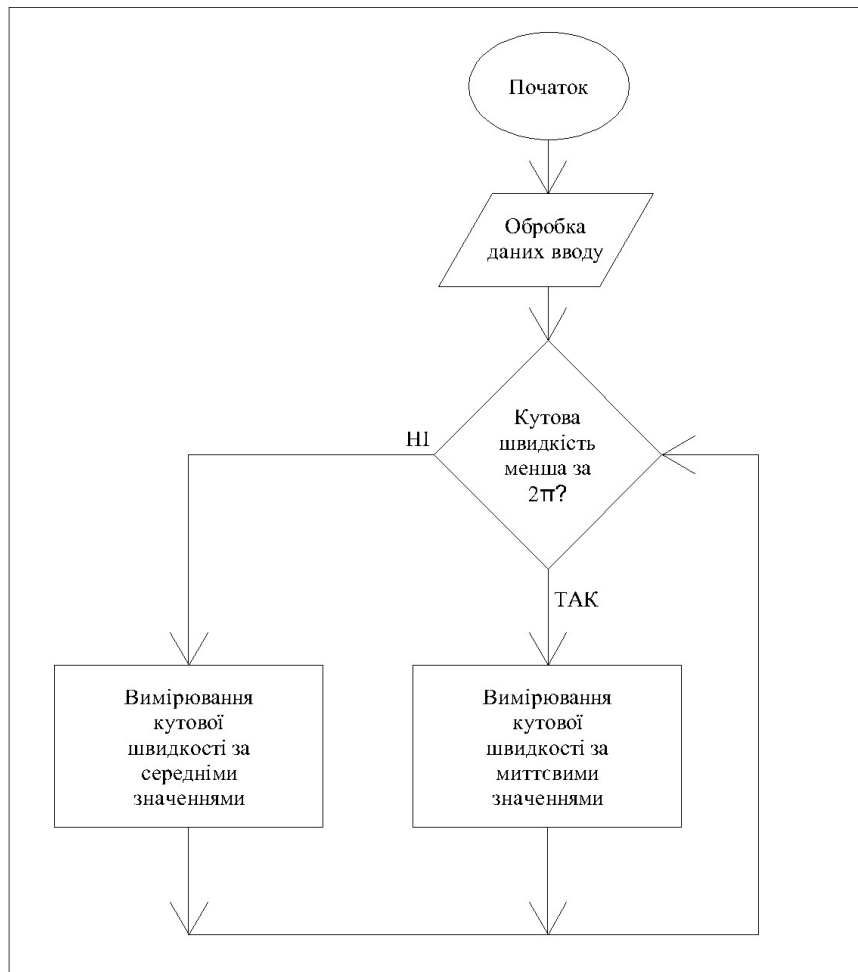


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи мікропроцесорного засобу вимірювання

3.3 Імітаційне моделювання математичної моделі динамічних вимірювань асинхронної машини

За алгоритмом роботи, та за допомогою мікропроцесорних засобів вимірювання, можна знайти похибку квантування для енкодера. Для цього потрібно модифікувати імітаційну модель, представлену раніше.

Модифікована модель в програмі Matlab (Simulink) представлена на рисунку 3.3.

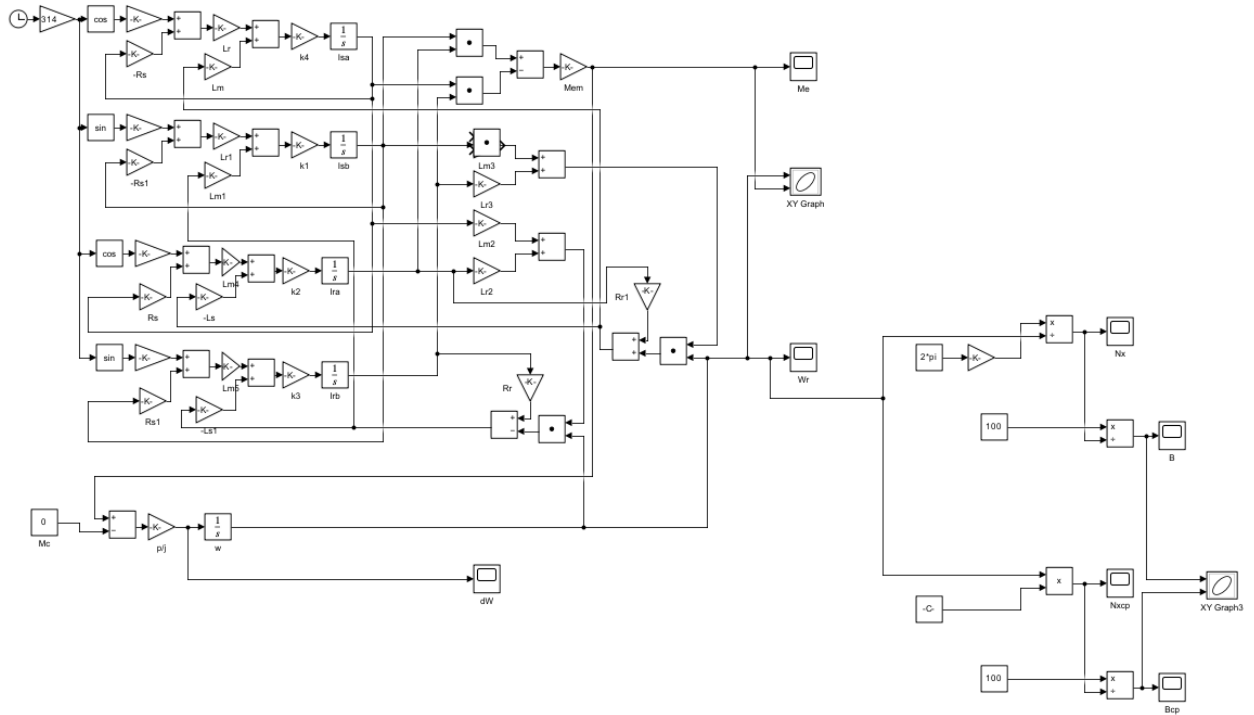


Рисунок 3.3 – Модифікована модель АД, з додаванням енкодера

Графіки похибок квантування миттєвих значень і середніх значень представлені на рисунку 3.4, 3.5.

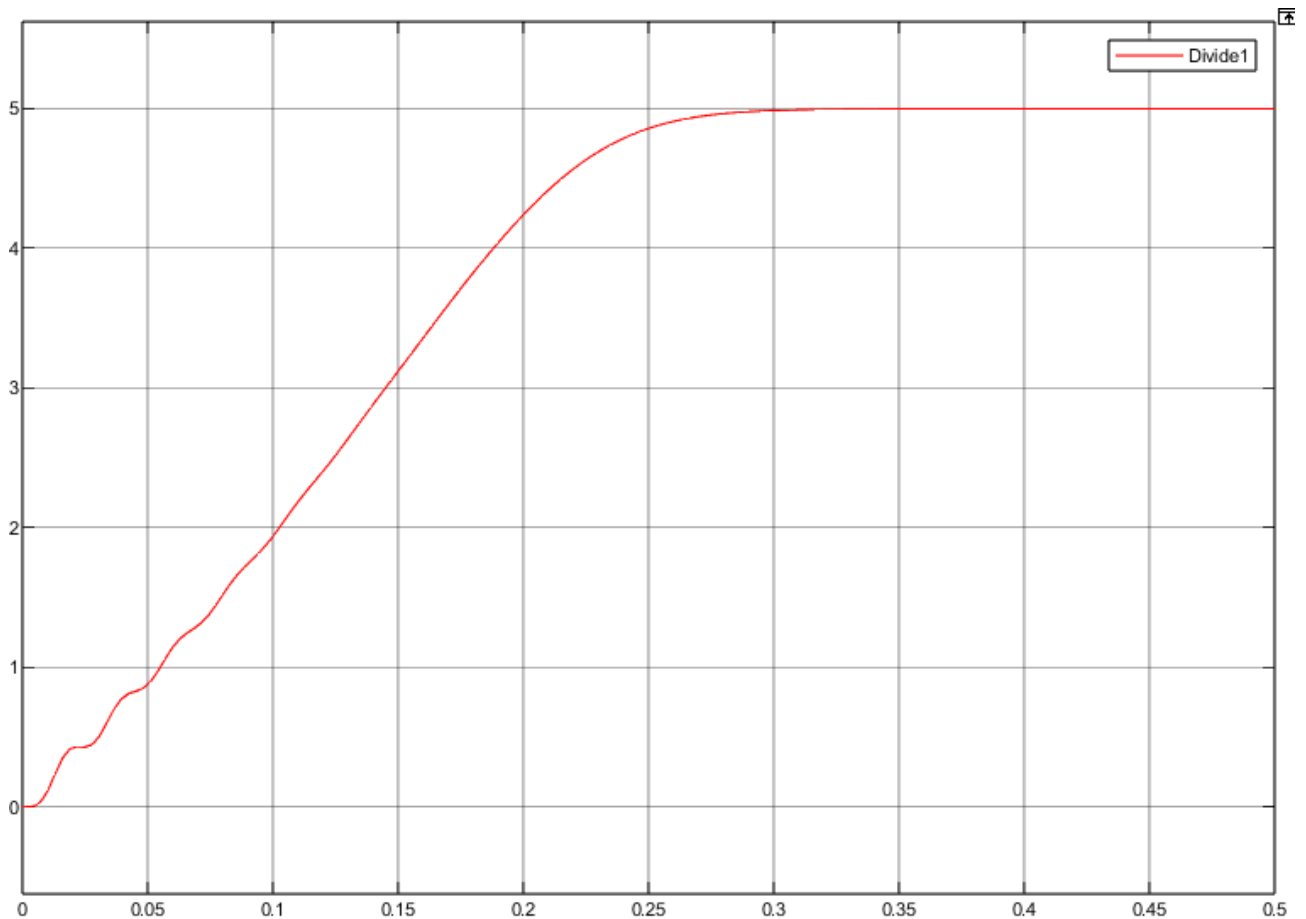


Рисунок 3.4 – Графік похибки квантування миттєвих значень

Порівнявши рисунок 3.4, 3.5, можна дізнатись де саме вони перетинаються, та визначити верхню межу похибки квантування. Нажаль програма Matlab (Simulink) не дає нагоди розглянути по кожній точці, а лише в певній межі точок. Тому на рис. 3.6, 3.7 показано дві точки, найбільш близькі до перетину двох графіків.

