

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О. Ю. Колларов
(ініціали, прізвище)
«__» _____ 2021 р.

**Кваліфікаційна робота
бакалавра**

на тему Дослідження режимів роботи електроприводу в мережах розподіленої генерації.

Виконав: студент 3 курсу, групи ЕЛКЗп-18
(шифр групи)

напряму підготовки (спеціальності) 141"Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ Бриль О. О. (прізвище та ініціали)	_____ (підпис)
Керівник <u>Калиниченко В.В., доц. каф. «ЕлІн»</u> (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	_____ (підпис)
Рецензент <u>к.т.н, доц., зав. каф. АТ Лактіонов І.С</u> (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	_____ (підпис)

Нормоконтроль:

(підпис) Любименко О. М.
02.06.2021
(дата)

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)
02.06.2021
(дата)

Покровськ – 2021 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації,
електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: (141) електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (Колларов О. Ю.)

« » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Брилю Олегу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження режимів роботи електроприводу в мережах розподіленої генерації.

керівник роботи Калиниченко Валерій Вікторович, доц. каф. «ЕлІн»
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 2 червня 2021 року.

3. Вихідні дані до роботи: Схема ділянки мережі розподіленої генерації, паспортні дані електроприладів, дані силових трансформаторів, дані споживачів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз способу інтеграції електропривода в системі розподіленої генерації.

2. Розрахунок параметрів трансформатора та асинхронного двигуна.

3. Моделювання системи електропостачання з розподіленою генерацією та її дослідження при різних режимах роботи.

4. Розробка заходів з питань охорони праці.

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

Десять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Пункти 4.1 – 4.3	Калиниченко В. В.		
Охорона праці	Біла Н. С.		
Нормоконтролер	Любименко О.М.		

7. Дата видачі завдання 05 травня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Пункт 4.1	03.05–07.05.21	
2.	Пункт 4.2	08.05–15.05.21	
3.	Пункт 4.3	16.05–30.05.21	
4.	Охорона праці	24.05–02.06.21	

Студент _____
(підпис)

Бриль О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Калиниченко В.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бриль О.О. «Дослідження режимів роботи електроприводу в мережах розподіленої генерації.» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

В дипломній роботі відбувалося проектування системи керування електричними приводами в мережі з розподіленою генерацією, що є дуже актуальним питанням на сьогодні в енергетиці. В першу чергу, через те, що енергетична галузь України, в останні роки, ставить за мету широке впровадження в об'єкти генерації систем з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ).

Для того, аби вирішити це питання, в роботі спочатку були досліджені сучасні системи керування асинхронним електричним приводом. Обравши після цього сучасні способи та методи регулювання, був виконаний необхідний розрахунок для вибору потрібного обладнання.

Також у практичній частині, була розроблена та досліджена модель мережі з розподіленою генерації енергії, яка включає в свій склад, крім, основного джерела живлення ще й вітро- та фотоелектричні системи.

Виконані технологічні рішення в дипломній роботі дозволяють переконатися в перевагах мереж з розподіленою генерацією енергії та надають змогу досліджувати всі необхідні режими для подальшої реалізації цієї системи на практиці, у виробництві або у прикладних дослідках.

Ключові слова: РОЗПОДІЛЕНА ГЕНЕРАЦІЯ, АВТОНОМНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ, ВІТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ, АВАРІЙНИЙ РЕЖИМ, МОДЕЛЮВАННЯ, МАТЛАВ, ТРАНСФОРМАТОР, ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1. ІНТЕГРАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В ЕЛЕКТРИЧНУ МЕРЕЖУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ	11
1.1 Огляд та аналіз існуючих рішень в досліджуваній галузі. Розподілена генерація її значення, конструктивні особливості.	11
1.2 Виконання та особливості побудови схеми електроприводу з частотним керуванням.	14
1.3 Метод обрання трансформаторів для мереж розподіленої генерації та розподільних електричних мереж.	18
2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	23
2.1 Розрахунок параметрів трансформатора.	23
2.2 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна.	27
3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З РОЗПОДІЛОМ ГЕНЕРАЦІЇ ТА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ	32
3.1 Розробка моделей електроприводу з асинхронним двигуном в пакеті Matlab/Simulink.	32
3.2 Пусковий режим асинхронного двигуна	35
3.2.1. Випадок прямого підключення електродвигуна в електричну мережу	35
3.2.2. Пуск електричного двигуна при різних значеннях потужностей трансформатора	39
3.2.3. Застосування частотно-регульованого електроприводу, дослід пуску електродвигуна	41
4. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДА В СИСТЕМІ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ	47

4.1	Робота асинхронного електропривода в автономній електричній мережі	47
4.2	Аварійні режими в електричній мережі з розподіленою генерацією та асинхронним електроприводом.	51
4.3	Системи генерації з ВДЕ у якості об'єктів живлення електричного привода.	60
	ВИСНОВКИ	63
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
	ДОДАТОК А «Зауваження контролера з нормування»	66
	ДОДАТОК Б «Безпека технологічного процесу під час перетворення сонячної енергії в електричну»	67
	ДОДОТОК В «Параметри блоків для моделювання в Matlab»	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АД – асинхронний двигун;

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;

ЧРЕП – частотно–регульований електропривод;

ВГ – вітрогенератор;

ВН – вторинна напруга;

ДЖ – джерело живлення;

ЕП – електропривод;

ПН – первинна напруга;

СГ – синхронний двигун;

ФП – фотоелектричні панелі;

ФС – фотоелектрична станція;

ПП – перехідні процеси;

ПС – постійний струм;

ЗС – змінний струм.

ВСТУП

Об'єктом досліджень даної дипломної роботи є мережа з розподіленою генерацією електричної енергії.

Мета роботи – виконати аналіз та дослідити вплив електричної мережі з розподіленою генерації електроенергії на систему з руховим навантаженням, а також побудувати модель системи електричного постачання з розподіленою генерацією. Провести дослідження впливу аварійних режимів для того, щоб виявити переваги та недоліки системи, а також знайти шляхи вирішення проблем, пов'язаних з побудовою цієї системи.

Дослідження виконувалися на основі математичного опису систем регулювання і теоретичного опису систем розподіленої генерації.

Для дослідження розробленої системи використовувався метод математичного моделювання на персональному комп'ютері (ПК) із застосуванням програмного пакету Matlab (бібліотеки Simulink/SimPowerSystems), орієнтованого на моделювання систем автоматичного регулювання електричних приводів. Як частотно-регульований електроприводу (ЧРЕП) була обрана математична модель двигуна за координатними осями «dq».

В наш час в галузях, як світової так і національної економіки України з'являється дуже велика кількість промислових підприємств, електричних приводів, автоматичних насосних станцій, типових виробничих механізмів, які дозволяють вирішувати різні технологічні проблеми підприємств. При підключенні цих насосних станцій, підприємств та інших приймачів електричної енергії до електромережі виникає залежність даних споживачів від власне даної енергосистеми, що в свою чергу суттєво впливає на показник стабільності роботи електричної мережі та на загальну економічну ефективність підприємства [1].

Приблизно на початку тисячоліття і по нині триває процес впровадження (і саме йому надають перевагу) частотне регулювання

електричного приводу, яке забезпечує позитивний ряд ефектів. Застосування саме електроприводу з частотним-регульованим доволі істотно змінює режими роботи та властивості систем електричного постачання, які постачають енергію цих споживачів, особливо за умови наявності в мережі електричного постачання установок розподіленої генерації. У таких системах, електромереж з розподіленою генерацією використовують електричний привод змінного струму, який істотно впливає на якість електроенергії. Через що розробка математичних моделей, які розглядають поведінку електричного постачання в динаміці в електромережі з розподіленою генерацією та включає в себе електричний привод з регулюванням частоти, є доволі актуальним завданням в сучасній електротехніці [2]..

Практична значимість даної наукової роботи передбачає дослідження використання електричних приводів з регулюванням частоти, в результаті чого можливе підвищення надійності електричного постачання, зниження витрат електричної енергії, поліпшення техніко-економічних показників обладнання, та в загальному випадку все це призведе до більш ефективного застосування асинхронних двигунів.

Система розподіленої генерації (РГ), зазвичай, відноситься до обладнання для виробництва електричної енергії, що знаходиться поблизу навантаження (споживачів), потужністю від декількох кіловат (кВт) до десятків мегават (МВт), ефективно та екологічно безпечно. У системах з РГ є багато переваг, серед них надійність, малі інвестиції, гнучкість. Сьогодні системи розподіленої генерації широко застосовується в усьому світі.

Зазвичай для роботи мережі з розподіленою генерацією необхідне підключення до енергетичної системи, що в свою чергу, є важливим способом безпеки та економії. Однак під час роботи в електричній мережі виникають певні проблеми це, до прикладу, можуть бути координація релейного захисту, гармоніки, проблеми з ізоляцією, ферорезонансу, оптимальний вибір трансформаторів.

Системи з розподіленою генерацією, зазвичай, взаємопов'язані з розподільними електромережами, і тому в даній роботі, по-перше, перераховані загальні режими нейтрального заземлення в розподільних мережах. По-друге, методи відбору, які пропонуються шляхом аналізу. По-третє, показано, як результати моделювання пояснюють і підтримують теорію. В кінці наукової роботи зроблені висновки, за практичними результатами.

Структура та обсяг дипломного проекту. Випускна кваліфікаційна робота обсягом 76 машинописних сторінок, що складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків, переліку використаних джерел, який складається з 14 найменувань та 3 додатків. Робота містить 3 таблиці та 43 рисунки.

1. ІНТЕГРАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В ЕЛЕКТРИЧНУ МЕРЕЖУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ.

1.1. Огляд та аналіз існуючих рішень в досліджуваній галузі.
Розподілена генерація її значення, конструктивні особливості.

До розподіленої енергетики відносяться багато типів енергоустановок, які мають в якості об'єктів генерації відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) і одним з основних є, звичайно, вітроенергетичні установки (ВЕУ). Також до об'єктів генерації цієї системи можуть бути включені газотурбіни та паротурбіни, для того аби виробляти електричну енергію, коли об'єкти з ВДЕ виробляють її менше ніж треба споживачу, в першу чергу через зовнішні фактори – погоні погодні умови або нічний час доби [2].

Всі вони можуть встановлюватися безпосередньо біля споживачів – населеного пункту або підприємства та інтегруються (підключаються) до розподільної електричної мережі, як правило на напруження 6-35 кВ. Загальна ця установка і отримала назву – електрична мережа з розподіленою генерацією.

Головними факторами, які дають стимул для розвитку розподіленої генерації, який, до слова, сьогодні, в енергетичній галузі України відбувається швидким темп, є:

- Поява та впровадження нових вискоефективних енергетичних технологій.
- Посилення екологічних вимог, щодо стимулювання використання в якості об'єктів генерації відновлювальні джерела енергії (фотоелектричні установки; вітрогенератори; пристрої, які працюють на водні; установки на біомасі; гідро акумулятивні станції і т. ін.). І в той же час – надання для електричних мереж з використанням ВДЕ «зеленого тарифу», який дає отримувати більше коштів за вироблену енергію, а це в свою чергу призводить до прискореної амортизації усієї системи.

- Енергетична незалежність для держави.
- Можливість забезпечення споживача електрикою у найвіддаленіших куточках України, тобто не треба проводити лінії електричних передач з централізованої системи.
- Застосування систем розподіленої генерації у якості автономного вводу резерву (АВР). Тобто застосовувати їх тоді коли сталася масштабна аварія в мережі.
- Підвищення якості самого обладнання, яке застосовується в системі. Під цим слід розуміти технічний прогрес, який активно розпочався, ще на початку ХХ ст., а в системах з ВДЕ це вже більше кінець ХХ ст., і активно триває. Наприклад промислові сонячні батареї, які ще років 20–30 назад мали ККД близько 10%, сьогодні вже у середньому мають вдвічі більше значення за цим параметром, все це стало можливо за рахунок нових матеріалів при виготовленні панелей. Також покращується і характеристики обладнання, яке запасає (нові види акумуляторних батарей), трансформує та транспортує електричну енергію.
- Перехід України на нові електричні мережі, тобто при реконструкції старих мереж постає питання, а чи не переробити її на мережу розподілену генерації, дивлячись на плюси, які вже відмічені вище. З цього можна зробити висновок, що українські мережі як найкраще підходять саме для поступового впровадження в них СРГ, адже нема потреби в побудові нових, а є можливість модернізувати старі.
- Загальна автоматизація енергетичних виробництв. Усі галузі прагнуть до автоматизації і енергетика не становить виключення. Автоматизація передбачає постійний збір даних (у реальному часі), його моніторинг та керування у разі потреби дистанційно тими чи іншими об'єктами. Автоматизовані електричні мережі здебільшого об'єднують під загальною назвою «Smart Grid Technologies» (технології розумних мереж), а вони, як ніхто вимагають застосування ВДЕ.
- Підвищення частки газу в паливному постачанні електричних

станцій [1].

Для того, аби розуміти долю використання, взагалі, кількості систем з використанням ВДЕ у загальному обсязі виробленої енергії в Україні за останні роки можна розглянути табл.1 [1].

Таблиця 1 – Обсяги та структура виробленої електричної енергії в об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України за період 2013-2019 роки.