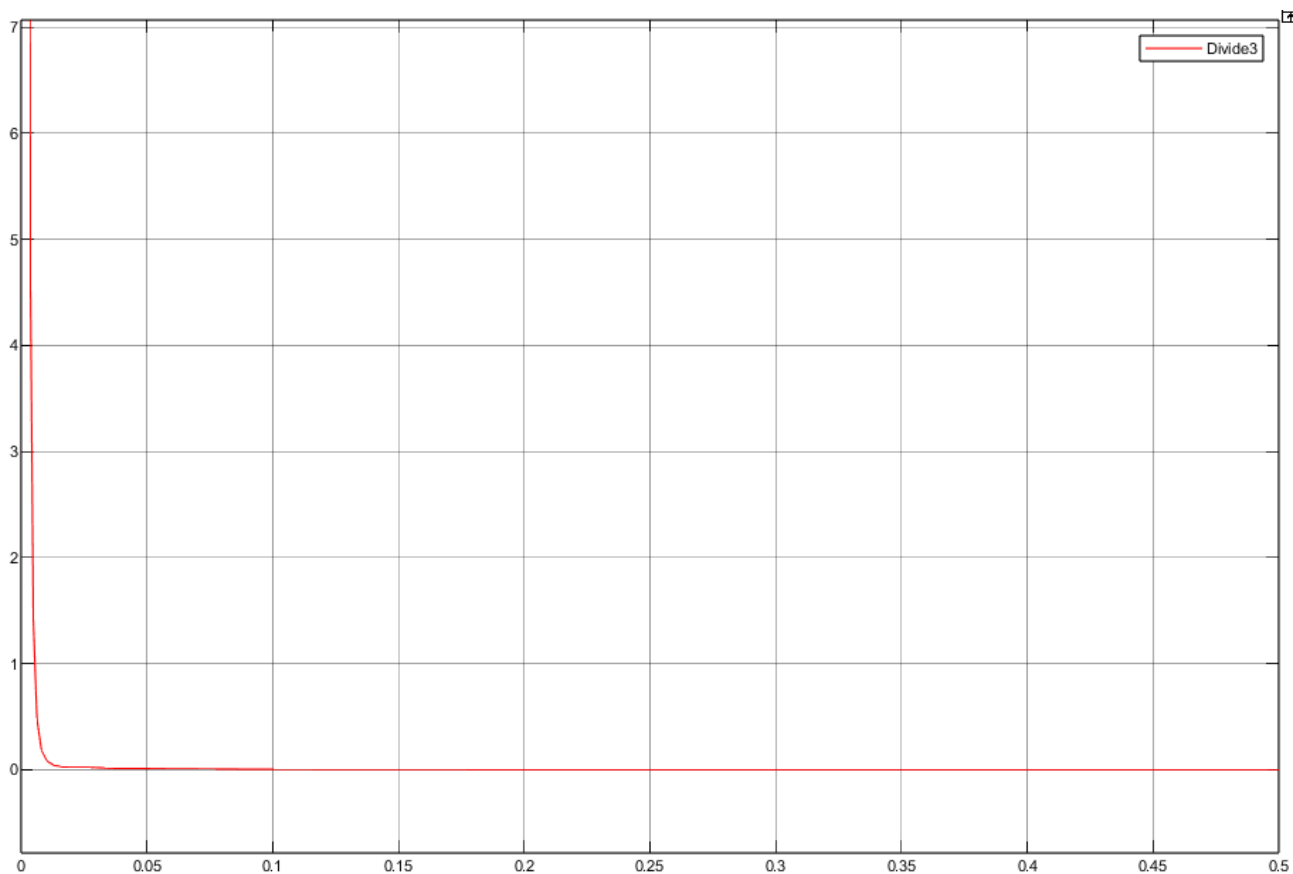


Рисунок 3.5 – Графік похибки квантування середніх значень



Рисунок 3.6 – Графік порівняння похибок квантування після перетину графіків

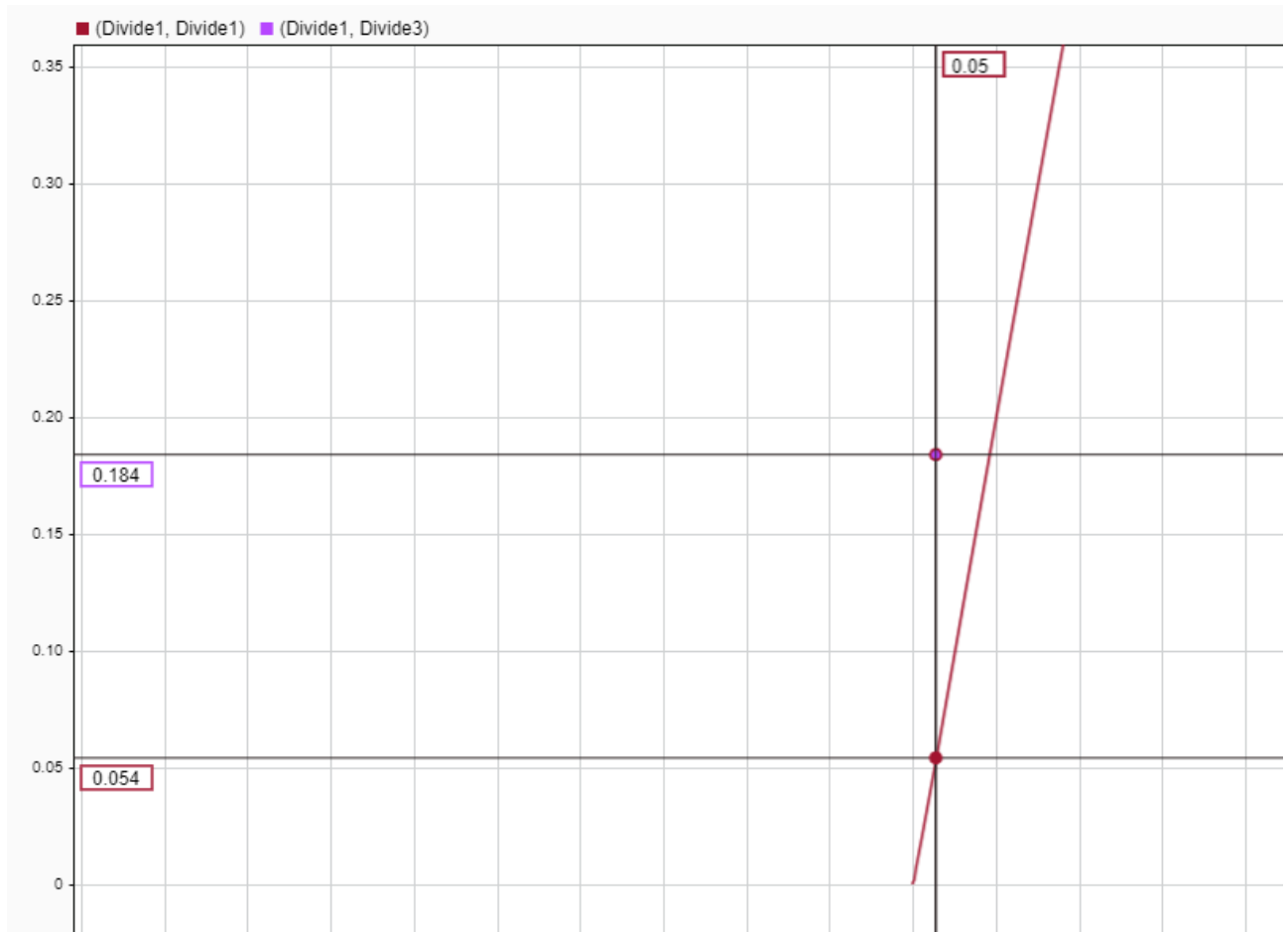


Рисунок 3.7 – Графік порівняння похибок квантування перед перетином графіків

Для визначення нормованої похибки квантування, підставимо значення критичної швидкості, в одних з розрахунків похибки квантування за (3.5):

$$\delta_{\omega}^H = \frac{\omega_k \cdot Z}{2\pi \cdot f_0} \cdot 100\%, \quad (3.9)$$

де δ_{ω}^H - нормована похибка квантування енкодера.

$$\delta_{\omega}^H = \frac{2\pi \cdot 2000}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^6} \cdot 100\% = 0,1(\%)$$

Отже, за алгоритмом роботи, найбільша, або нормована похибка квантування, буде становити 0,1%.

Взявши експоненційну модель кутової швидкості асинхронної машини, можна промоделювати по ній похибку квантування обома методами, та точно вивести залежність, та роботу алгоритму. Експоненційна модель кутової швидкості асинхронної машин, записується наступним чином:

$$\omega_p = \omega_c \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (3.10)$$

де ω_p - швидкість обертання ротора;

τ - квантування часу;

t – час;

ω_c - швидкість обертання статора:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}, \quad (3.11)$$

де f – частота електричної мережі;

p – кількість пар полюсів;

За (3.10), промоделювавши за допомогою програмного середовища Mathcad, отримаємо наступну залежність, представлену на рисунку 3.8.

Далі, за тими самими параметрами, знаходимо похибку квантування миттєвих значень і середніх значень, та будуємо графік перетину цих залежностей за (3.5) та (3.7). Дана залежність представлена на рисунку 3.9.

З рисунку 3.9, видно що нормована похибка квантування буде становити 0,1%, як було встановлено раніше, та час спрацювання цього алгоритму, за експоненційною моделлю кутової швидкості асинхронної машини, становить 2мс.

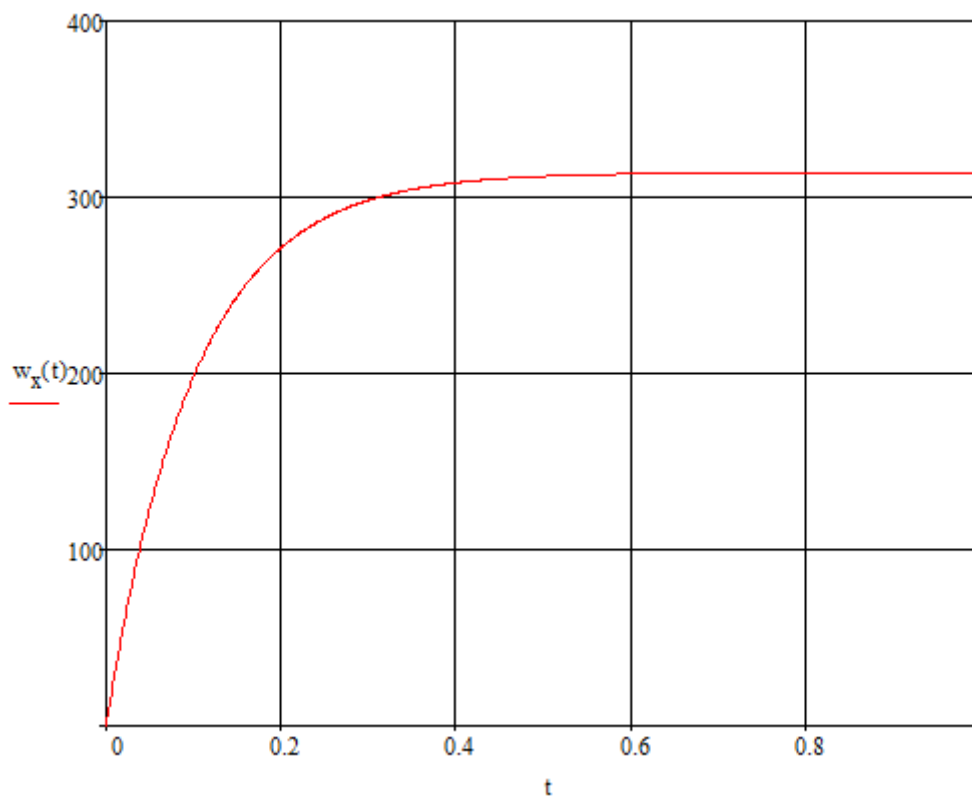


Рисунок 3.8 – Експоненційна модель кутової швидкості асинхронної машини

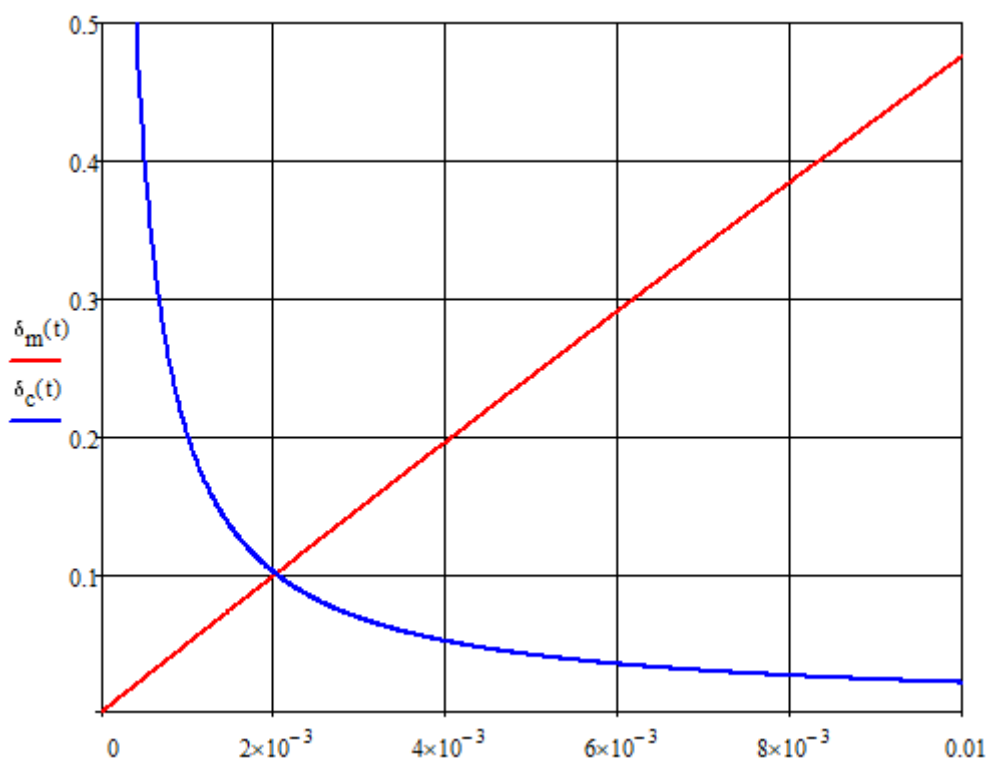


Рисунок 3.9 – Залежність похибки квантування миттєвих та середніх значень для експоненційної моделі кутової швидкості асинхронної машини

3.4 Висновок

Розглянуто принцип дії мікроконтролерного тахометра з енкодером, разом з формулами та параметрами для визначення похибки квантування миттєвих та середніх значень.

Розроблено алгоритм роботи мікропроцесорного засобу вимірювання з енкодером, для нормування похибки квантування вимірювань кутової швидкості обертання асинхронної машини

Проведено імітаційне моделювання, удосконаленої системи динамічних вимірювань з знаходженням похибки квантування, миттєвих значень та середніх значень.

4 ВПЛИВ ЧАСТОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ НА ПОХИБКУ ВИМІРЮВАННЯ

Як відомо, в Україні нормалізують усі значення електричної мережі згідно до ДСТУ 13109-97 [12]. Згідно цього документу, частота в мережі може змінюватись в нормальному діапазоні $\pm 0,2$ (Гц). Також, згідно ДСТУ 13109-97, частота електричної мережі, має граничне допустиме значення $\pm 0,4$ (Гц).

Відповідно, під час зміни частоти електричної мережі, змінюється і потокощеплення електричного поля статора і ротора, що призводить, до зміни швидкості в роторі двигуна. Тобто, іншими словами, зміна частоти електричної мережі, вносить додаткову похибку вимірювання, яку потрібно зменшити, як можна більше.

Для зменшення похибки частоти електричної мережі, її потрібно внести в розрахунок. Для цього частоту потрібно виміряти певну кількість раз, під час перехідного процесу асинхронної машини. Під час вимірювання, нас цікавлять саме миттєві значення частоти електричної мережі.

4.1 Методи вимірювання частоти електричної мережі

4.1.1 Резонансний метод вимірювання частоти

Цей метод вимірювання базується на порівнянні вимірювальної частоти з частотою власних коливань коливальної ланки. Застосовується для вимірювання частот від 100 кГц до 100 ГГц [13].

Для шкали до 200 МГц, застосовується LC і RC контури. Якщо брати величини більші за 200 МГц, то потрібно, застосувати контури з розподіленими резонаторами [13]. Похибка вимірювання становить 0,01%.

4.1.2 Цифровий метод вимірювання частоти

Цифровий метод вимірювання, базується на підрахунку числа періодів вимірюваної невідомої частоти за точно відомий проміжок часу [14].

Для вимірювання використовують кварцовий генератор високої частоти. Звичайно при вимірювання нам не потрібна велика частота кварцового генератора, але саме кварцові генератори високої частоти забезпечують високу точність приладу.

Завдяки цифрового частотоміру можна виміряти частоту з більшою точністю між частотоміри на інших базах. Так цифровий частотомір, має похибку вимірювання, що не перевищує 0,01%. Цю похибку вимірювання, можна зменшити, збільшуючи стабільність кварцового генератора, та збільшуючи час вимірювання [14].

4.1.3 Вимірювання частоти методом заряду і розряду конденсатора

Для вимірювання частоти за допомогою цього методу, полягає у вимірювальному струмі розряду I конденсатора, який періодично заряджається в такт із вимірювальною частотою [15].

Пристрій складається з перемикача, який має перемикатись в такт частоті вимірювання, конденсатора, та мікроамперметра. Конденсаторні частотоміри, застосовуються для вимірювання частот 10-500 Гц, з похибкою вимірювання до 2%.

4.1.4 Мостовий метод вимірювання частоти

Цей метод оснований на використанні частотно залежних мостів змінного струму, які живляться напругою вимірюваної частоти [16].

Мостовий метод, застосовують для вимірювання частоти в межах 20 Гц до 20 кГц. Похибка вимірювання при цьому, становить 0,5 – 1 %. Але

якщо буде присутність несинусоїдальності напруги, пов'язана з збільшенням впливу гармонік, то це призведе, до незрівноваженості мостів, що в свою чергу призведе до збільшення похибки вимірювання.

4.1.5 Вимірювання частоти за допомогою осцилографа

Частоту за допомогою осцилографа, можна виміряти, якщо вручну, візуально, підраховувати кількість повних коливань за одиницю часу [17]. Якщо, розглядати цифровий осцилограф, то йде автоматичний підрахунок цих коливань за одиницю часу. Але це дає тільки середні значення частоти, коли нам потрібно вимірювати саме миттєві значення частоти.

4.2 Вплив відхилення частоти електричної мережі на похибку вимірювання

Відповідно, при зміні частоти в нормальному діапазоні, показник частоти діє на вимірювальні прилади, шляхом погіршення результатів та внесення додаткової похибки вимірювання [18]. Так, наприклад, якщо взяти експоненційну модель швидкості асинхронного двигуна:

$$\omega_p = \omega_c \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (6.1)$$

де ω_p - швидкість обертання ротора;

τ - квантування часу;

t – час;

ω_c - швидкість обертання статора:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}, \quad (6.2)$$

де f – частота електричної мережі;

p – кількість пар полюсів;

За (6.1), (6.2), видно, що при відхиленні частоти електричної мережі буде змінюватись і швидкість обертання ротора. Відповідно до цього, похибка швидкості обертання, створена за рахунок відхилення частоти електричної мережі, буде накопичуватись далі, при обчисленні похибки квантування, та виявлені максимальної похибки квантування, методом середньої і миттєвої похибки квантування.