Роки досліджень	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Разом, МВт	193.75	189.0	157.5	154.9	155.5	159.5	156.5
АЕС	83.05	83.95	87.8	80.85	85.7	84.5	81.85
% від загальної	42.75	43.85	55.8	52.25	55.15	53.1	52.4
ТЕС	79.0	79.85	49.15	49.95	44.9	47.75	47,75
% від загальної	40.75	42.9	31.25	32.22	28.95	30.15	30.3
ТЕЦ	16.5	14.2	12.05	13.25	12.5	12.5	13.1
% від загальної	8.45	7.85	7.75	8.53	7.95	7.7	8.35
ГАЕС та ГЕС	14.3	9.25	7.05	9.15	10.5	12.1	8.0
% від загальної	7.38	4.42	5.0	6.0	6.75	7.45	5.25
СЕС, ВЕС та БіоЕС	1.25	1.75	1.45	1.5	1.9	2.65	5.8
% від загальної	0.67	0.98	0.9	1.0	1.2	1.6	3.7

Проаналізувавши дані, ще й минулого року можна констатувати, що на жаль у ньому, збільшилася структура обсягів генерації електричної енергії в частці ТЕС, а більше дешева та чиста АЕС просіла до 40%. Також, саме у минулому році, просіла швидкість введення нових потужностей систем з відновлювальними джерелами енергії таких , як вітроенергетика та сонячна енергетика, така проблем пов'язана з цілим рядом причин.

Отже висновок з цього такий, що необхідно впроваджувати до мереж з ВДЕ ще й системи акумулювання електричної енергії для виконання компенсації флуктуацій вітрової та сонячної генерації в обсягах не менше ніж 0.7 ГВт до 2025 року.

1.2. Виконання та особливості побудови схеми електроприводу з частотним керуванням.

Регульований електричний привод все більше знаходить своє застосування у розробці різних технологічних машинах та промисловості в цілому. Його використання дозволяє забезпечувати процес автоматизації багатьох технологічних процесів, отримувати керування складним рухом промислових електричних машин, знижувати показники енергоспоживання в різних галузях промисловості України та діяльності людського суспільства в цілому [3]..

Електропривод, ще наприкінці минулого століття зайняв провідне місце в тих технологічних комплексах та установках, де необхідно було за широким діапазоном регулювати та керувати швидкістю, проте тоді це був електричний привід постійного струму. А головним недоліком такого типу машин є наявність колекторно-щіткового апарату в структурі електричного двигуна, що в свою чергу вимагає особливо прискіпливого обслуговування. І, як наслідок, під час неправильної його використання, відбувається зниження експлуатаційної надійності двигуна та обмеження динамічних характеристик

електричного приводу в цілому, не говорячи про те, що може відбутися іскріння, що у відповідній навколишній середі може бути вкрай небезпечно.

І саме з цих міркувань, разом з розвитком силової напівпровідникової техніки та мікропроцесорної, регульовані електричні приводи постійного струму стали поступатися своїм, провідним місцем безколекторними регульованими електроприводами змінного струму (перед усім асинхронному двигуну з коротко замкненим ротором). В першу чергу система такого виконання «перетворювач частоти - асинхронний електродвигун», яка забезпечує потрібні рухові характеристики виконавчого (робочого) органу для більшості технологічних машин [4].

Сучасний електричний привод з частотним-регулюванням складається з синхронного чи асинхронного електричного двигуна та перетворювача частоти (ПЧ) що зображено на рис.1.1., варто відразу додати, що саме такий електропривод буде проектуватися та досліджуватися в даній науковій роботі [5].

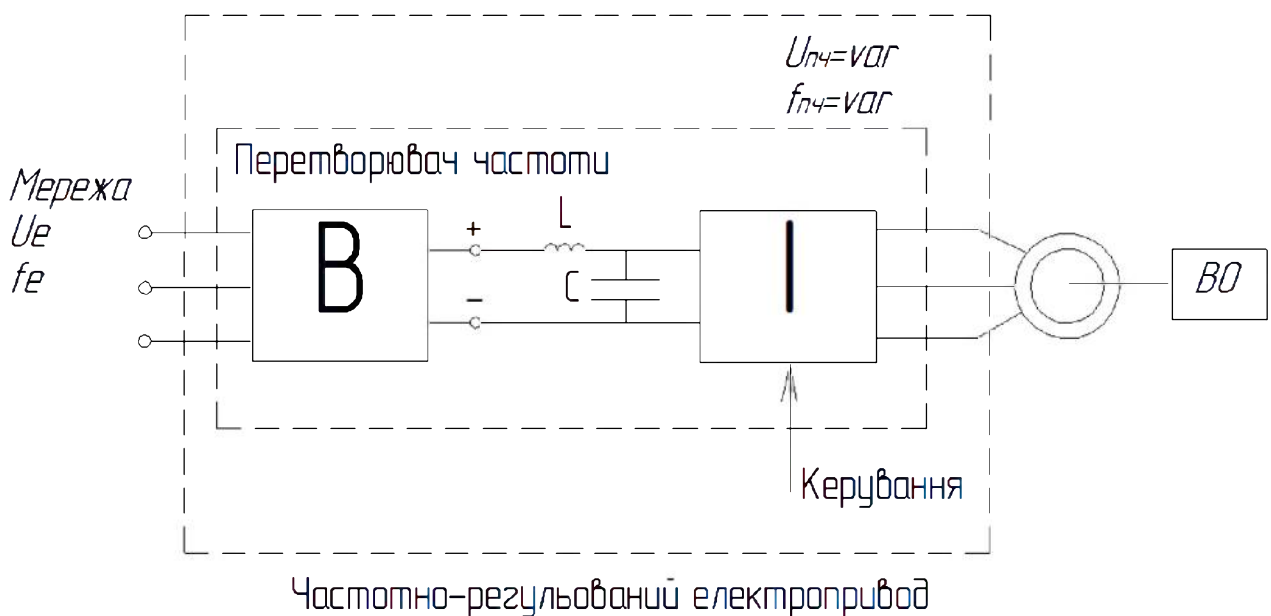


Рисунок 1.1. – Структурна схема частотно-регульованого електричного приводу

На схемі показано електродвигун, який перетворює електричну енергію в механічну енергію та приводить в рух, через з'єднання валом, виконавчий

орган (ВО) технологічного механізму. В свою чергу, перетворювач частоти керує асинхронним двигуном та являє собою електронний пристрій, який складається з керованого випрямляча (В) та інвертора (І). На виході перетворювального пристрою створюється напруга зі змінними значенням амплітуди та частоти.

Сама назва частотно-регульованого електричного приводу обумовлена тим, що регулювання параметра швидкості обертання електродвигуна виконується зміною частоти значення напруги живлення, яке подається на вхід двигуна від перетворювача частоти. [4].

Розвиток сучасної промисловості України та світу, за умов ринкового, конкуруючого середовища має ознаки все більшою кількістю у використанні високоефективних технологій у різних сферах виробництва, не виключенням є і електроенергетика. І все це можливо за умови всебічного підвищення величини якості технологічних процесів, і не в останню чергу, за рахунок застосування систем високої ефективності моніторингу та управління технологічними об'єктами [2].

Отже, використання на практиці електричного приводу з автоматизованими системами керування дозволяє забезпечувати потрібні характеристики регулювання у механізмах та машинах, які застосовані у виробництві, а також дозволяє суттєво знизити споживання електричної енергії.

Через активний розвиток та впровадження швидкодіючої мікропроцесорної техніки та силової електроніки привело до зменшення частки використовуваних регульованих електроприводів постійного струму, на приводи, в яких електричним двигуном виступає асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Такий розвиток подій в галузі можна пояснити можливістю практичного втілення високоефективних алгоритмів управління електричним двигуном змінного струму при невеликих апаратних та матеріальних витратах [3].

Якщо брати сучасну щорічну статистику, то сьогодні у світі випускається близько 7 млрд. електричних двигунів на рік, які, в свою чергу,

споживають близько 70-75% усієї виробленої електричної енергії. І серед них, в даний час, на долю використання електроприводів змінного струму припадає близько 85% [11].

Отже через своє широке розповсюдження й область застосування електроприводів з частотним-регулювальним доволі велика: це може бути підприємство промисловості, як від великої електроенергетичної установки до різних сфер побутового та комунального господарства. Можливо знизити споживання електричної енергії на значення 15-40%, якщо застосовувати регульований електропривод. Це досягається за рахунок застосування механізмів, в яких електродвигуни розрахований на максимальне значення навантаження (його номінал), і при цьому середньодобове навантаження повинне становить 70-85% [6].

Отже, з даного огляду в сучасний стан справ в електроенергетиці, можна зробити висновок, що застосування регульованих електроприводів дозволяє створювати нову технологію по енергозбереження. Що в свою чергу дозволить заощадити електричну енергію, а також підвищує термін служби самого обладнання в енергосистемі.

Варто також привести недоліки електроприводів постійного струму, які вони мають, і чому власне в даній роботі було прийняте рішення досліджувати, ЕП із змінним струмом:

- Збільшена маса, габарити та складна конструкція;
- Дуже вимогливий в експлуатації щітковий апарат;
- Вища вартість за ЕП змінного струму, при чому при низьких та середніх потужностях це значення суттєво відрізняється [5].

В нинішній час застосування передових, сучасних засобів мікропроцесорної техніки та поява нової елементної бази дозволяє інженерам розробляти багатофункціональні, компактні і головне високої ефективності системи керування електроприводу змінного струму, що задовольняють більшості вимогам технологічних процесів [12].

До переваг використання таких систем керування можливо віднести:

- якісне, за основними показниками параметрів, управління швидкістю електродвигуна;
- високий значення моменту під низьких значеннях швидкості електродвигуна;
- зниження витрат потужності, а відповідно підвищується значення ефективності;
- стабільну роботу з електричними двигунами великої потужності, тобто, як раз у вітроенергетичних установках, які відносяться до мереж з використанням ВДЕ, можна побачити застосування регульованого електроприводу;
- високі динамічні характеристики [7].

Також про активне застосування в промисловості систем з регульованим електроприводом саме змінного струму, свідчить проведений огляд наукової літератури [3, 7, 9]

Також в джерелах робиться загальний висновок, що даний вид електроприводу є надійним, найбільш перспективним, та, що також не мало важливе, економічно вигідним способом по перетворенню електричної енергії в механічну.

Проте варто сказати і про недоліки частотно-регульованого електроприводу і серед них можливо виділити – більшість моделей є джерелом електромагнітних завад, і також, що при підвищенні значення потужності ЕП ціни на ЕП з змінним струмом та постійним стають вже схожими [8].

1.3 Метод обрання трансформаторів для мереж розподіленої генерації та розподільних електричних мереж.

З аналізу у попередньому розділу, було відмічено, що розподілена генерація швидко розвивається та інтегрується в усьому світі та в тому числі і в енергетиці України. Розподілена генерація, зазвичай, відноситься до обладнання для виробництва електричної енергії, що знаходиться біля

навантаження, від декількох кВт до 10 МВт, безпечно, ефективно та екологічно. У розподілених мережах є багато переваг серед них – надійність, низькі інвестиції, гнучкість і. т. д.

Проте і у роботі цієї мережі є декілька проблем. Одна з них це підключення системи розподіленої генерації до центральної енергосистеми. Для цього необхідно обрати належні трансформатори, такі, які відповідали б вимогам заземлення в розподільних мережах [8].

Якщо невірно обрати обладнання, у різних режимах мережі, можуть виникнути деякі проблеми, як наприклад, гармоніки, координація релейного захисту, ізоляція, явище ферорезонансу [9].

Тому виникає потреба у дослідженні та виборі мережевого трансформатора, який буде Задовольняти усім вимогам, до заземлення розподільних мереж.

Потрібно спочатку розглянути нейтральні режими заземлення у розподільних мережах. Таких режимів може бути три:

1. Ізольована нейтраль. Нейтральним режимом заземлення розподільної мережі багатьох електроенергетичних комплексів, підприємств та міст є саме ізольований нейтральний режим. Перевага системи з ізольованою нейтраллю є в тому, що при виникненні режиму однофазного замикання на землю, лінійна напруга зберігає своє значення стабільно, в той час, як фазна напруга збільшується приблизно в 1,73 разів. І навіть, якщо струм заземлення мережі має низьке значення, розподільна мережа все одно може продовжувати працювати ще протягом 1-2 годин. А цього часу, зазвичай, достатньо для ремонту або введення автономного резерву живлення, що значно підвищує надійність системи живлення. Однак, в такій ситуації є і недоліки – буде виникати перенапруження, таке, як з ферорезонансних перенапруг та дуги заземлення, що буде проходити через електричну мережу.

2. Глухозаземлена нейтраль з котушкою гасіння дуги. Для того, щоб виключити можливість перенапруження зверх резонансу та заземлення дуги, поміж землею та нейтральною точкою встановлюють котушку гасіння дуги.

Тож, коли відбувається однофазне замикання на землю, однофазний струм ємності заземлення буде компенсуватися котушкою гасіння дуги, а лінійна напруга при цьому залишається постійною. Якщо аварійний режим є тимчасовим(мережа сама відновитися), тоді струм через заземлення буде значно зменшений, а дуга згасне автоматично. Залишкова напруга відмови після цього, стане невеликим значенням. Ще один хороший момент полягає в тому, що однофазному замиканні на землю, значення перегріву не може бути вище ніж у 2.8 рази.

3. Глухозаземлена нейтраль при малому значенні опору. В такому режимі опір заземлення може становити значення 10 - 20 Ом, у нейтральній точці трансформатора заземлення. Під час різних збоїв та аварійних режимів, опір поглинає енергію дуги до тих пір, поки дуга згасне. Напруга нейтральної точки, при цьому буде мати низьке значення, тому й можливість виникнення повторного запалювання та рівень перенапруги будуть невеликі. Такий режим заземлення значно спрощує роботу та захист реле, і тому він широко використовується в розподільних мережах великих міст, особливо, у кабельній розподільній мережі [12].