Звісно, що, якщо взяти реальну модель швидкості обертання асинхронного двигуна, то похибка в квантуванні цієї швидкості, буде навіть більшою, ніж при експоненційній моделі.

Адже, в математичній моделі асинхронного двигуна за (2.8), враховується не тільки швидкість ротора, а й індукції обмоток статора, ротора та взаємодія між статором і ротором. На всі ці величини, впливає частота електричної мережі. Тому, при відхиленні частоти мережі, похибка буде виділятися, у всіх цих значеннях.

Так, при обчисленнях, похибка квантування, за рахунок відхилення частоти електричної мережі, в нормальному діапазоні $\pm 0,2$ Гц, похибка квантування, може сягати до 60% [19].

4.3 Способи покращення системи вимірювання в моделі з відхиленням частоти електричної мережі

Для покращення вимірювання, з урахуванням відхилень частоти електричної мережі, можна прийняти декілька методів:

- Встановлення стабілізатора мережі;
- Вимірювання миттєвих значень частоти електричної мережі;
- Модифікація програмного забезпечення мікроконтролера, яка буде враховувати відхилення частоти електричної мережі.

При встановленні стабілізатора мережі, на виході стабілізатор, буде підтримувати відповідну частоту мережі, в 50 Гц. Тобто, при такому методі, відхилення та похибка на базі відхилення частоти електричної

мережі, можна знехтувати. Проблема та недолік, цього методу, полягає в тому, що не завжди можливе встановлення стабілізатора мережі, до того ж, стабілізатор мережі – це додатковий компонент системи, що буде погіршувати ефективність усієї системи в цілому. За рахунок цього, можливі додаткові відхилення, при експериментальному аналізі вимірювання швидкості.

За допомогою вимірювання миттєвих значень частоти електричної мережі, можна зменшити похибку, яка створюється за рахунок відхилень частоти електричної мережі, в корінь квадратний з кількості разів вимірювань частоти електричної мережі. Цим методом, ми зменшуємо систематичну похибку, яка впливає на вимірювання похибки квантування та, відповідно, на максимальну похибку квантування. При цьому, достатньо проводити замір частоти електричної мережі, від 50 до 100 значень, за перехідний процес асинхронного двигуна [20].

Вимірювання миттєвих значень частоти електричної мережі, проводиться за допомогою частотоміра. Значення частотоміра миттєвих значень, заносяться в мікроконтролер, де ці значення враховуються, при обчисленні похибки квантування.

Модифікація програмного забезпечення, з урахуванням відхилень частоти електричної мережі, може, як покращити результати, так і погіршити їх. Пов'язано це, з тим, що відхилення частоти електричної мережі є хаотичними, через що, не можливо достовірно сказати, про те, буде вона відхилятися, чи ні.

Тобто, якщо модифікувати програмне забезпечення мікроконтролера на наявність постійного відхилення електричної мережі, то результат буде, відповідно, не таким точним, як при методі вимірювання частоти миттєвих значень за допомогою частотоміра.

4.4 Висновок

При розгляданні частоти електричної мережі, не як ідеального, не змінного значення, а як змінну величину в певному діапазоні, постало питання, про вплив частоти на результати вимірювань.

Для визначення частоти електричної мережі, потрібно її виміряти деяким методом. Найкращий метод вимірювання частоти – мікропроцесорний метод вимірювання частоти електричної мережі.

При зміні частоти в нормальному діапазоні $\pm 0,2$ Гц, вплив на вимірювання швидкості обертання, є суттєвим. Це впливає, з впливу частоти на багато змінних в математичній моделі асинхронного двигуна (2.8). Похибка квантування при відхиленні частоти електричної мережі може становити до 60%.

Поставлене питання, про зменшення впливу відхилень частоти електричної мережі. За допомогою розглянутих методів зменшення впливу, найкращим, з яких є саме вимірювання миттєвих значень частоти електричної мережі, частотоміром та, відповідно, зменшенням систематичної похибки, дозволить, зменшити похибку вимірювання, яка пов'язана з відхиленням частоти.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

5.1 Технічне обґрунтування вибору двигуна

При проведенні дослідів холостого ходу та, відповідно, дослідженні перехідних режимів його роботи, в асинхронних машинах, не використовується ніяка система керування. Тобто, дослідження проводиться тільки на пускових характеристиках без навантаження.

Тому, при виборі двигуна, мова про систему керування йти не може, так само як і про самий двигун. Дослід проводиться саме на асинхронних машинах, тому використовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (АД-КЗ).

Якщо говорити про тип двигуна, то досліджуваний двигун має в собі синхронну швидкість обертання в 3000 об/хв., та має тип 4А71А2У3.

5.2 Техніко-економічний розрахунок вибраного двигуна

Розрахуємо техніко-економічні показники вибраного двигуна.

Загальні витрати визначаються за формулою:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (5.1)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності (приймається $E_n = 0,17$ 1/рік для усіх галузей промисловості);

K – капітальні затрати, грн;

C – загальні відрахування, грн/рік.

Капітальні затрати, визначаються, як сума двигуна та системи керування:

$$K = D + СК, \quad (5.2)$$

де D – ціна на двигун ($D = 3000$ грн);

$СК$ – ціна на систему керування ($СК=0$ грн).

$$K = D = 3000$$

Загальні відрахування – це сума усіх відрахувань, які складаються з наступних частин:

$$C = C_A + C_p + C_D + C_o, \quad (5.3)$$

де C_A - відрахування на амортизацію, грн/рік;

C_p - відрахування на ремонт, грн/рік;

C_D - додаткові відрахування, грн/рік;

C_o - відрахування на обслуговування, грн/рік.

Відрахування на амортизацію, визначаються, як частка від капітальних затрат. Береться в середньому 10%, від капітальних витрат:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (5.4)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 3000 = 300 \text{ (грн/рік)}.$$

Ремонт, та відрахування на цю справу, приймають, також, як частку від капітальних затрат. Беруть 2% від капітальних затрат для відрахувань на ремонт:

$$C_p = 0,02 \cdot K, \quad (5.5)$$

$$C_p = 0,02 \cdot 3000 = 60 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, включають в себе витрати на електроенергію, та перехідні режими роботи двигуна:

$$C_D = C_{D1} + C_{D2}, \quad (5.6)$$

де C_{D1} - витрати електроенергії на двигун за рік:

$$C_{D1} = \Delta W_D \cdot c, \quad (5.7)$$

ΔW_D - кількість втраченої електроенергії в двигуні за рік;

c – вартість електроенергії для промисловості, одного кіловату потужності за годину (для лабораторії: $c = 2,64$ грн/кВт · год).

$$\Delta W_{\text{Д}} = (\Delta P_{\text{НОМ}} + \Delta P_{\text{пер}}) \cdot K_3 \cdot \Phi, \quad (5.8)$$

де $\Delta P_{\text{НОМ}}$ - втрати потужності двигуна, при номінальному режимі роботи двигуна, кВт;

$\Delta P_{\text{пер}}$ - втрати потужності двигуна, при перехідних режимах роботи двигуна, кВт;

K_3 - коефіцієнт завантаження по потужності (приймається рівним 0.8);

Φ - дійсний фонд часу роботи системи електропривода за рік.

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}}, \quad (5.9)$$

де $P_{\text{НОМ}}$ - номінальна потужність вибраного двигуна ($P_{\text{НОМ}} = 0,75$ кВт);

$\eta_{\text{НОМ}}$ - номінальний коефіцієнт корисної дії ($\eta_{\text{НОМ}} = 0,77$)

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 0,75 \cdot \frac{1 - 0,77}{0,77} = 0,224 \text{ (кВт)}.$$

Витрати двигуна на перехідні процеси, приймають за стандартами, як 10% від витрат при номінальному режимі роботи двигуна:

$$\Delta P_{\text{пер}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{НОМ}}, \quad (5.10)$$

$$\Delta P_{\text{пер}} = 0,1 \cdot 0,224 = 0,0224 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи системи електропривода, визначається за наступною формулою:

$$\Phi = \frac{\text{ТВ}\%}{100\%} \cdot Z_{\text{рд}} \cdot Z_{\text{рз}} \cdot t_{\text{рз}}, \quad (5.11)$$

де ТВ% - тривалість ввімкнення електродвигуна (береться за стандартним рядом 40%);

$Z_{\text{рд}}$ - кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{рд}} = 250$);

$Z_{\text{рз}}$ - кількість робочих змін ($Z_{\text{рз}} = 1$);

$t_{\text{рз}}$ - тривалість робочої зміни ($t_{\text{рз}} = 8$ год).

$$\Phi = \frac{40}{100\%} \cdot 250 \cdot 1 \cdot 8 = 800 \text{ (год)}.$$

$$\Delta W_D = (0,224 + 0,0224) \cdot 0,8 \cdot 800 = 157,714 \text{ (кВт)}.$$

$$C_{D1} = 157,714 \cdot 2,64 = 416,365 \text{ (грн/рік)}.$$

C_{D2} - втрати в системі керування (оскільки системи керування немає, то приймається рівним 0):

$$C_D = 416,365 + 0 = 416,365 \text{ (грн/рік)}.$$

Обслуговування є важливою частиною в циклі роботи кожного електричного апарату. Відрахування на обслуговування, зазвичай виділяють, з суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових відрахувань, в вигляді 5% від суми:

$$C_o = 0,05 \cdot (C_A + C_D + C_p), \quad (5.12)$$

$$C_o = 0,05 \cdot (300 + 416,365 + 60) = 38,82 \text{ (грн/рік)}.$$

З усього цього, можна підрахувати загальні відрахування за формулою (5.3):

$$C = 300 + 416,365 + 60 + 38,82 = 815,184 \text{ (грн/рік)}.$$

Та відповідно, загальні витрати будуть становити, по (5.1):

$$Z = 0,17 \cdot 3000 + 815,184 = 1325,184 \text{ (грн/рік)}.$$

5.3 Висновок

За техніко-економічним обрахунком, обґрунтовано вибір асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, типу 4А71А2У3, та обраховано загальні витрати на нього, разом з вартістю самого двигуна.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці та цивільного захисту під час дослідження перехідних режимів роботи асинхронних машин в досліді холостого ходу. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний персонал, що виконує дослідження визначені за Гігієнічною класифікацією [21, 22].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо). Хімічні фактори: речовини хімічного походження, в основному аерозолі фіброгенної дії (органічний пил). Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

6.1 Технічні рішення з безпеки експлуатації об'єкта

6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення системи електропостачання та системи освітлення виробничого приміщення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму, відповідно до ПБЕ [24, 25], залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами в різних приміщеннях підприємства, їх можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії: зі зняттям напруги; без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них; без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші – групу III.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмопровідних частин на відстань, меншу від допустимих, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах чи поблизу від них необхідно: обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, що перебувають під напругою, і до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричному взутті чи стоячи на ізолювальній підставці або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент із ізолювальними руків'ями (у викруток, крім того, має бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні частини засобів захисту за руків'я до обмежувального кільця; розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям. В разі виявленні порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту, користування ними забороняється.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів. Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

В електроустановках забороняється працювати у зігнутому стані, якщо в разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде меншою від допустимих. В процесі виконання робіт біля необгороджених струмопровідних частин забороняється розташовуватися таким чином, щоб ці частини знаходилися позаду чи з двох боків.

Роботу із застосуванням драбин виконують два працівники, один з яких перебуває знизу. Стоячи на ящиках та інших сторонніх предметах виконувати роботи забороняється.

Роботи на кінцевих опорах ПЛ, що перебувають на території відкритих розподільчих пристроїв (ВРП), слід виконувати за правилами роботи на ВРП. Ремонтні працівники ліній перед тим, як зайти у ВРП, повинні бути проінструктовані і заходити до місця робіт у супроводі оперативного працівника з групою ІІІ; виходити з ВРПУ після закінчення

роботи чи під час перерви працівникам дозволяється під наглядом керівника робіт.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами, - приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

6.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [24, 25]: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, потрібно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги; електрозахисні засоби захисту (до 1000В) поділяються на основні (ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками) та допоміжні (діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки).

6.2 Технічні рішення з гігієни і виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [6] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 6.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [27]: температури внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони та зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні параметрів мікроклімату не повинні значно відрізнятися (не більше ніж на 2°C за діапазон норм); якщо температура поверхонь вище або нижче температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1м; для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

6.2.2 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [28] розряд зорової роботи IV, підрозряд «б». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 6.2.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 6.2 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	б	малий	світлий	500	200	4	2,4

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

6.2.3 Виробничий шум

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [29]. Нормовані значення виробничого шуму наведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

6.2.4 Виробнича вібрація

У нашому виробничому приміщенні присутня вібрація типу – За [30]. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються вентиляційне обладнання, транспортери, транспорт тощо, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	ДБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

6.2.5 Фактори трудового процесу

Робота електротехнічного персоналу є достатньо складною і потребує різних навичок та характеристик працюючого, тому і впливи від робіт різні і визначаються за Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [21].

Важкість праці визначається за дод. 15 [21], звідки видно, що даний вид робіт за показниками важкості умов праці характеризується як допустимі умови праці.

- енергозатрати організму: при регіональному навантаженні (з переважною участю м'язів рук та плечового суглоба) – до 7800;
- загальні енергозатрати організму, Вт – до 290;
- робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної);
- нахили тулуба (вимушені, більше 30°), кількість за зміну: 51-100;

Напруженість праці визначається за дод. 16 [21], робота відноситься до інтелектуальної, і має наступні характеристики:

- зміст роботи: відсутня необхідність прийняття рішення;
- сенсорні навантаження : 51-75;
- розмір об'єкта розрізнення (при відстані від очей працюючого до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), мм, % часу зміни: 5,0-1,1 мм більше 50% часу;
- тривалість робочого дня, год. – 8 годин;
- змінність роботи - однозмінна робота (без нічної зміни).

Дані характеристики вказуються на те, що за напруженістю робота інженера-проектувальника (цивільне будівництво), який здійснює чисельне моделювання перерозподілу зусиль між елементами кущового пального фундаменту в залежності від кількості паль відноситься до другого класу з допустимими умовами напруженості праці (напруженість праці середнього ступеня).

6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи мікропроцесорних засобів вимірювання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Використання ЕМІ гостро поставлене в питанні військових дій на території України, в даний час. Електромагнітний імпульс (ЕМІ) – це гуманна техногенна зброя, напрямлена на знищення апаратури, в якій протікає струм, за рахунок електромагнітного імпульсу сильної напруженості та високої частоти.

Інший загрозливий чинник, який є найбільш вірогідним – це іонізоване випромінювання. Іонізоване випромінювання, може бути 3 видів: альфа частинки, бета частинки, та гамма випромінювання. Альфа частинки – найбільш небезпечне випромінювання, але разом з тим найбільш короточасне по дії. Бета випромінювання – це заряджені електрони, які несуть в собі радіоактивний заряд, та становлять загрозу, як

для людей так і для обладнання. Ці випромінювання, мають більший час існування, ніж альфа частинки, але разом з тим менш діючі в плані радіації.

Гамма випромінювання – електромагнітне випромінювання, яке має найвищу енергію та довжину хвилі, що робить їхню проникність саму більшу та разом з цим менш небезпечним, ніж бета випромінювання. Але через високу проникність, гамма випромінювання вважаються самим шкідливим радіоактивним чинником.

Гамма випромінювання, являється самим небезпечним в умовах військових дій на теренах України. Тому потрібно визначити стійкість роботи мікропроцесорних засобів вимірювання в умовах дії іонізуючого випромінювання гамма променями.

По результатам аналізу, потрібно провести дослідження стійкості роботи для мікропроцесорного засобу вимірювання на іонізуюче випромінювання та електромагнітний імпульс.

6.3.1 Дослідження стійкості роботи мікропроцесорних засобів вимірювання в умовах дії іонізуючих випромінювань

Для дослідження стійкості роботи мікропроцесорних засобів вимірювання в умовах дії іонізуючих випромінювань, користуються поняттям допустима доза радіації, $D_{доп}(P)$, або поняттям граничного рівня радіації, $P_{гр}(P/год)$, при яких система буде працювати стабільно.

Для цього, потрібно дослідити, які граничні допустимі дози опромінення, $D_{гр}$, має кожен елемент системи. Дані граничних доз опромінення кожного елемента наведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Граничні значення експозиційних доз мікропроцесорних засобів вимірювання

Елементи блоків		$D_{гр.i}, P$	$D_{гр}, P$
БЖ	Випрямлячі	10^6	10^6
	Конденсатори	10^7	
	Резистори	10^8	
БК	Транзистори	10^4	10^4
	АЦП	10^4	
	Фоторезистор	10^9	
МП	Кварцовий генератор	10^{10}	10^3
	Мікросхема	10^3	

Граничне значення стійкості системи, визначається по мінімальному значенню допустимої дози в елементній базі. Проаналізувавши таблицю 6.1, можна зробити висновок, що самою уразливою ланкою в системі, є блок керування, з мінімальною допустимою дозою $D_{гр} = 10^3 (P)$.

Можлива доза опромінення визначається за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{п}})}{k_{осл}}, \quad (6.1)$$

де P_1 - задана доза опромінення ($P_1 = 4,62 P/\text{год}$);

t_k - мінімальний час наробітки елементів системи на відказ ($t_k = 0,5 \cdot 355 \cdot 24 = 4260 \text{ год.}$);

$t_{п}$ - час з початку опромінення ($t_{п} = 1 \text{ год.}$);

$k_{осл}$ - коефіцієнт ослаблення радіації деякими умовами ($k_{осл} = 3$).

$$D_m = \frac{2 \cdot 4,62 \cdot (\sqrt{4260} - \sqrt{1})}{3} = 200,694 (P).$$

Порівнюючи, значення по (6.1) з мінімально допустимою дозою, виходить:

$$D_m < D_{гр} (200,694 < 10^3).$$

Отже, можна зробити висновок, що мікропроцесорний засіб вимірювання, є стійким в умовах дії іонізуючого випромінювання, та не потребує додаткових заходів по підвищенню стійкості.

6.3.2 Дослідження стійкості роботи мікропроцесорних засобів вимірювання в умовах дії електромагнітного імпульсу

Для оцінки впливу дії електромагнітного імпульсу, потрібно брати до уваги, що ЕМІ має горизонтальну і вертикальну складові напруженості електричного поля, що означає, що потрібно визначати значення напруги, як по горизонтальній так і по вертикальній ділянках ліній.

Оскільки, живлення двигуна проводиться мережею 220В та має внутрішню мережу живлення в 24В постійної напруги, то потрібно порахувати дію ЕМІ на обидві мережі живлення.

Напруга, по горизонтальній струмопровідній частині визначається:

$$U_{г} = E_{в} \cdot l_{г}, \quad (6.2)$$

де $E_{в}$ - напруженість електромагнітного імпульсу ($E_{в} = 11,70$ кВ/м);

$l_{г}$ - довжина горизонтальної струмопровідної частини ($l_{г} = 1,5$ м).

$$U_{г} = 11,70 \cdot 1,5 = 17,55, \text{ (кВ)}.$$

Напругу по вертикальній струмопровідній частині, можна визначити:

$$U_{в} = \frac{E_{в} \cdot l_{в}}{1000}, \quad (6.3)$$

де $l_{в}$ - довжина вертикальної струмопровідної частини ($l_{в} = 1$ м).

$$U_{в} = \frac{11,70 \cdot 1}{1000} = 11,7 \text{ (В)}.$$

Допустиме коливання мережі:

$$U_{доп} = U_{м} + \frac{U_{м}}{100} \cdot N, \quad (6.4)$$

де U_M - напруга мережі;

N – допустиме відхилення мережі в відсотках ($N = 5\%$).