Визначивши режими розподіленої генерації можна переходити до вибору трансформатора. Якщо система розподіленої генерації працює паралельно з розподільною мережею, тоді необхідно узгодити режими заземлення з обох сторін, інакше стабільна та нормальна робота електромереж буде порушена. Після обрання типу розподіленої генерації, режим заземлення фіксований. Якщо в режимі відсутнє з'єднання з мережею, тоді виникають проблеми з безпекою.

Щоб вирішити дану проблему, можливо вибрати трансформатор між мережею РГ та централізованою електромережею, для виконання регулювання режимом заземлення. Зазвичай, існує чотири види трансформаторів, що можна вибрати:

- 1) З'єднання Зірка / Зірка (позначення Y / Y).

У відповідності зі схемою нульової послідовності трансформатора, в цьому режимі тип заземлення розподіленої генерації залежить від типу заземлення генератора. Тільки, за умови, якщо генератор забезпечує ефективне заземлення, тоді і сам режим Зірка / Зірка є ефективним. Також, цей тип трансформатора не може видалити з системи усі гармоніки, що кратні трьом, і тому він застосовується рідко у мережах.

2) З'єднання Зірка / Трикутник (позначення Y/Δ).

З точки зору розподільних мереж режим «Зірка / Трикутник» забезпечує ефективне заземлення, навіть за умови, що сам генератор не є заземленим. Крім того, трансформатор з'єднання за схемою «Зірка / Трикутник» вже може видаляти усі гармоніки кратні трьом, що суттєво покращує якість живлення. Тож, такий режим краще підходить для розподіленої системи з невеликим значенням опором заземлення. Коли у лінії існує однофазне замикання на землю, не відбувається перенапруги на фазі відмови, це означає жодної шкоди з іншого електричного устаткування не буде. Проте, у результаті використання нової точки заземлення релейний захист розподіленої мережі буде порушений. Особливо послаблення чутливості захисту з нульовою послідовністю чи цей захист не активується. Тому необхідно обрати вірно повний опір заземлення для зменшення цього впливу.

3) З'єднання Трикутник / Зірка (позначення Δ/Y);

4) З'єднання Трикутник / Трикутник (позначення Δ/Δ).

Сполучні трансформатори Трикутник / Зірка та Трикутник / Трикутник мають обмотку «трикутника», відповідно, з боку розподільної мережі, тому їх можна розглядати разом і відразу зауважити, що при такому з'єднанні присутні гармоніки кратні трьом. Захист від нульової послідовності залишається сталою величиною. Тож, такі два види трансформаторів можуть підійти для системи з глухо заземленою нейтраллю з котушкою гасіння дуги чи з ізольованою нейтраллю. Проте якщо вони працюють у системі з невеликим значенням опору заземлення, існує проблема перенапруги. До прикладу, під час однофазного замикання на землю, фаза несправності спрацьовує для захисту обладнання.

Тому що сторона від мережі трансформатора є обмоткою у вигляді «трикутника», де лінійна напруга залишається незмінною, а фазна напруга збільшується рівня лінійної напругу, рівень підвищується в 1.73 рази. Тож потрібно встановити захист від виникнення перенапруги, щоб відключити систему з РГ від силової мережі, коли відбувається перенапруження.

Отже, можна зробити висновок, що для електромереж з малим значенням опору заземлення, необхідне ефективне заземлення системи розподіленої генерації для того, щоб уникнути перенапруження. Тому, з'єднувальні трансформатори типу «Трикутник / Зірка з нетраллю» та «Трикутник / Трикутник» не підходять.

З'єднання Зірка / Трикутник є кращим вибором, однак тут треба відрегулювати налаштування повного опору захисту та заземлення для того, щоб зберегти чутливість самого захисту від нульової послідовності. Для електричних мереж з малою струмовою нейтраллю заземлення потрібна ізолювана нейтраль у системі розподіленої генерації [12].

2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.

Для виконання побудови математичної моделі необхідно провести попередній розрахунок усіх основних параметрів елементів.

2.1. Розрахунок параметрів трансформатора.

Для початку виконаємо розрахунок параметрів трансформатора, почнемо з визначення номінального струму первинної та вторинної (або високого та низької напруги) обмотки трансформатора [8].

$$I_{BH} = \frac{S_{HOM}}{U_{BH} \cdot \sqrt{3}} = \frac{630 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3}} = 36.4 [A] \quad (2.1)$$

$$I_{HH} = \frac{S_{HOM}}{U_{HH} \cdot \sqrt{3}} = \frac{630 \cdot 10^3}{0.4 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3}} = 909.5 [A] \quad (2.2)$$

При цьому коефіцієнт трансформації можна визначити за (2.3).

$$K_T = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} = \frac{10 \cdot 10^3}{0.4 \cdot 10^3} = 25 \quad (2.3)$$

Важливим етапом в розрахунку є визначення показників опорів трансформатора під час досліду холостого ходу та короткого замикання. Визначення параметрів під час режиму холостого ходу приведені на (2.4–2.6).

$$Z_{XX} = \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot I_{BH} \cdot I_{XX}} = \frac{10 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 36.4 \cdot 0.017} = 9334 \approx 9.35 \text{ кОм} \quad (2.4)$$

$$R_{XX} = \frac{P_{XX}}{3 \cdot (I_{BH} \cdot I_{XX})^2} = \frac{1250}{3 \cdot (36.4 \cdot 0.017)^2} = 1090 = 1.09(\text{кОм}) \quad (2.5)$$

$$X_{XX} = \sqrt{Z_{XX}^2 - R_{XX}^2} = \sqrt{(9.35^2 - 1.09^2) \cdot 10^3} = 9276 \approx 9.28 \text{ кОм} \quad (2.6)$$

Параметри трансформатора у режимі короткого замикання розраховуються за (2.7–2.9).

$$Z_{K3} = \frac{U_{BH} \cdot U_{K3}}{\sqrt{3} \cdot I_{BH}} = \frac{10000 \cdot 0.055}{\sqrt{3} \cdot 36.4} = 8.73 \text{ Ом} \quad (2.7)$$

$$R_{K3} = \frac{P_{K3}}{3 \cdot I_{BH}^2} = \frac{8500}{3 \cdot 36.4^2} = 2.13 \text{ Ом} \quad (2.8)$$

$$X_{K3} = \sqrt{Z_{K3}^2 - R_{K3}^2} = \sqrt{8.73^2 - 2.13^2} = 8.48 \text{ Ом} \quad (2.9)$$

Одним із методів вивчення роботи трансформатора є еквівалентна схема заміщення, де магнітний зв'язок поміж трансформаторними обмотками заміщений на електричний зв'язок, а відповідно параметри вторинної обмотки трансформатора приведені до числа витків первинної.

У трансформаторі значення магнітного потоку не є залежним від навантаження, і тому його можливо представити, як індуктивний опір x_m та активний опір r_m , що може бути обумовлено магнітними втратами та протікаючими ними струм холостого ходу (I_0). Такі значення параметрів можна порахувати за досвіді холостого ходу трансформатора.

При зміні параметри Z_H у схемі заміщення, можливо отримати будь-який режим роботи трансформатора. До прикладу, під час розімкнутої вторинної обмотці, коли $Z_H = \infty$, тоді відбувається режим холостого ходу трансформатора, а якщо параметр $Z_H = 0$, тоді відбувається режим короткого замикання. При будь-яким проміжним значенням Z_H , трансформаторам знаходиться у режимі роботи під навантаженням. Сам режим роботи потрібен для визначення параметрів схеми заміщення [8].

Параметри Т-подібної схеми заміщення трансформатора представлені на рис. 2.1.

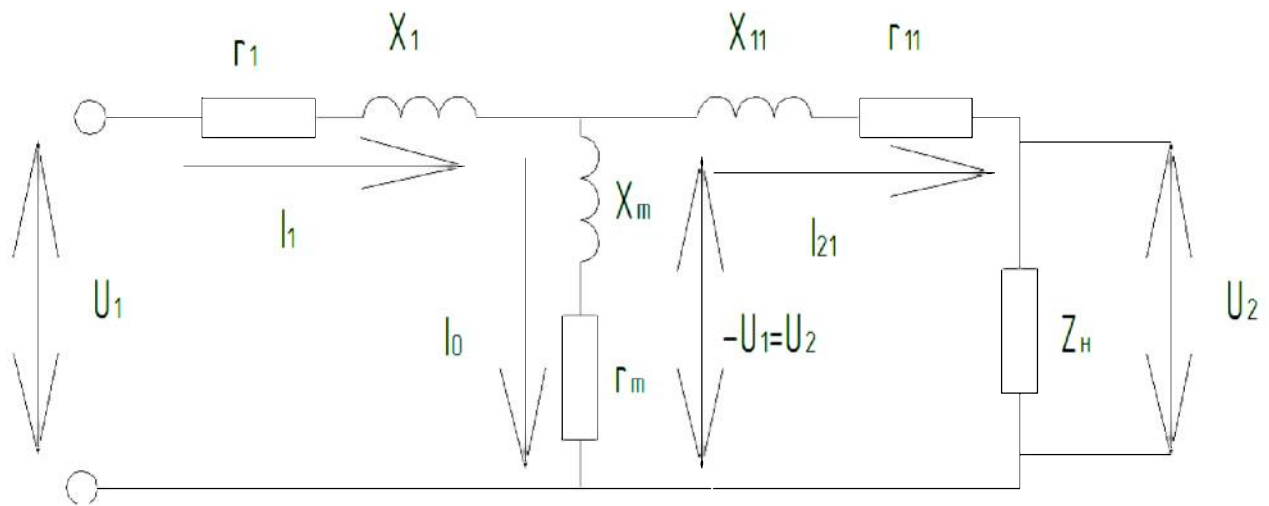


Рисунок 2.1 – Т-подібна схема заміщення трансформатора

На рис. 2.1. показані наступні параметри:

r_1 – значення активного опору первинної обмотки трансформатора;

x_1 – значення індуктивного опору первинної обмотки трансформатора;

r_2 – активний опір вторинної обмотки трансформатора;

x_2 – індуктивний опір вторинної обмотки трансформатора;

Z_H – значення повний опір навантаження.

Розрахунок значень активних опорів на первинній та вторинній обмотці трансформатору.

$$R_1 = \frac{R_{K3}}{2} = \frac{2.13}{2} = 1.065 \text{ Ом} \quad (2.10)$$

$$R_2 = \frac{R_1}{K_T^2} = \frac{1.065}{625} = 0.0017 = 1.7 \text{ мОм} \quad (2.11)$$

Також варто розрахувати індуктивні значення обох обмоток, що наведено на (2.12-2.15).

$$X_1 = \frac{X_{K3}}{2} = \frac{8.48}{2} = 4.24 \text{ Ом} \quad (2.12)$$

$$X_2 = \frac{X_1}{K_T^2} = \frac{4.24}{625} = 6.8 \text{ мОм} \quad (2.13)$$

$$L_1 = \frac{X_1}{\omega} = \frac{4.24}{314} = 0.0135 = 13.5 \text{ мГн} \quad (2.14)$$

$$L_2 = \frac{X_2}{\omega} = \frac{0.0068}{314} = 0.000022 = 22 \text{ мкГн} \quad (2.15)$$

Необхідно також виконати розрахунки опорів у магнітному ланцюзі схеми заміщення. Значення магнітного потоку не залежить від величини навантаження, і тому його представляють, як індуктивний опір x_m , активний опір r_m , що обумовлено магнітними втратами та протікає через них I_0 *струм холостого ходу). Дані параметри визначаються за дослідом холостого ходу трансформатора.

$$R_m = R_{XX} - R_1 = 1089.8 - 1.065 = 1088.75 = 1.089 \text{ кОм} \quad (2.13)$$

$$X_m = X_{XX} - X_1 = 9273.3 - 4.24 = 9269 = 9.27 \text{ кОм} \quad (2.14)$$

$$L_m = \frac{X_m}{\omega} = \frac{9269.1}{314} = 29.5 \text{ Гн} \quad (2.15)$$

2.2 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна.

Під час практичних розрахунків, замість реального асинхронного електродвигуна, схематично його замінюють на еквівалентну схему заміщення, де електромагнітний зв'язок замінили на електричний. Та при цьому параметри ланки ротора приводяться до параметрів ланки статора.

Схема заміщення асинхронного двигуна дуже схоже на схему заміщення трансформатора. Різниця полягає тільки в тому, що у АД електроенергія перетворюється в механічну, а не знову в електричну, як у трансформатора, і тому у структурі схемі заміщення додають ще змінний активний опір r_2' , яке залежить від величини ковзання. У трансформаторі ж подібним опором є навантаження Z_n [9].

Значення ковзання визначає параметр змінного опору, до прикладу, якщо немає навантаження на валу, тоді величина ковзання практично близька до нуля $s \approx 0$, це означає, що змінний опір йде до нескінченності, що і відповідає випадку холостого ходу. І ситуація відбувається навпаки, під час перевантаження електродвигуна, коли $s = 1$, значення опору дорівнює нулю, що і відповідає режиму короткого замикання.

Як і в трансформатора, в асинхронного двигуна також є Т-подібна схема заміщення, яка показана на рис 2.2 [11].