Для напруги в 220 В, допустима напруга буде:

$$U_{\text{доп}} = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231 \text{ (В)}$$

А для напруги живлення в 24 В, допустима напруга буде:

$$U_{\text{доп}} = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В)}$$

Визначимо коефіцієнт безпеки, за наступною формулою:

$$K_B = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{\text{доп}}}{U_{\text{ЕМІ}}}\right), \quad (6.5)$$

Для кола живлення мікропроцесорного засобу вимірювання, по горизонтальній струмопровідній лінії (220 В):

$$K_{\text{БГ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{231}{17550}\right) = -37,6 \text{ (дБ)}.$$

А по вертикальній струмопровідній лінії:

$$K_{\text{БВ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{231}{11,7}\right) = 25,9 \text{ (дБ)}.$$

Для кола живлення блоків керування мікропроцесорного засобу вимірювання, по горизонтальній струмопровідній лінії (24 В):

$$K_{\text{БГ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{25,2}{17550}\right) = -56,8 \text{ (дБ)}.$$

А по вертикальній струмопровідній лінії:

$$K_{\text{БВ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{25,2}{11,7}\right) = 6,6 \text{ (дБ)}.$$

Отримані результати занесемо в таблицю 6.6.

Таблиця 6.6 – Результати обчислення стійкості роботи електричної мережі в умовах дії ЕМІ

Найменування блоків		I_{Γ}	$I_{\text{в}}$	$K_{\text{БГ}}$	$K_{\text{БВ}}$	Стійкість
БЖ	220 В	1,5	1	-37,6	25,9	нестійка
БК, МП	24 В	1,2	0,8	-56,8	6,6	нестійка

Отже, за результатами обрахунків, потрібно підвищити стійкість при ЕМІ загрозі, напруженістю 11,7 кВ/м.

Розрахуємо екранування для приладів, зі сталі, за формулою:

$$A = K_{\text{Б.ном}} + K_{\text{Б.мін}}, \quad (6.6)$$

де $K_{\text{Б.ном}}$ - номінальний коефіцієнт безпеки ($K_{\text{Б.ном}} = 40$ дБ);

$K_{\text{Б.мін}}$ - мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунку, взятий по модулю.

Для кола живлення в 220В:

$$A_{220} = 40 + 37,6 = 77,6 \text{ (дБ)}$$

Для кола живлення в 24В:

$$A_{24} = 40 + 56,8 = 96,8 \text{ (дБ)}$$

Тоді, товщину захисного екрану, можна знайти за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (6.7)$$

де f – найбільша частота при ЕМІ ($f = 15$ кГц).

Для кола живлення 220 В:

$$t_{220} = \frac{77,6}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,122 \text{ (см)}.$$

Для кола живлення 24 В:

$$t_{24} = \frac{96,8}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,152 \text{ (см)}.$$

Отже, при дослідженні стійкості роботи, було встановлено, що при рівні радіації $P_1 = 4,62$ (Р/год), система буде працювати стійко, та мати дозу опромінення $D_m = 200,7$ (Р).

При дослідження стійкості роботи на ЕМІ, було встановлено, що система буде нестійка по жодному колу живлення. Задля підвищення стійкості, запропоновано встановити стальне екранування, для мережі живлення 220В, товщиною 1,22 мм, та для кола живлення 24В, екранування товщиною 1,52 мм. Екранування, дає змогу запобігти загрозливим чинникам при напруженості ЕМІ до 11,70 кВ/м.

В цілому, система мікропроцесорних засобів вимірювання, буде працювати стабільно, при дотриманні екранування. Але ще можна підвищити стабільність за допомогою прокладенні кабелів в заземленому сталевому коробі.

6.4 Висновок

В даному розділі було висвітлено та проаналізовано основи по охороні праці асинхронної машини в досліді холостого ходу та процеси шкідливої дії надзвичайних ситуацій, як іонізуючого випромінювання, так і дії електромагнітного імпульсу на мікропроцесорні засоби вимірювання.

ВИСНОВКИ

В результаті роботи за темою «Дослідження перехідних режимів роботи асинхронних машин в досліді холостого ходу», отримав подальший розвиток метод нормування похибки квантування на базі мікропроцесорних засобів вимірювання та отримано такі результати досліджень:

1. Проаналізовано методи та засоби вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронної машини, разом з методами та засобами вимірювання інших характеристик двигуна. За аналізом роботи, обрано та обґрунтовано, що найкращий метод вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронної машини, являється вимірювання на базі енкодера з мікропроцесорним засобом обробки даних.

2. Створено та обґрунтовано математичну модель асинхронної машини та удосконалено її для динамічних вимірювань на усьому діапазоні розгону асинхронної машини. За математичною моделлю проведено імітаційне моделювання асинхронної машини та побудовано графіки кутової швидкості, електромеханічного моменту, прискорення та динамічного моменту асинхронної машини.

3. Розроблено структурну схему мікропроцесорного засобу вимірювання на усьому діапазоні зміни кутової швидкості асинхронної машини в досліді холостого ходу. Створено алгоритм роботи мікропроцесорного засобу вимірювання для нормування вимірювань кутової швидкості обертання, з зменшенням похибки квантування.

4. Проведено аналіз та обґрунтування залежності частоти електричної мережі, на вимірювання кутової швидкості обертання асинхронних машин, на базі документу про нормування частоти електричної мережі в межах від $\pm 0,2$ Гц.

5. Виконано техніко-економічне обґрунтування вибору двигуна та відповідних затрат в році, разом з оплачуванням персоналу для проведення досліджень та обслуговування двигуна.

6. Визначено основні положення щодо проведення безпечної експлуатації асинхронної машини в досліді холостого ходу, який проводиться в лабораторному приміщенні. Разом з цим, проведено розрахунки стійкості роботи мікропроцесорних засобів вимірювання в умовах дії загрозливих чинників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький, В. Ф. Граняк, «Вимірювання параметрів обертального руху електромеханічних перетворювачів енергії в перехідних режимах роботи» Монографія, Вінниця ВНТУ 2018 р.
2. Методи вимірювання частоти обертання [Електронний ресурс] – Режим доступу - <https://jak.koshachek.com/articles/metodi-vimirjuvannja-chastoti-obertannja.html>
3. Ю. В. Степанковський «Перетворюючі пристрої приладів » Ч.2 «Інформаційні електричні мікромашини» Навчальний посібник, Київ 2014 р.
4. О. Г. Шаповаленко, В. М. Бондар, «Основи електричних вимірювань», Київ «Либідь», 2002 р. 78 – 85 с.
5. В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, Ю. В. Човнюк, «Мехатроніка навчальний посібник», Київ, 2012 р.
6. П. О. Василега «Електропривод робочих машин» Суми 2022 р, Сумський державний університет.
7. О. С. Попова «Технічні засоби автоматизації» Навчальний посібник, Одеса – 2018 р.
8. В. М. Глушков «Енциклопедія кібернетики» Україна 1973 р, 584 с.
9. В. В. Тарасова, А. С. Малиновський, М. Ф. Рибак, «Метрологія, Стандартизація і сертифікація» Київ – 2006 р. 264 с.
10. Г. А. Саранча «Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю» Київ – 2006 р. 673 с.
11. В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков, «Схемотехніка електронних систем. Книга 3: Мікропроцесори та мікроконтролери» Київ, Вища школа – 2004 р. 399 с.
12. Якість електричної енергії [Електронний ресурс] – Режим доступу - <http://energo-p.com.ua/wp-content/uploads/2017/08/kachestvo.pdf> .

13. І. Д. Пузько «Спосіб визначення резонансної частоти елементів конструкції», Патент – 2012 р, Пат. 75655 U.
14. Theo P. Schaad, «Nano-Resolution» 2016 Technical Note.
15. В. М. Литвененко, Г. Г. Дощенко, М. О. Самойлов, «Аналіз методів вимірювання частоти», Херсонський національний технічний університет.
16. Кривенчук Юрій, Микитин Ігор, Сегеда Олег, «Засоби вимірювання електричних і магнітних величин» Львів, Україна – 2012 р.
17. Ю. Я. Бобало, Л. А. Недоступ, М. Д. Кіселичник, «Осцилографи та методи вимірювання радіотехнічних величин», Львів, Львівська політехніка – 2014 р.
18. В. Я. Бунько «Аналіз дослідження та визначення показників якості електричної енергії з переважно індуктивним навантаженням», Бережанський агротехнічний інститут – Енергетика – 2018 р.
19. В. В. Кухарчук, Д. О. Глух, Ю. М. Остапюк, «Особливості динамічних вимірювань ковзання асинхронних машин з енкодером», ВНТУ, Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024), [Електронний ресурс] - <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/paper/view/19153>
20. В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко, «Основи метрології та електричних вимірювань» ВНТУ, Україна – 2020 р – 538 с.
21. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.
22. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі

зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

23. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

24. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

25. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

26. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

27. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

28. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

29. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

30. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>

31. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>

32. Сакевич В. Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ. 2006. 109 с.

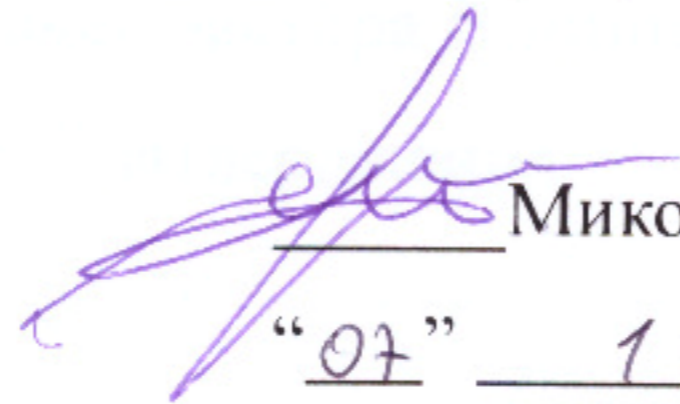
Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

« 07 » 11 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

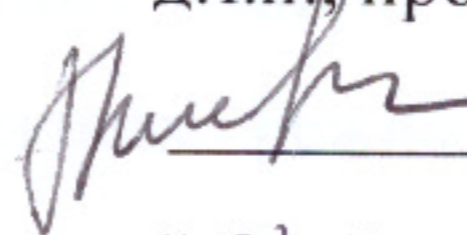
на магістерську кваліфікаційну роботу

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ
АСИНХРОННИХ МАШИН В ДОСЛІДІ ХОЛОСТОГО ХОДУ**

08-24.МКР.013.00.000 ТЗ


Керівник роботи

д.т.н., проф.