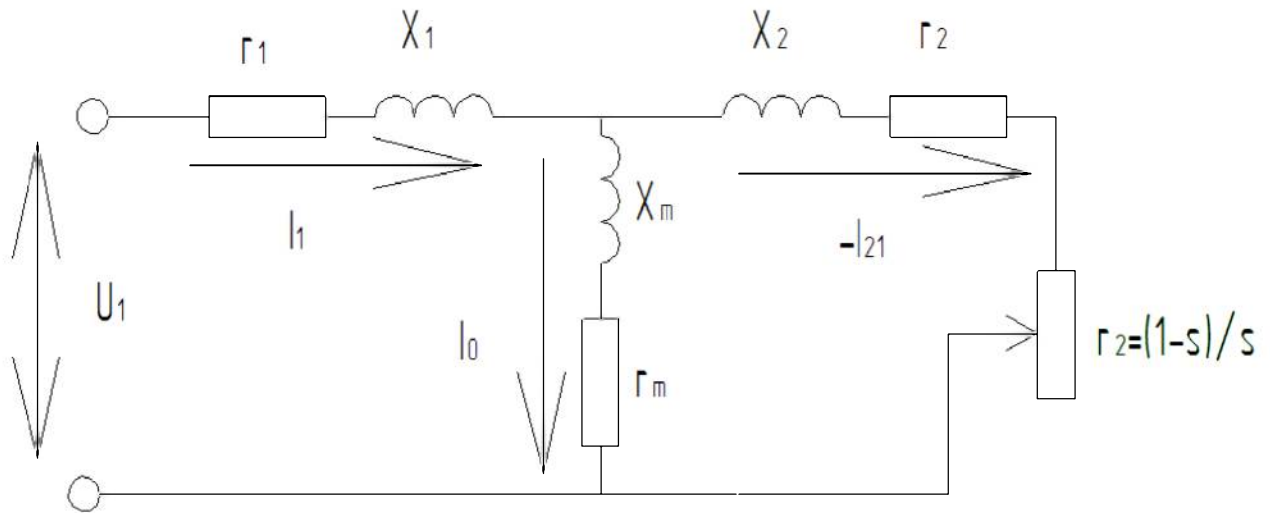


Рисунок 2.2 – Т-подібна схема заміщення асинхронного електродвигуна

Для початку розрахунку необхідно визначити значення індуктивного опору розсіювання статора (2.16).

$$X_{\sigma s} = \frac{1}{K_i} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{3 \cdot 7} = 0.048 \quad (2.16)$$

Далі знайдемо струм холостого ходу, який приймемо рівним значенню струму намагнічування (2.17).

$$\begin{aligned} I_{\mu} &= \sin \phi_n - \cos \phi_n \cdot (M_m - \sqrt{M_m^2 - 1}) = \\ &= 0.456 - 0.89 \cdot (2.5 - \sqrt{2.5^2 - 1}) = 0.26 \text{ (в.о.)} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Знайдемо індуктивний опір ланцюга намагнічування (2.18).

$$X_{\mu} = \frac{1}{I_{\mu}} - X_{\sigma s} = \frac{1}{0.26} - 0.048 = 3.67 \quad (2.18)$$

Також визначаємо входні опори електричного двигуна під час роботи в номінальному режимі при s_n (2.19).

$$\begin{aligned} R_{ex}^{S_H} &= \cos \phi'_H = 0.88 \\ X_{ex}^{S_H} &= \sin \phi'_H = 0.46 \end{aligned} \quad (2.19)$$

І в цей же спосіб можливо тепер знайти значення під час пускового режиму електродвигуна, при $s=1$ (2.20-2.21).

$$R_{ex}^{S=1} = R_s + \frac{M_{II} \cdot \eta'_H \cdot \cos \phi'_H}{(1 - s_H) \cdot K_i^2} = 0.014 + \frac{1.2 \cdot 0.921 \cdot 0.88}{(1 - 0.014) \cdot 7^2} = 0.033 \quad (2.20)$$

$$X_{ex}^{S=1} = \sqrt{\frac{1}{(K_i)^2} - (R_{ex}^{S=1})^2} = \sqrt{\frac{1}{7^2} - 0.033^2} = 0.14 \quad (2.21)$$

Необхідно також знайти і провідності ротора $Q_R^{S_H}$, $B_R^{S_H}$ при s_n и $Q_R^{S=1}$, $B_R^{S=1}$ при $s=1$ (2.22–2.25).

$$\begin{aligned} Q_R^{S_n} &= \frac{R_{ex}^s - R_s}{(X_{ex}^s - X_{\sigma s})^2 + (R_{ex}^s - R_s)^2} = \\ &= \frac{0.897 - 0.014}{(0.46 - 0.048)^2 + (0.88 - 0.014)^2} = 0.945 \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} B_R^{S_n} &= \frac{X_{ex}^s - X_{\sigma s}}{(X_{ex}^s - X_{\sigma s})^2 + (R_{ex}^s - R_s)^2} - \frac{1}{X_\mu} = \\ &= \frac{0.456 - 0.048}{(0.46 - 0.048)^2 + (0.88 - 0.014)^2} - \frac{1}{3.67} = 0.275 \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$Q_R^{s1} = \frac{R_{ex}^{s1} - R_s}{\left(X_{ex}^{s1} - X_{\sigma s}\right)^2 + \left(R_{ex}^{s1} - R_s\right)^2} =$$

$$= \frac{0.033 - 0.014}{\left(0.14 - 0.048\right)^2 + \left(0.033 - 0.014\right)^2} = 2.32 \quad (2.24)$$

$$B_R^{s1} = \frac{X_{ex}^{s1} - X_{\sigma s}}{\left(X_{ex}^{s1} - X_{\sigma s}\right)^2 + \left(R_{ex}^{s1} - R_s\right)^2} - \frac{1}{X_\mu} =$$

$$= \frac{0.14 - 0.048}{\left(0.14 - 0.048\right)^2 + \left(0.033 - 0.014\right)^2} - \frac{1}{3.66} = 21.1 \quad (2.25)$$

Для виконання подальшого розрахунку приймаємо параметри першого контуру R_{r1} , $X_{\sigma r1}$, рівному результуючому опору ротора в номінальному режимі, як на (2.26–2.27).

$$R_{r1} = \frac{Q_R^{Sn}}{\left(B_R^{Sn}\right)^2 + \left(Q_R^{Sn}\right)^2} \cdot S_n = \frac{0.945}{0.275^2 + 0.945^2} \cdot 0.014 = 0.0135 \quad (2.26)$$

$$X_{\sigma r1} = \frac{B_r^{Sh}}{\left(B_r^{Sh}\right)^2 + \left(Q_r^{Sh}\right)^2} = \frac{0.275}{0.275^2 + 0.945^2} = 0.285 \quad (2.27)$$

А для визначення параметрів другого контуру R_{r2} , $X_{\sigma r2}$ необхідно знайти їх як різницю між результуючої провідністю ротора за умови $s=l$ та провідність першого контуру ротора за умови $s=l$.

$$Q_{r2} = Q_r^{s1} - \frac{R_{r1}}{R_{r1}^2 + X_{\sigma r1}^2} = 2.311 - \frac{0.0139}{0.0139^2 + 0.285^2} = 2.14 \quad (2.28)$$

$$B_{r2} = B_r^{s1} - \frac{X_{\sigma r1}}{R_{r1}^2 + X_{\sigma r1}^2} = 21.133 - \frac{0.285}{0.0139^2 + 0.285^2} = 17.64 \quad (2.29)$$

$$R_{r_2} = \frac{Q_{r_2}}{B_{r_2}^2 + Q_{r_2}^2} = \frac{2.14}{17.64^2 + 2.14^2} = 0.007 \tag{2.30}$$

$$X_{\sigma r_2} = \frac{B_{r_2}}{B_{r_2}^2 + Q_{r_2}^2} = \frac{17.64}{17.64^2 + 2.14^2} = 0.056 \tag{2.31}$$

3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ТА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

3.1 Розробка моделей електроприводу з асинхронним двигуном в пакеті Matlab/Simulink.

Сьогодні існує не один десяток програм, в яких можна провести моделювання систем електропостачання. У даній дипломній роботі за розробку та реалізацію моделей відповідав програмний пакет Matlab та його бібліотека Simulink, де й були розроблені моделі. Її застосування дозволяє отримати динамічні характеристики асинхронного двигуна (АД) та досліджувати його поведінку при нормальних, перед аварійних та аварійних режимах роботи [11].

В останні роки споживачі, які мають асинхронний електричний привод, все більш використовують активно його частотне регулювання. Це рішення значно підвищує ефективність роботи асинхронного електроприводу. Для частотно-регульованого ЕП характерні певні специфічні особливості динаміки поведінки в перехідних процесах (ПП) і тому потрібно більш детально дослідити механічні характеристики виробничих механізмів електроприводу.

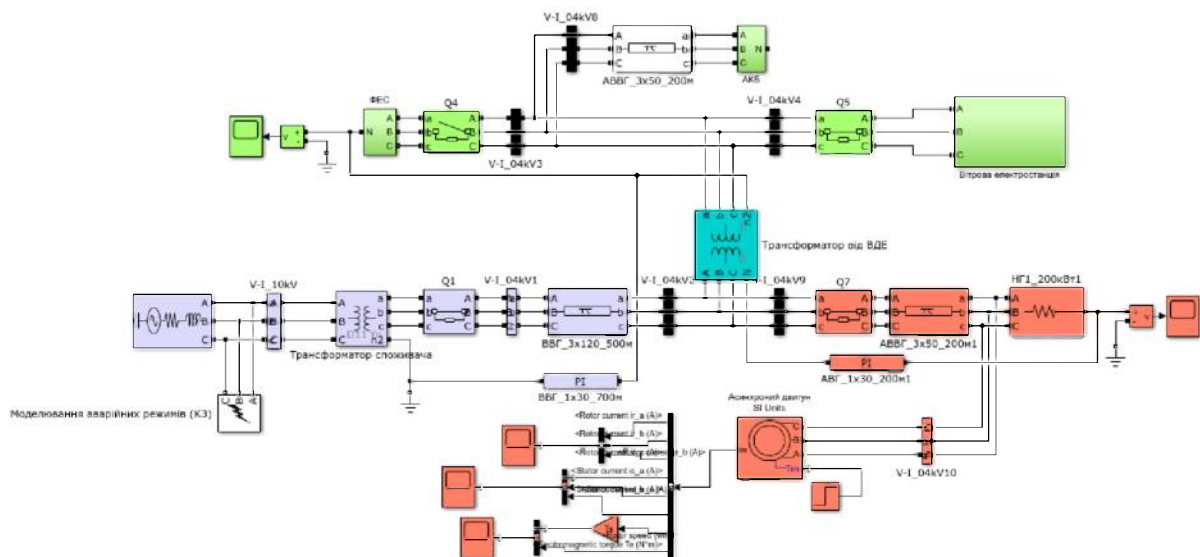


Рисунок 3.1. - Модель для виконання дослідження асинхронного двигуна з
прямим включенням в мережу у програмному пакеті Matlab

На рис. 3.1 представлена модель нерегульованого асинхронного двигуна, що досліджується в даній роботі та була побудована у Matlab за допомогою бібліотеки Simulink.

На рис. 3.2 вже наведено регульований електричний привод, модель, якого також була зібрана у Matlab.

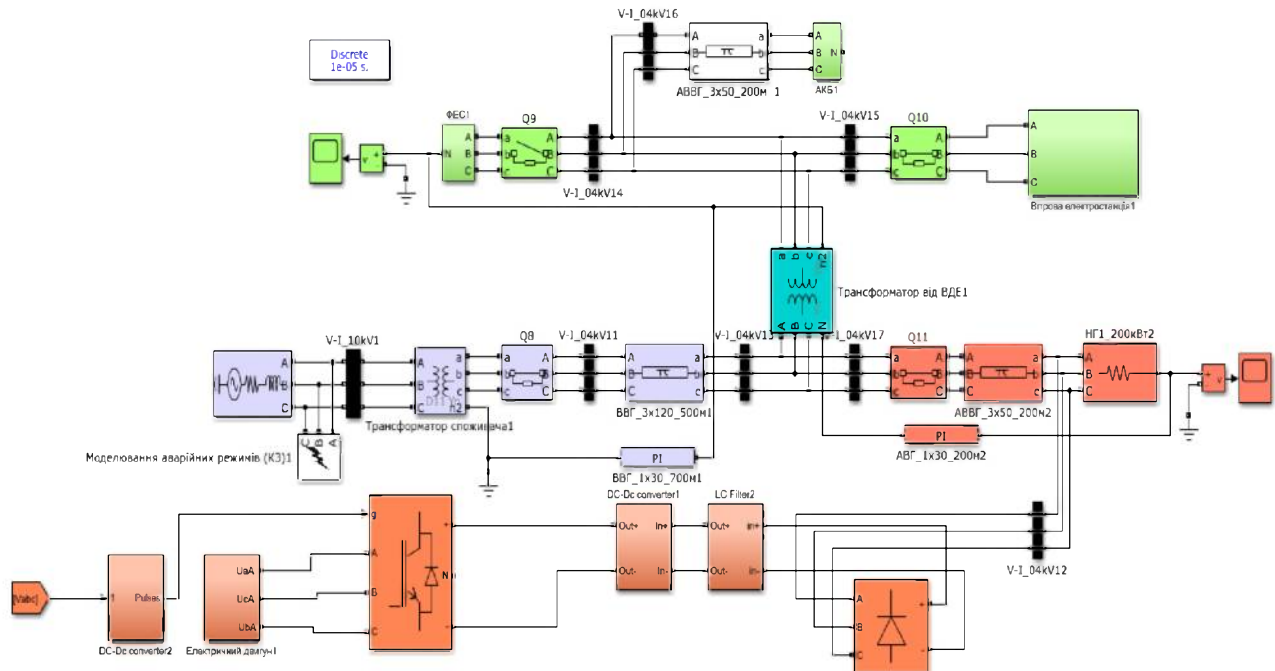


Рисунок 3.2 - Модель для дослідження частотно-регульований електропривод у програмному пакеті Matlab

У цих моделях застосовують наступні блоки та параметри в такому порядку:

- Зовнішнє джерело напруги реалізоване на схемі за допомогою використання блок «Three-Phase Source» (трифазний джерело напруги) з напругою 10 кВ, частотою 50 Гц, потужністю КЗ 100 [МВ•А].

- Трансформатор (Т) був представлений у моделі, за допомогою блока «Three-Phase Transformer» (Two Windings) - трифазний трансформатор з двома обмотками [9].

- Випрямляч, який живить інвертор через зв'язок постійного струму, був представлений у моделі за допомогою блока «Universal Bridge» (Diode bridge) – це трифазний випрямляч типу «зірка» (шести імпульсний).

– Інвертор, призначений для застосування у якості джерела змінної напруги змінної частоти та для живлення асинхронного двигуна, у моделі використовується блок у програмному пакеті Matlab – Universal Bridge (IGBT/Diode bridge), що є аналогом біполярного транзистору із ізольованим затвором, та управляється в замкнутій системі з пропорційно–інтегральним (ПІ) регуляторами (за параметрами струму та швидкості), для того, щоб регулювати значення електричного двигуна.

– Навантаженням, яке імітує роботу інших споживачів електричної енергії, в моделі виступає, підключений до шин джерела напруги ЕЕС, блок 3-Phase Series RLC Load, який моделює трифазний ланцюг. Цей ланцюг складається з трьох послідовних RLC-навантажень. Електрична схема з'єднання цих ланцюгів – трикутник. Для виконання моделювання у прикладному програмному пакеті Matlab застосовувалися наступні параметри трифазного навантаження:

- Значення напруги живлення – $U = 0.4 \text{ кВ}$;
- Значення активної потужності $P = 10 \text{ кВт}$;
- Значення реактивної потужності $Q = 0 \text{ кВАР}$, тобто навантаження повністю активне;
- Значення частоти $f = 50 \text{ Гц}$;

У побудованих моделях у наявності є усі необхідні блоки та вимірювальні пристрої для коректного та наочного відображення діючих і миттєвих величин напруг та струмів. А для детального розгляду роботи електричного приводу в системі електропостачання, під час виконання моделювання були розглянуті наступні ситуації:

- Пусковий режим електродвигуна.
- Автономна робота двигуна (при відключенні від електричної мережі).
- Перед аварійний та аварійний режим в системі електричного постачання (режим короткого замикання) [12].

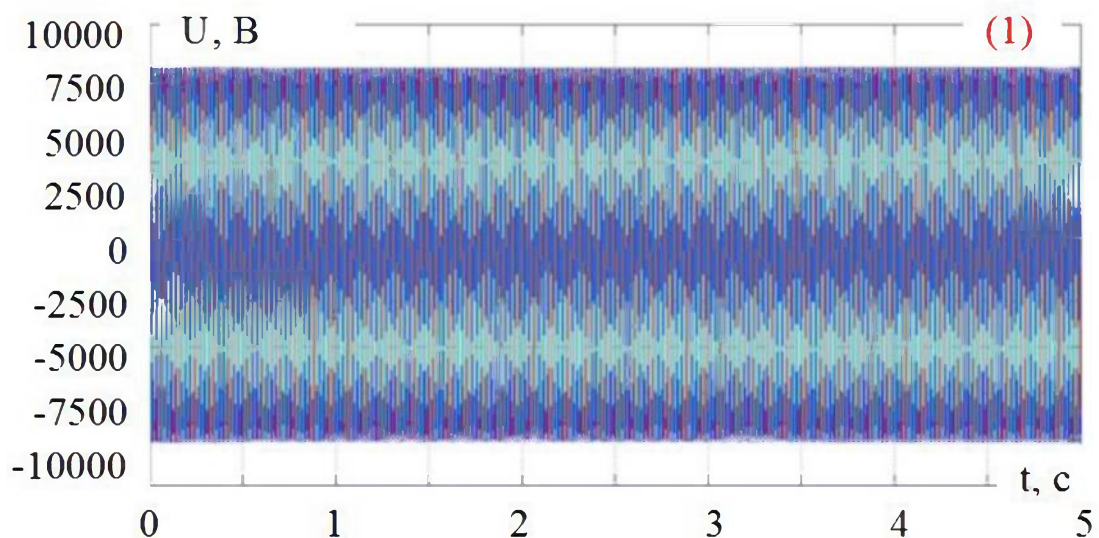
Параметрів основних блоків були наведені в ДОДАТКУ В.

3.2. Пусковий режим асинхронного двигуна

3.2.1. Випадок прямого підключення електродвигуна в електричну мережу

Розроблена модель, яка показані вище на рис 3.1, дозволяє отримати потрібну інформацію для аналізу пускового режиму асинхронного двигуна під час моделювання у нерегульованому і частотно-регульованому режимах та потім їх порівняти між собою [11]..

Один із найбільш простих та найменш затратних методів пуску асинхронних двигунів є прямий пуск. Під час виконання прямого пуску відбувається приєднання обмоток електродвигуна безпосередньо до електричної мережі без відповідної зміни електричних параметрів мережі. Електричні двигуни при цьому отримують живлення безпосередньо від вторинної обмотки трансформатора та без будь-яких перетворювачів. Результатами такого моделювання стали характеристики, що можна побачити на рис. 3.3 та 3.4.



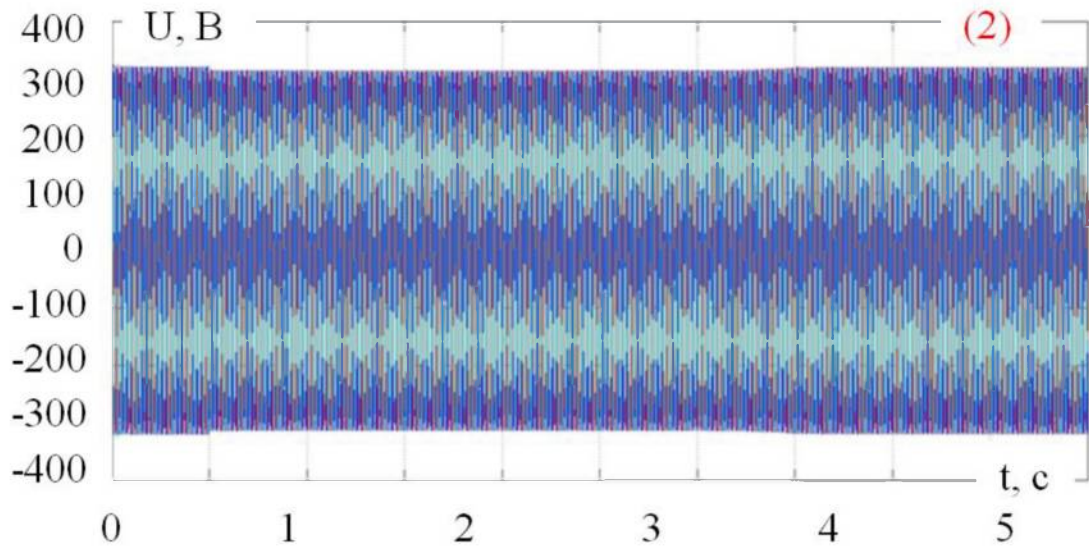
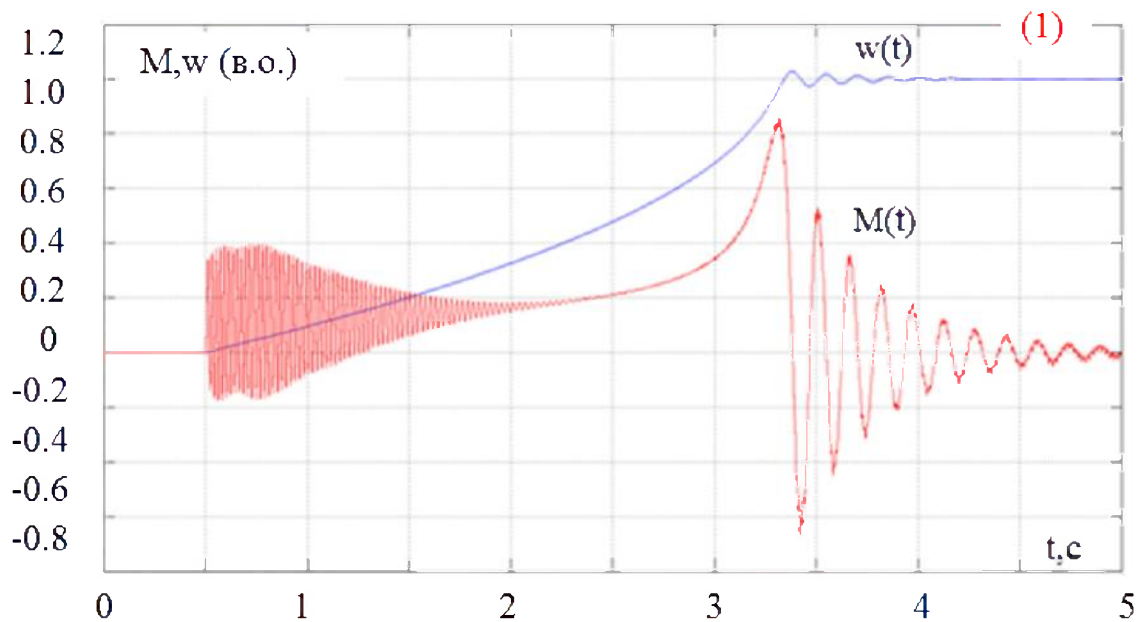


Рисунок 3.3 - Напруга на високій (1) та низькій(2) сторонах трансформатора живлення з генерацією від систем з ВДЕ (ФЕС та ВЕС)

Також в ході моделювання були отримані механічні характеристики ($M(t)$ та $w(t)$), які для наочності будувалися у відносних одиницях) електричного двигуна змінного струму (рис 3.4 а), а також характеристика $I(t)$ (рис 3.4 б).



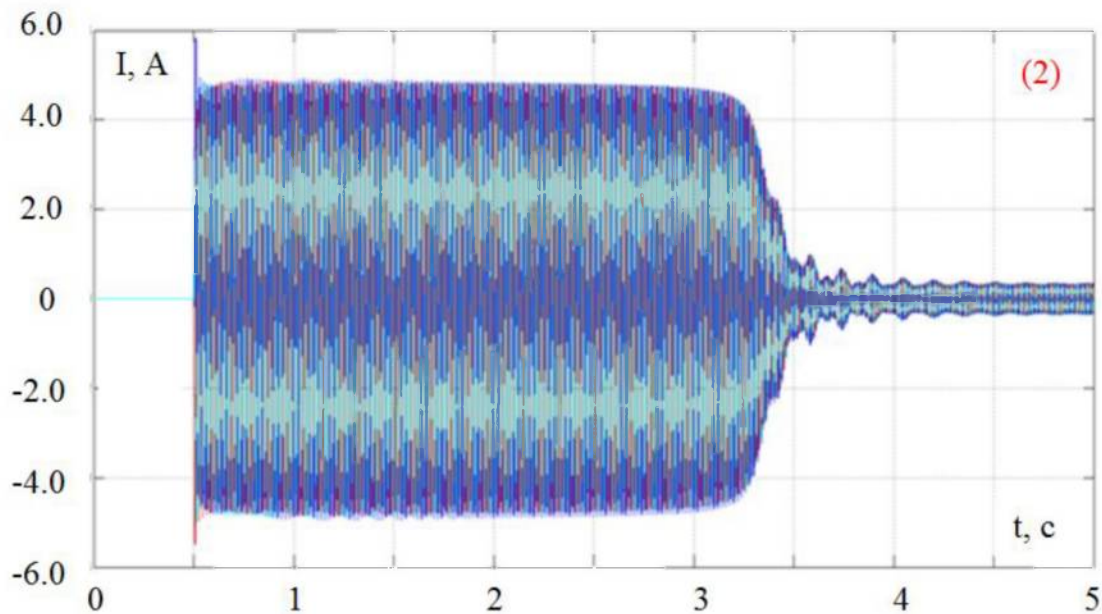


Рисунок 3.4 - Момент, швидкість (1) і струми (2) двигуна у відносних одиницях із застосуванням ВДЕ (ФЕС та ВЕС)

У цій частині дослідів було вирішено порівняти роботу електроприводу під час пуску при роботі у системі з ВДЕ та з прямим пуском від централізованої електричної мережі, тобто коли в моделі на рис. 3.2 немає передачі електроенергії від блоку ВДЕ.

Як видно з графіка рис. 3.5 (А) електродвигун розганяється до природної механічної характеристики на інтервалі від 0.5 до 2.9с. Під час прямого пуску нерегульованого асинхронного двигуна необхідно створити достатній крутний момент, і тому електричному двигуну потрібний велике значення пускового струму, що здатне перевищувати номінальне у 5-8 разів (рис. 3.5 (Б)). Цей стрибок струму зможе за собою спричинити падіння значення напруги і в електричній мережі, і в обмотках трансформатора.