 Василь КУХАРЧУК

« 07 » 11 2023 р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-22м

 Юрій ОСТАПЧУК

« 07 » 11 2023 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Дослідження перехідних режимів роботи асинхронних машин в досліді холостого ходу».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Досліджування перехідних режимів роботи асинхронних машин в досліді холостого ходу є лабораторним дослідженням, покладеним на підвищення якості електричних машин. Мікропроцесорні засоби вимірювання забезпечують відповідний показник по похибці квантування за допомогою розробленого алгоритму.

4 Вимоги до розробки

Дослід холостого ходу асинхронних машин, встановлює вимоги та критерії до оцінки АМ, як в статичних режимах так і на усьому динамічному режимі роботи АМ. Відповідно до цього, асинхронні машини мають нормуватись та вибірково перевірятись на досліді холостого ходу, з метою підвищення якості АМ.

5 Комплектація роботи

Мікропроцесорні засоби вимірювання включають в себе: енкодер для перетворення кутової швидкості АМ в двійковий код; кварцовий

резонатор; АД-КЗ – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором; муфта на двигуні.

6 Джерела розробки

1. В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький, В. Ф. Граняк, «Вимірювання параметрів обертального руху електромеханічних перетворювачів енергії в перехідних режимах роботи» Монографія, Вінниця ВНТУ 2018 р.

2. Ю. В. Степанковський «Перетворюючі пристрої приладів » Ч.2 «Інформаційні електричні мікромашини» Навчальний посібник, Київ 2014 р.

3. В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко, «Основи метрології та електричних вимірювань» ВНТУ, Україна – 2020 р – 538 с.

4. Г. А. Саранча «Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю» Київ – 2006 р. 673 с.

7 Технічні характеристики

Тип двигуна 4А71А2У3; Параметри двигуна: $p = 2$, $m = 3$, $R_s = 16,39$
 $R_r = 15,08$, $L_m = 0,624$, $L_s = 0,663$, $L_r = 0,7015$, $J = 0,0097$.

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Елементи база

Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, енкодер, мікропроцесор, диск енкодера, кварцовий резонатор.

10 Конструктивне виконання

Дослід холостого ходу проводиться у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

11 Показники технологічності

Енкодер, мікропроцесорний засіб вимірювання, диск до енкодеру та кварцовий резонатор, виконуються на сучасній елементній базі, їх монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

До оперативного обслуговування електроустановками допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

13 Живлення системи

Живлення електромеханічного комплексу повинно бути виконано: величина напруги постійного струму – це, як правило, 12, 24 або 48, а змінного струму 220 В – в однофазному і 380 В – в трифазному виконанні.

13 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИНХРОННИХ МАШИН В ДОСЛІДІ ХОЛОСТОГО ХОДУ

Предмет, об'єкт, мета та завдання

Об'єктом дослідження є мікропроцесорні засоби вимірювання кутової швидкості в перехідних режимах роботи асинхронних машин.

Предметом дослідження є математична модель засобів динамічних вимірювань кутової швидкості асинхронних машин в досліді холостого ходу.

Мета. Підвищення точності вимірювань кутової швидкості шляхом нормування похибки квантування в усьому динамічному діапазоні її зміни.

- До **задач** магістерської кваліфікаційної роботи можна віднести:
- аналіз відомих методів та засобів виміру параметрів обертання руху асинхронних машин;
- створення математичної моделі динамічної системи вимірювання кутової швидкості асинхронної машини;
- імітаційне моделювання на базі математичної моделі динамічних систем вимірювання кутової швидкості асинхронних машин;
- розробка структурної схеми мікропроцесорного засобу вимірювання похибки квантування та нормування створення алгоритму нормування даної похибки.

Аналіз засобів виміру параметрів обертання АМ в досліді ХХ

Засобом вимірювання швидкості обертання валу асинхронного двигуна, або кута повороту, являється тахометр на базі енкодера з мікропроцесорним засобом вимірювання. Відбувається це за наступним алгоритмом:

- визначення проміжку часу Δt ;
- вимірювання кута повороту $\Delta\varphi$, за час Δt ;
- за допомогою математичних операцій (1), (2) знаходження швидкості обертання та прискорення.

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt}. \quad (1)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \quad (2)$$

Математична модель засобу динамічного вимірювання кутової швидкості АМ

Виведено стандартизовану математичну модель засобу динамічного вимірювання кутової швидкості АМ (3).

$$\begin{cases}
 \frac{di_{sa}(t)}{dt} = k[L_r(U_{sa}(t) - R_s i_{sa}(t)) + L_m(R_r i_{ra}(t) + \omega_r(t)(L_r i_{r\beta}(t) + L_m i_{s\beta}(t)))] \\
 \frac{di_{s\beta}(t)}{dt} = k[L_r(U_{s\beta}(t) - R_s i_{s\beta}(t)) + L_m(R_r i_{r\beta}(t) - \omega_r(t)(L_r i_{ra}(t) + L_m i_{sa}(t)))] \\
 \frac{di_{ra}(t)}{dt} = k[-L_m(U_{sa}(t) - R_s i_{sa}(t)) - L_s(R_r i_{ra}(t) + \omega_r(t)(L_r i_{r\beta}(t) + L_m i_{s\beta}(t)))] \\
 \frac{di_{r\beta}(t)}{dt} = k[-L_m(U_{s\beta}(t) - R_s i_{s\beta}(t)) - L_s(R_r i_{r\beta}(t) - \omega_r(t)(L_r i_{ra}(t) + L_m i_{sa}(t)))] \\
 \frac{d\omega_r(t)}{dt} = \frac{p}{J} \cdot (M_e(t) - M_0(\omega_r(t))) \quad k = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2}; \\
 M_e(t) = \frac{mp}{2} \cdot L_m (i_{s\beta}(t) i_{ra}(t) - i_{r\beta}(t) i_{sa}(t))
 \end{cases} \quad (3)$$

Застосування мікропроцесора для вимірювання кутової швидкості обертання

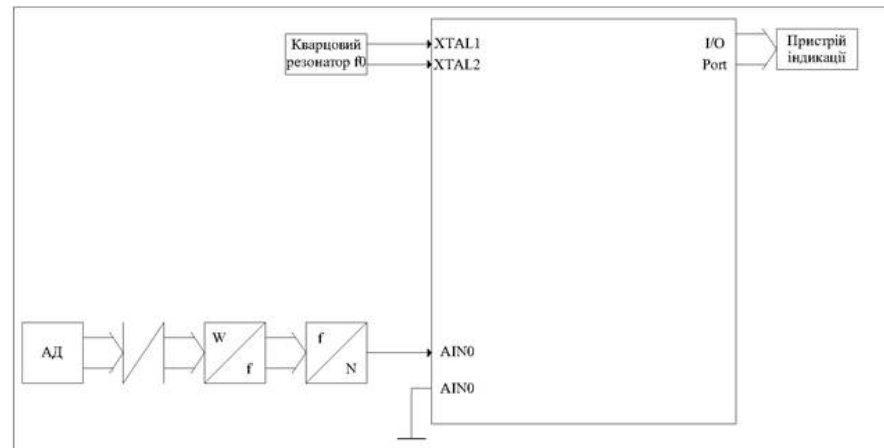


Рисунок 1 – Структурна схема мікропроцесорного засобу вимірювання кутової швидкості АМ

Алгоритм роботи мікропроцесорного засобу вимірювання

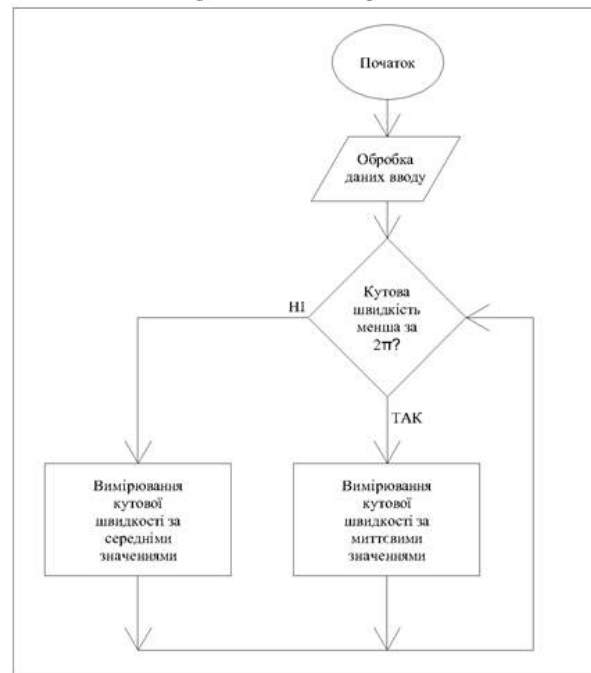


Рисунок 2 – Алгоритм роботи мікропроцесорного засобу вимірювання

Моделювання асинхронної машини

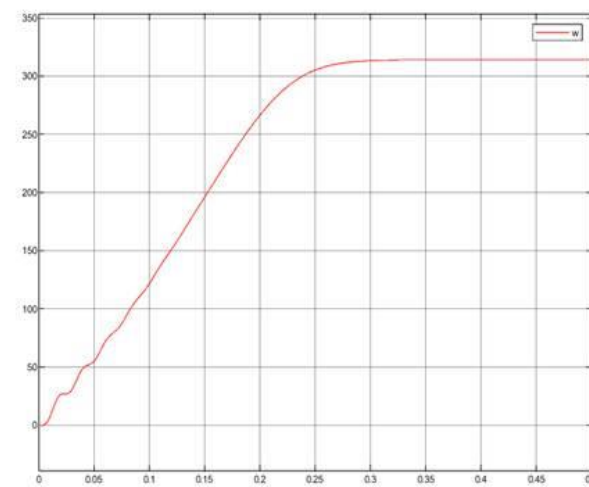
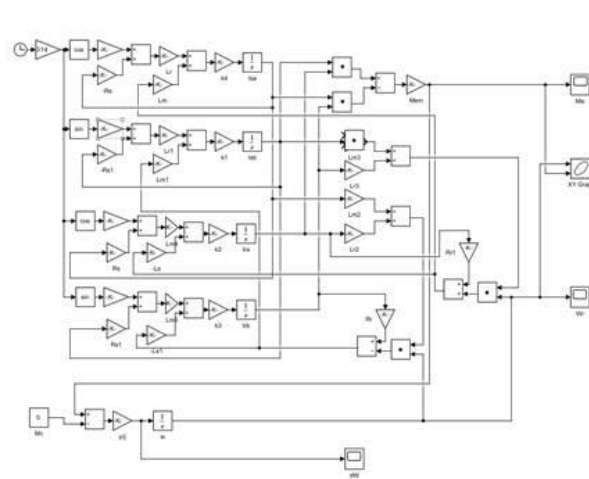