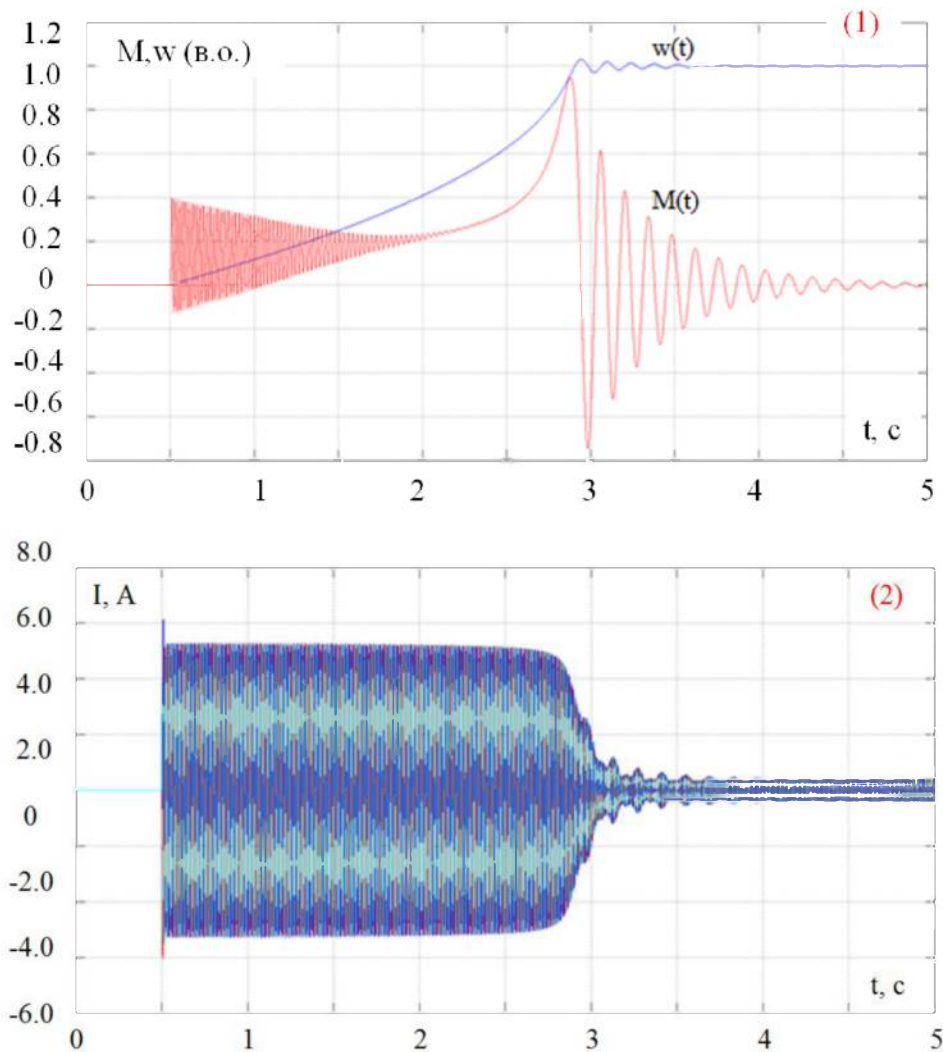


Рисунок 3.5 - Момент, швидкість (1) і струми двигуна (2) у відносних одиницях без використання ВДЕ

Під час паралельного включення у електричну мережу вітрових станцій та фотоелектричних, падіння напруги і на високій і на низькій стороні трансформатора знижується (рис.3.5), кидок струму при цьому зменшується від 5.5 до 4.3 разів від номінального значення, це можливо побачити на графіках. Однак значення моменту на валу при цьому знижується та з'являються ще й вищі гармоніки (0.85%) та тривалість пуску при цьому стає більшою, до 3.4 с. Отже, виконавши порівняння цих двох дослідів, можна зробити висновок, що пуск електричного приводу з джерелами ВДЕ має і негативний вплив на мережу, проте за рахунок зниження значення пускового струму динамічні показники поліпшуються [10].

3.2.2. Пуск електричного двигуна при різних значеннях потужностей трансформатора

Отже, дослідження при пусковому режимі показало, що під час нерегульованому пуску асинхронного двигуна значення струму досягає перевищень значення номінального струму у 5-8 разів. При цьому, хоча через малу інерційність механізму, такий кидок має короткий за часом характер та процес переходить в сталий режим швидко, однак його вплив значно впливає на електричну мережу. Це стрибок струму здатний також викликати відчутне падіння напруги в самій електромережі, і через це порушити роботу усіх інших пристроїв, які отримують живлення від мережі.

Таблиця 2 - Співвідношення між потужностями трансформатора та електродвигуна

Джерело живлення	Гранична потужність електродвигуна під час пуску
Трансформатор, який живить силову мережу	20% потужності трансформатора при частих пусках 30% – якщо рідкісні
Трансформатор, що живить мережу з силовими приладами	5% потужності трансформатора під час частих пусках, 9-10% - при рідкісних

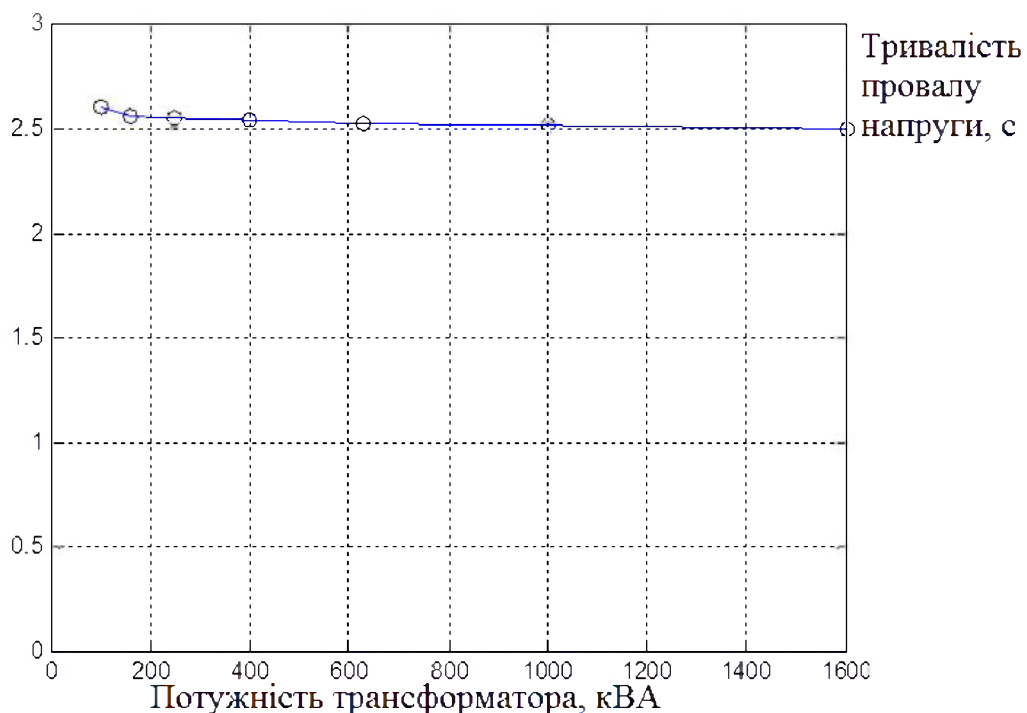
Включення такого електродвигуна в електричну мережу, яке живлення для інших силових пристроїв, обов'язково не повинно стати причиною падіння напруги в мережі більш ніж на 15% від номінального показника. І тому прямий пуск АД при безпосередньому включенні його в електромережу допускається тільки за умови, що потужність електричного двигуна є значно меншою за

потужність джерела енергії, що живить електромережу, це й приведено в таблиці 2.

Також варто пам'ятати про те, що потужність трансформатора впливає безпосередньо на процес пуску електричного двигуна. Тому, через це були зроблені дослідження у схемі прямого пуску при змінних значеннях потужності трансформатора, однак для цього були відключенні від мережі установок з ВДЕ. Самі результати дослідження, шляхом застосування програмному пакету Matlab були зведені в таблицю 3 та побудовані відповідні графіки (рис 1.3).

Таблиця 3 – Результати дослідження, при змінних значеннях потужності трансформатора

Потужність, кВА	100	160	250	400	630	1000	1600
Час провалу напруги, с	2.6	2.57	2.55	2.54	2.52	2.51	2.5
Глибина провалу напруги, %	2.75	2.35	2.3	2.15	2.1	1.53	1.23
Час пуску, с	2.47	2.45	2.44	2.43	2.2	2.39	2.38



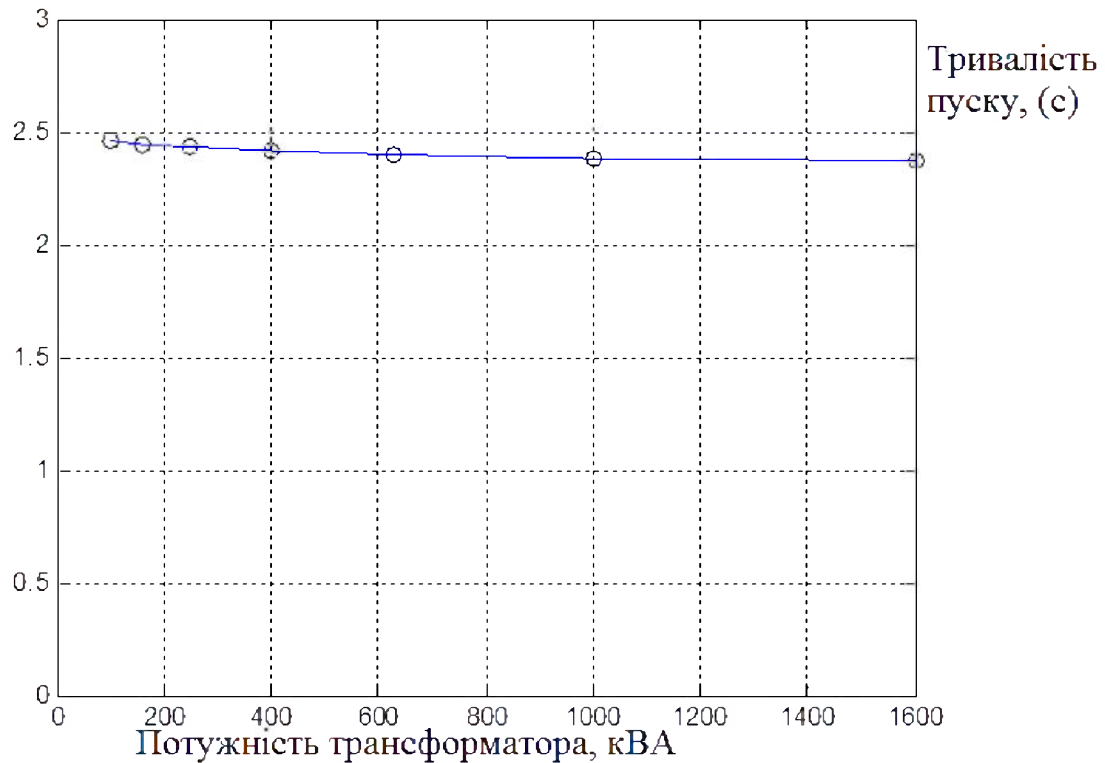


Рисунок 3.6 – Графіки залежності тривалості провалу напруги та пуску від значення потужності трансформатору

Проаналізувавши дані таблиці 3 та залежностей на рис. 3.6 можна зробити висновок про те, що під час використання трансформаторів малої потужності (зі значенням 100 та 160 кВА) тривалість пуску затягується, а падіння напруги збільшується, однак з наступним збільшенням потужності трансформатора просадка за напругою живлення зменшується, при цьому час пуску електродвигуна знижується.

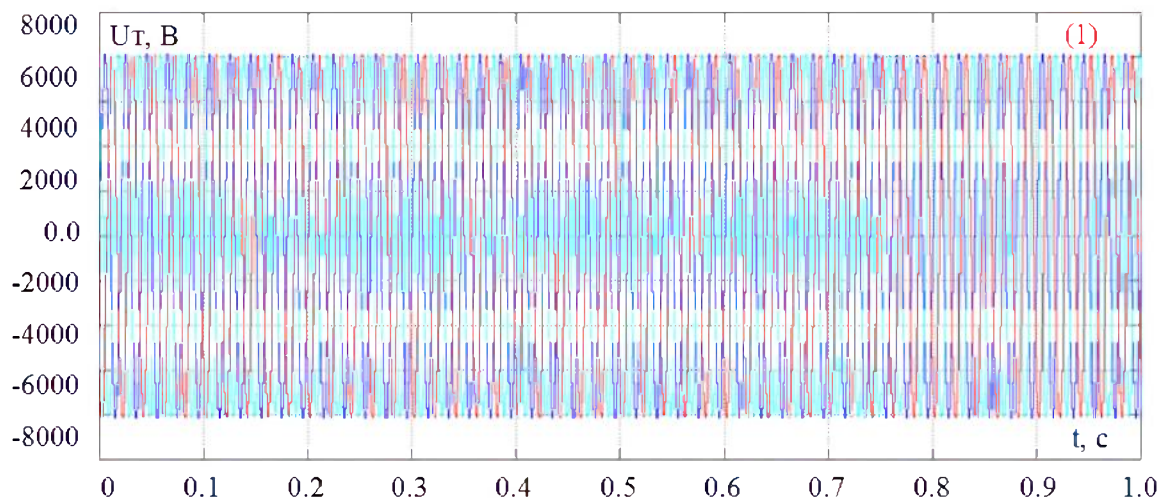
Параметрично якісний прямий пуск АД можливий при умові, якщо потужність самого трансформатора перевищує значення потужності двигуна більше ніж у 5 разів. При цьому напруга на лінії електропередачі майже не може знижуватися в процесі пуску АД.

3.2.3. Застосування частотно-регульованого електроприводу, дослід пуску електродвигуна

Відомо про те, що прямий пуск носить обмеження, що не дозволяють його застосовувати в деяких випадках:

- Неможливо керувати процесом розгону та гальмування електричного двигуна;
- не є можливим регулювати швидкістю;
- механічна навантаження (ударне) під час старту може виявитися за значенням неприпустимим для пристрою чи може зробити шкідливий вплив на користувача;
- кидок або сплеск значення струму на старті здатне внести перешкоди у роботу інших приладів, які підключені до цієї ж лінії живлення;

У побудованій моделі, яка була продемонстрована на рис 3.1–3.2 було проведено також дослідження пуску АД через частотно-регульований перетворювач. Результати дослідів трансформатору в такій системі представлені на рис 3.7.



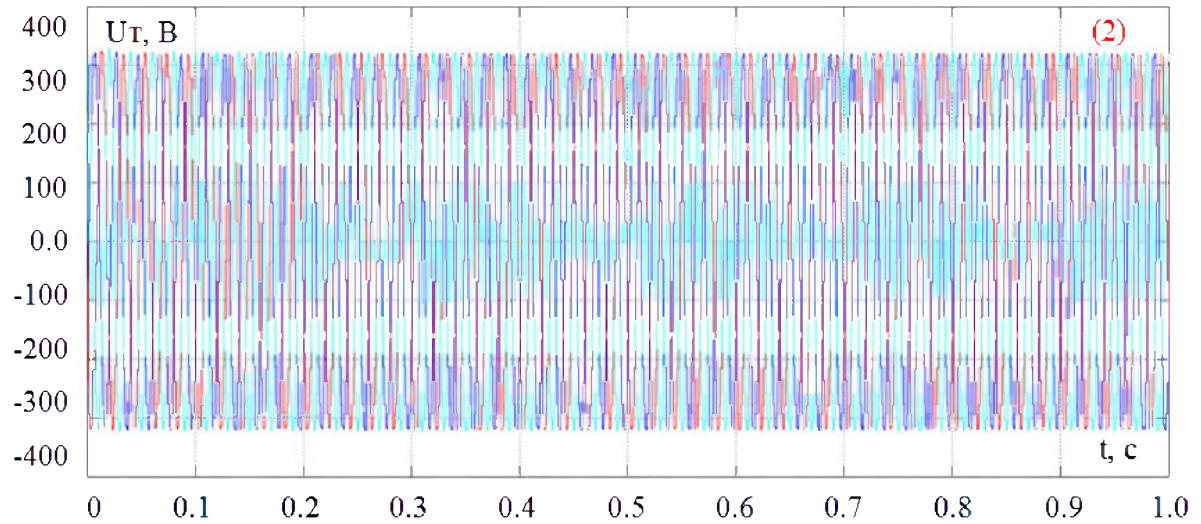
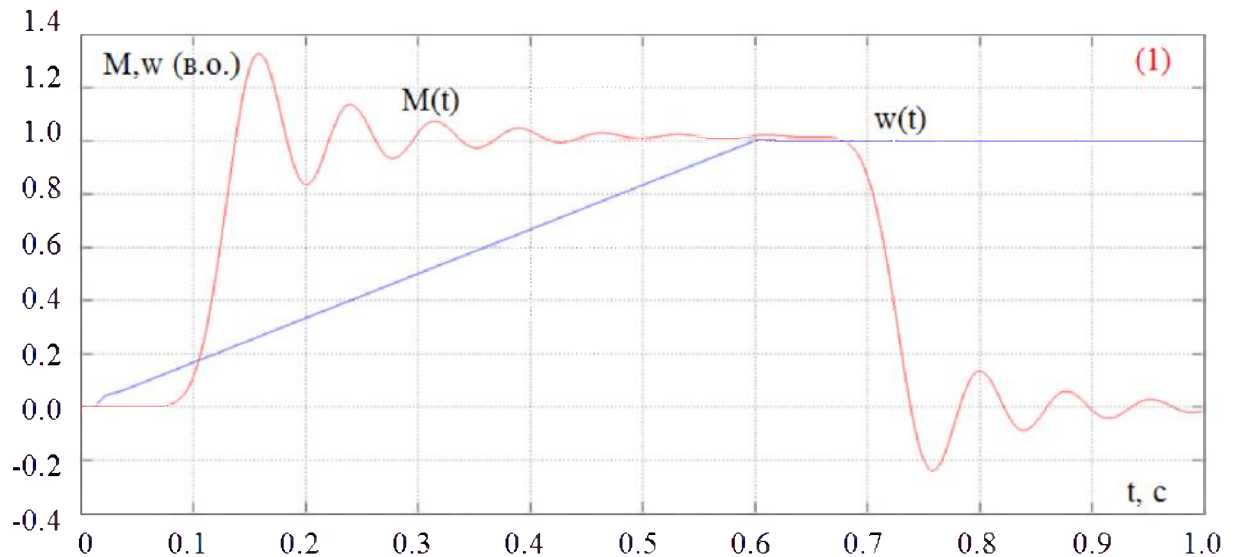


Рисунок 3.7 - Напруги з високого та низького боку живильного трансформатора із застосуванням систем з ВДЕ

Однак, були досліджені й механічні та електричні характеристики самого АД, про що свідчать відповідні залежності, які були побудовані в Matlab та наведені на рис 3.8



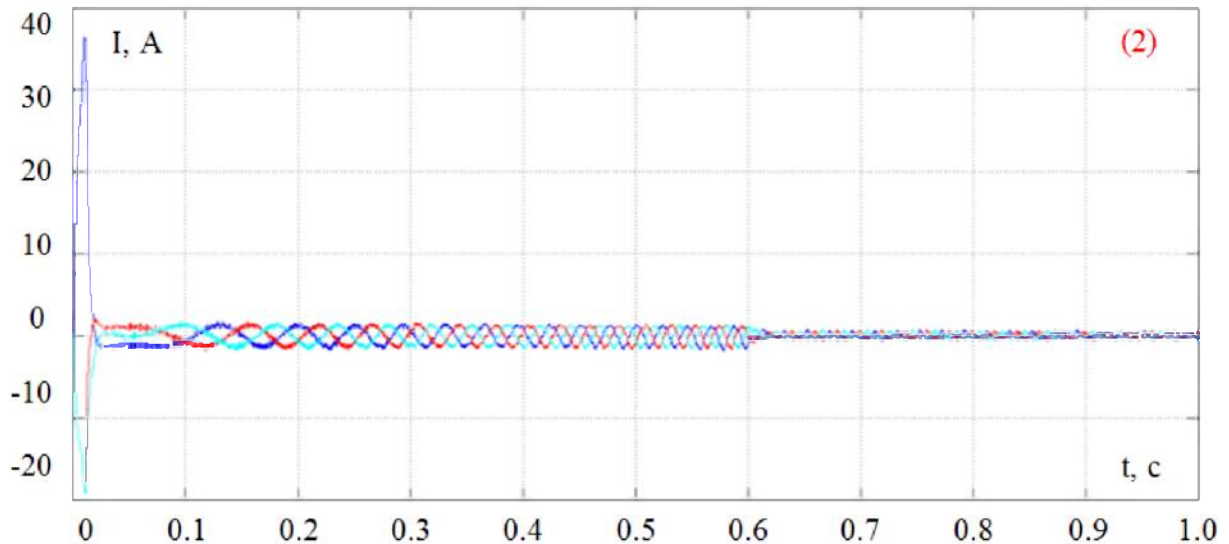


Рисунок 3.8 - Момент, швидкість(А) та струми(Б) електродвигуна у відносні одиницях із системами ВДЕ

За графіками 3.7–3.8 можна побачити, що використання частотно-регульованого електричного приводу (ЧРЕП) дозволяє позбутися від просадки напруги трансформатору живлення. Під час зміни потужності трансформатора отримані схожі результати моделювання. Потрібно зауважити, що час пуску асинхронного двигуна є меншим, ніж при випадку прямого пуску, і також, що при використанні ЧРЕП відбувається плавний пуск, тобто струм пуску не перевищує номінального, більше ніж у 2 рази. Цей метод також може використовуватися в мережі малої потужності. Отже, використання ЧРЕП дозволяє уникати ймовірності перегріву в обмотка, тому що пуск проходить більш плавно і немає без різких стрибків за моментом та струмом.

Проте, під час використання ЧРЕП, як вже було відмічено вище, виникають гармонійні поміхи в мережі. Сумарний коефіцієнт цих гармонійних складових напруги можливо розрахувати за 4.1.

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{n, \text{гп}}^2}}{U_1} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

де $U_{n, \text{гр}}$ – діюче значення n-ої гармонійної складової напруги;

N – порядок останньої врахованої гармонійної складової напруги (як правило $N = 40$);

U_1 – діюче значення напруги основної частоти;

n – порядок гармонійної складової напруги;

При цьому, на рисунку 3.9 були наведені осцилограми напруг на шинах трансформатора під час відключення та включення мережі з розподіленою генерацією у системі електропостачання.

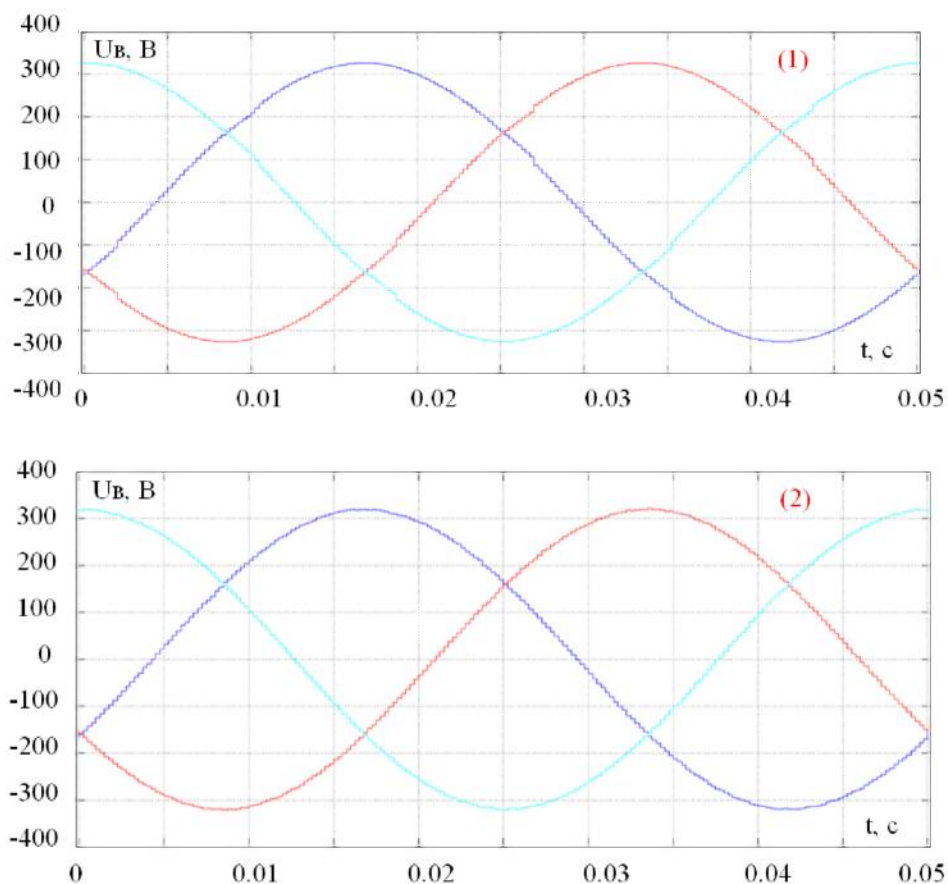


Рисунок 3.9 – Значення напруга на виході трансформатора живлення без (1) та з підключенням (2) до мережі з розподіленою генерацією

З рисунку 3.10 стає зрозуміло, що значення коефіцієнтів вищих гармонік знаходяться в допустимих межах.

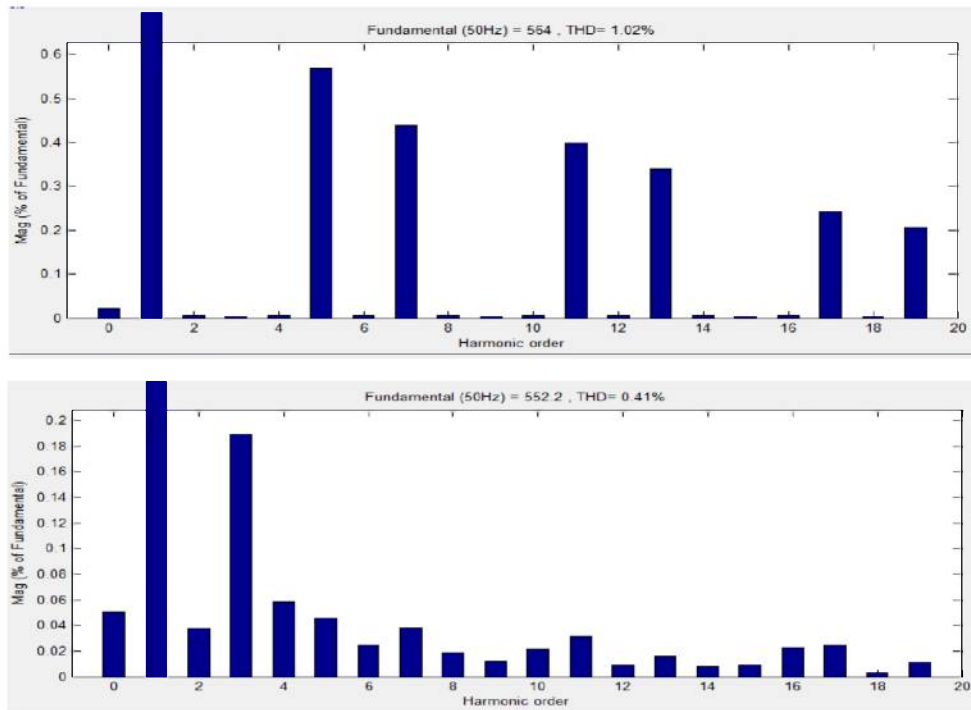


Рисунок 3.10 – Гармонійний склад напруги без (А) і з (Б) підключенням до мережі з розподіленою генерацією

4. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДА В СИСТЕМІ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

4.1 Робота асинхронного електропривода в автономній електричній мережі

Однією з головних переваг під час роботи з мережею розподіленої генерації [10] є здатність електричного устаткування працювати й у випадку відключення основного джерела живлення – централізованої електричної мережі. Отже автономний режим роботи цієї мережі уявляє з себе надходження живлення на обмотки електричного двигуна від альтернативних джерел енергії (у даній роботі такими є ВЕС та ФЕС) через трансформатор, за умови відключення основного джерела електричної енергії. Перемкнувши контакти в моделі (рис. 3.1-3.2) на автономний режим були отримані наступні результати (рис 4.1).