Рисунок 3 – модель АМ в Matlab Simulink Рисунок 4 – Графік швидкості АМ в досліді XX

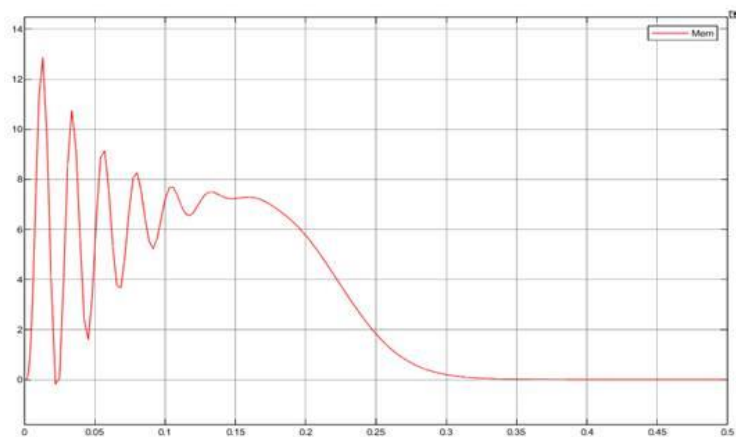


Рисунок 5 – Графік електромагнітного моменту AM

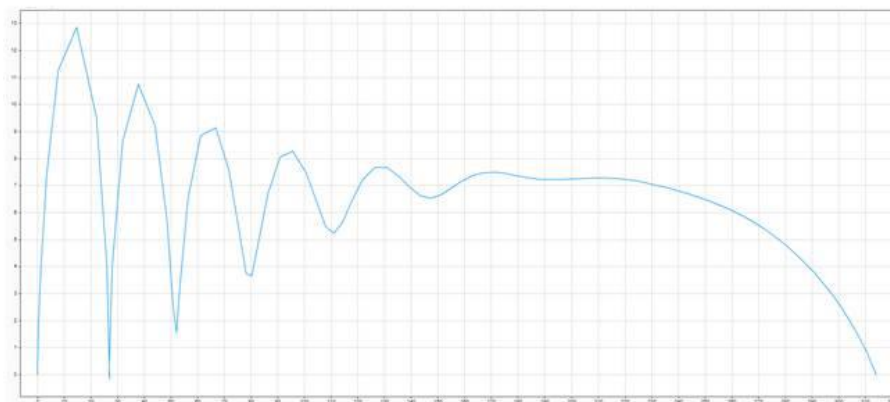


Рисунок 6 – Графік динамічного моменту AM

Моделювання похибки квантування

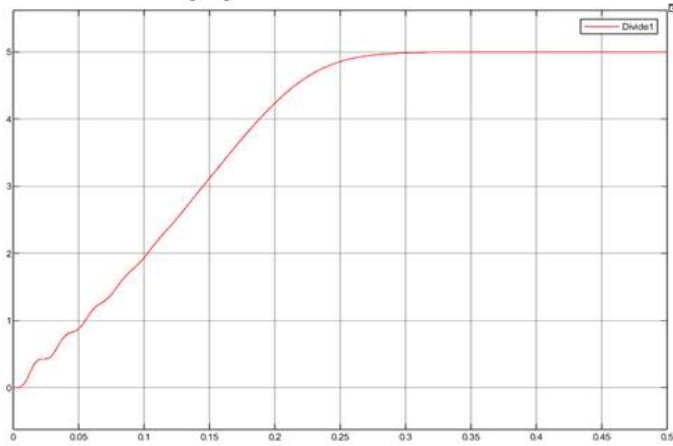


Рисунок 7 – Похибка квантування миттєвих значень

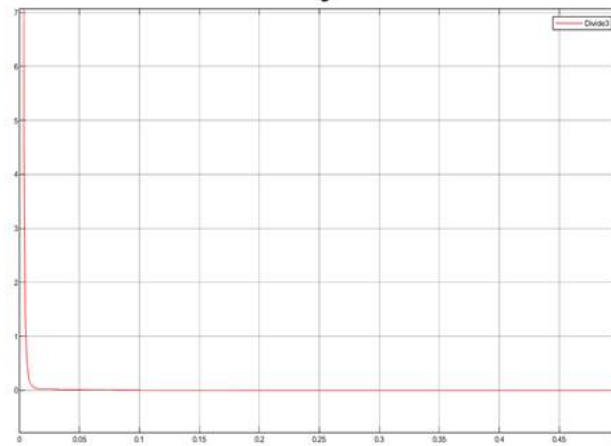


Рисунок 8 – Похибка квантування середніх значень

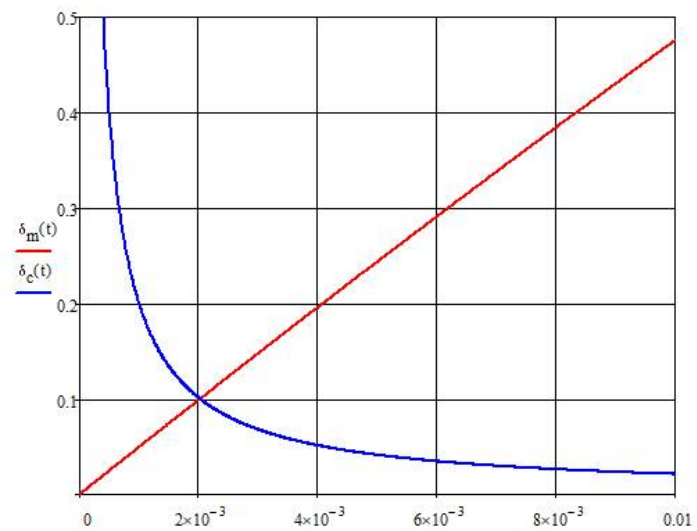


Рисунок 9 – Графік порівняння двох графіків за допомогою експоненційної моделі кутової швидкості АМ

Наукова новизна одержаних результатів. Отримав подальший розвиток метод нормування похибки квантування в усьому діапазоні можливої зміни кутової швидкості, шляхом адаптації мікропроцесорного засобу до динамічних властивостей асинхронних машин, що дозволило в 1,5 рази підвищити точність вимірювань.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено структурну схему мікропроцесорного методу вимірювання кутової швидкості асинхронного двигуна;
- розроблено алгоритм нормування похибки квантування за допомогою мікропроцесорного методу вимірювання кутової швидкості асинхронного двигуна.

Висновки

1. Проаналізовано методи та засоби вимірювання кутової швидкості обертання валу асинхронної машини, разом з методами та засобами вимірювання інших характеристик двигуна.
2. Створено та обґрунтовано математичну модель асинхронної машини та удосконалено її для динамічних вимірювань на усьому діапазоні розгону асинхронної машини.
3. Розроблено структурну схему мікропроцесорного засобу вимірювання на усьому діапазоні зміни кутової швидкості асинхронної машини в досліді холостого ходу.
4. Виконано техніко-економічне обґрунтування вибору двигуна та відповідних затрат в році, разом з оплачуванням персоналу для проведення досліджень та обслуговування двигуна.
5. Визначено основні положення щодо проведення безпечної експлуатації асинхронної машини в досліді холостого ходу, який проводиться в лабораторному приміщенні. Разом з цим, проведено розрахунки стійкості роботи мікропроцесорних засобів вимірювання в умовах дії загрозливих чинників.

08-24.МКР.013.00.000 Е2

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.			Маса	Масштаб
Розробив:		Остапюк Ю. М.	<i>[Signature]</i>	21.11.21	Дослідження перехідних режимів роботи асинхронних машин в досліді холостого ходу				
Перевірів		Кухарчук В. В.	<i>[Signature]</i>	21.11.21					
Т. контр.									
Реценз.		<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	11.12.23	Аркуш		Аркуш		
Норм. кон.		Таранюк	<i>[Signature]</i>	22.11.21	ВНТУ, гр. ЕПА-2				
Затверд.		Мошнорізі М.М.	<i>[Signature]</i>	22.11.21					

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Дослідження перехідних режимів роботи асинхронних машин в досліді холостого ходу ”

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-22м

Науковий керівник: д.т.н., проф. Кухарчук В.В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність	96,3%
Схожість	3,7%

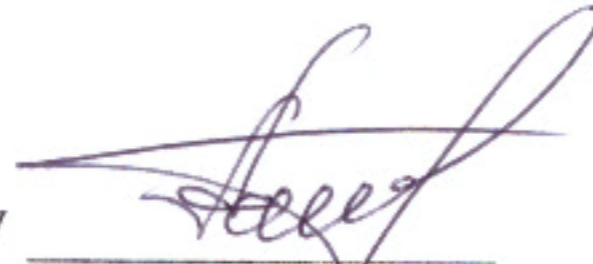
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Остапюк Ю.М.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кухарчук В.В.

(прізвище, ініціали)