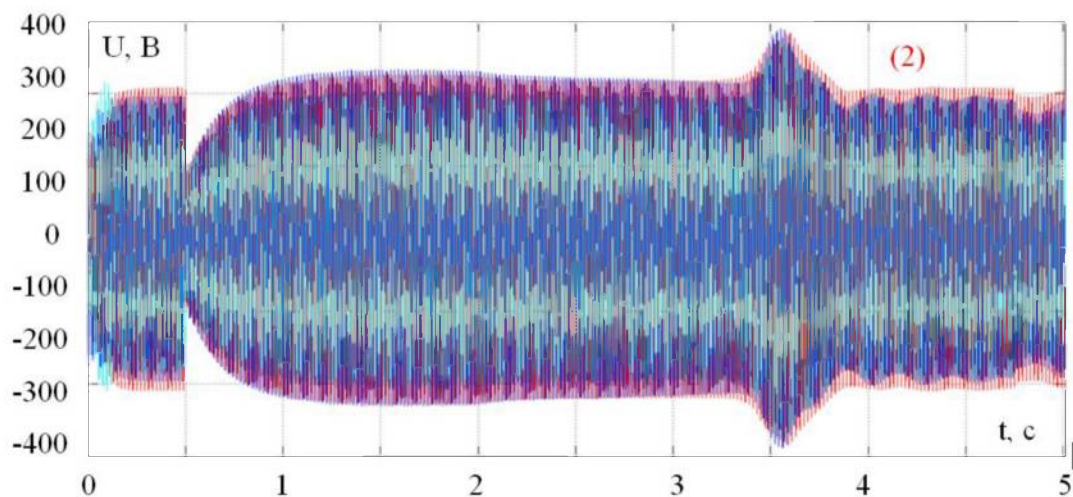


Рисунок 4.1 - Напряга трансформатора живлення

З рис. 4.1 виходить, що амплітудне значення напруги живлення є значно нижчим за те, яке повинно бути встановлено в мережах 0.4кВ. Через невелике значення потужності автономного джерела енергії, якщо порівнювати з

потужністю самої мережі, тобто навантаження дає набагато більше значення падіння напруги під час відключення основного джерела живлення.

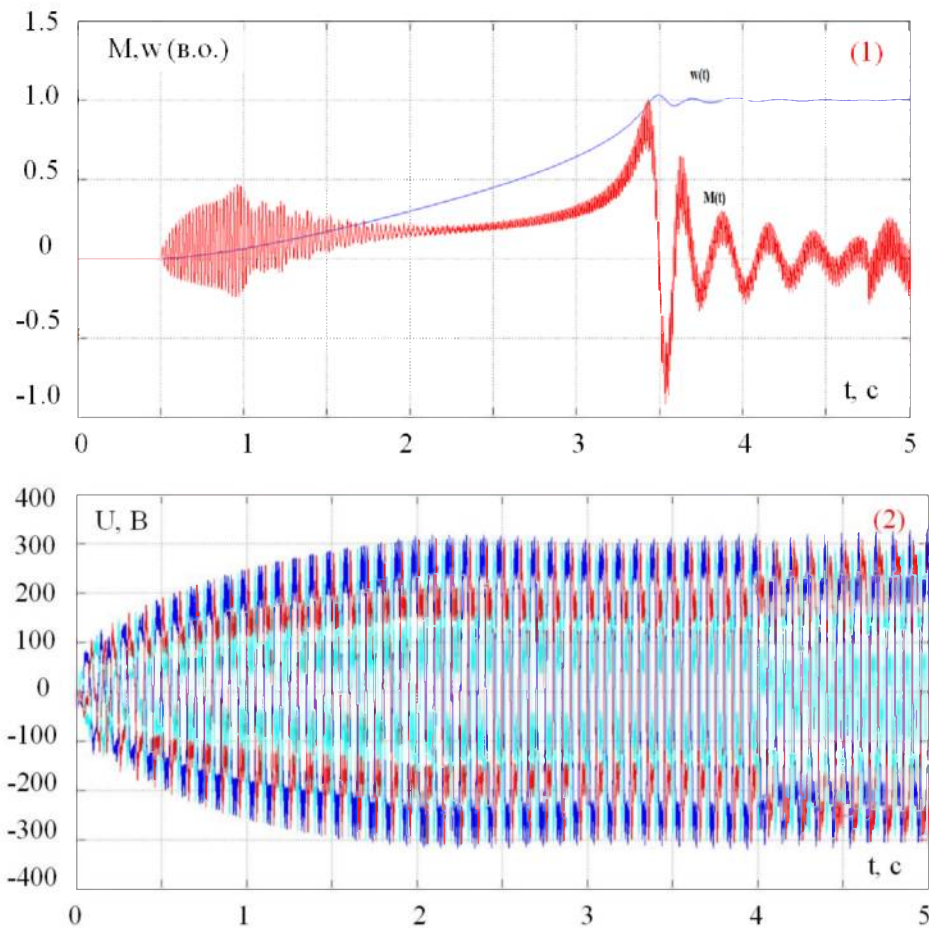


Рисунок 4.2 - Момент, швидкість (1) та струми (2) електричного двигуна у відносних одиницях при роботі в автономній електричній мережі

Отже зі схеми видно, що фотоелектрична станція та вітрогенераторна установка підключаються в електричну мережу за допомогою інвертора, і ця обумовлена поява в даній мережі вищих гармонік. Це явище негативно впливає на роботу всього обладнання, яке підключається до такої мережі, це можна побачити на рис 4.3. Потрібно використовувати фільтри різних родів для зменшення цього коефіцієнту вищих гармонік, до прикладу, котушки індуктивності опори та конденсатори, а також синхронні компенсатори [11].

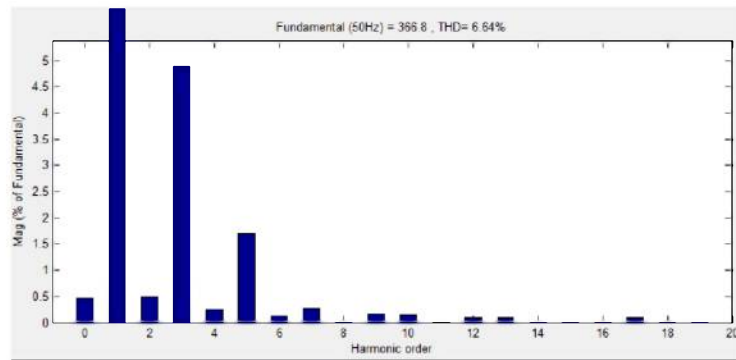


Рисунок 4.3 - Гармонійний складова значення напруги

Під час роботи частотно-регульованого електроприводу в автономній мережі відбувається дещо схожа ситуація з дослідом до цього. Хоча через більш плавний пуск, з меншими стрибками струму та більш гладкої кривої моменту, падіння значення напруга в електричній мережі після закінчення пуску майже відсутнє, що видно на рис. 4.4. Проте застосування інверторного блоку призводить до появи ще більших гармонійних складових.

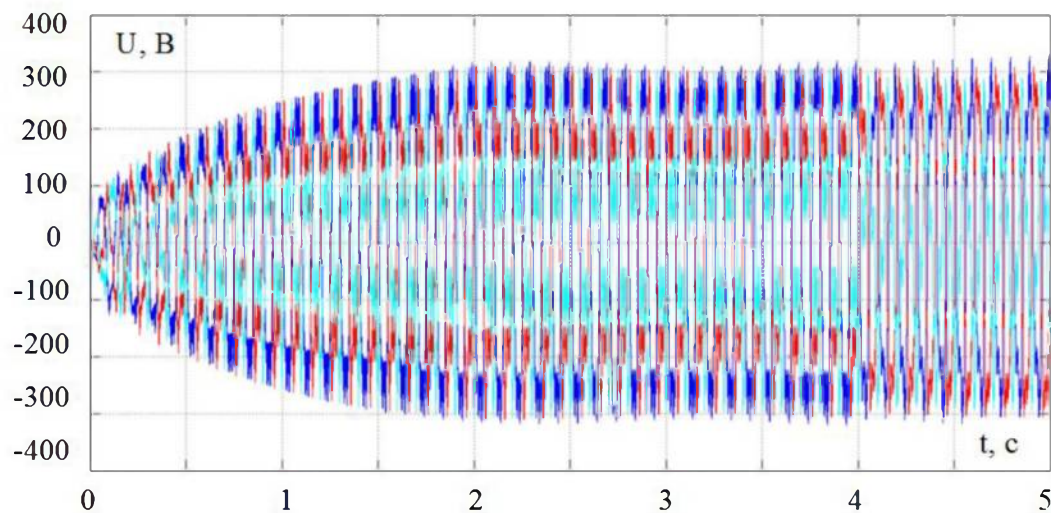


Рисунок 4.4 - Напруга трансформатора живлення для електропривода з частотним регулюванням

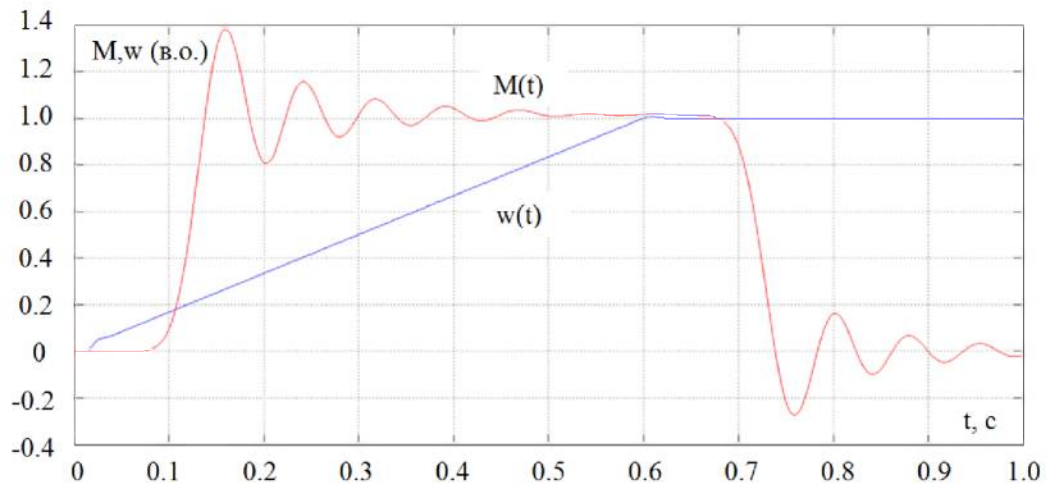


Рисунок 4.5 – Момент, швидкість електричного двигуна у відносних одиницях для електропривода з частотним регулюванням

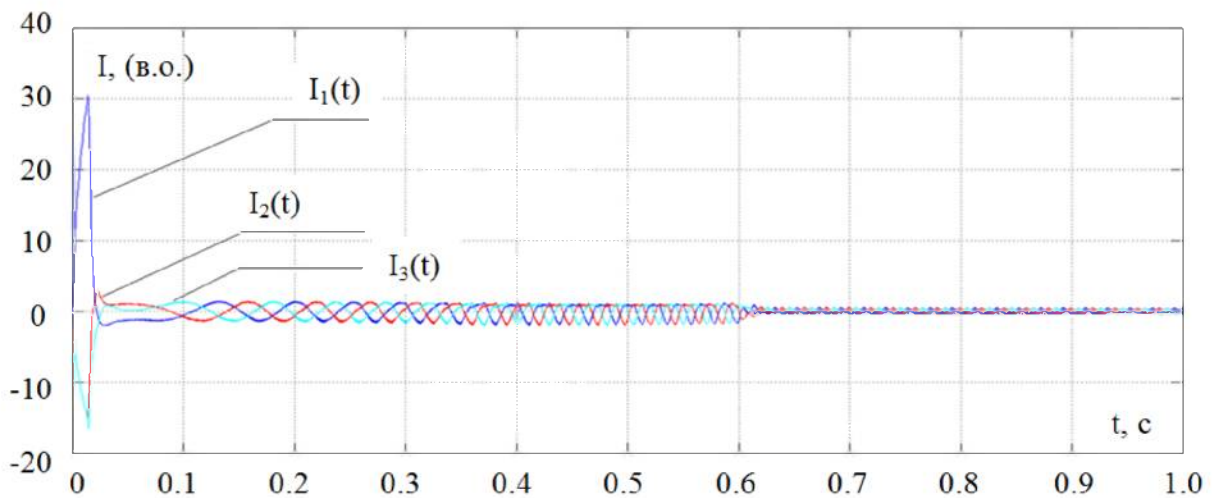


Рисунок 4.6 – Струми електричного двигуна у відносних одиницях для електропривода з частотним регулюванням

В електричній мережі напругою 0,38 кВ сумарне значення коефіцієнтів гармонійних складових напруги має нормально допустимі значення близько 8.0%.

Через те що присутнє в системі перевищення цього значення більш ніж у 2 рази, застосування автономного режиму роботи електричного приводу з частотним регулюванням обмежене необхідністю обов'язковому застосуванні фільтрів.

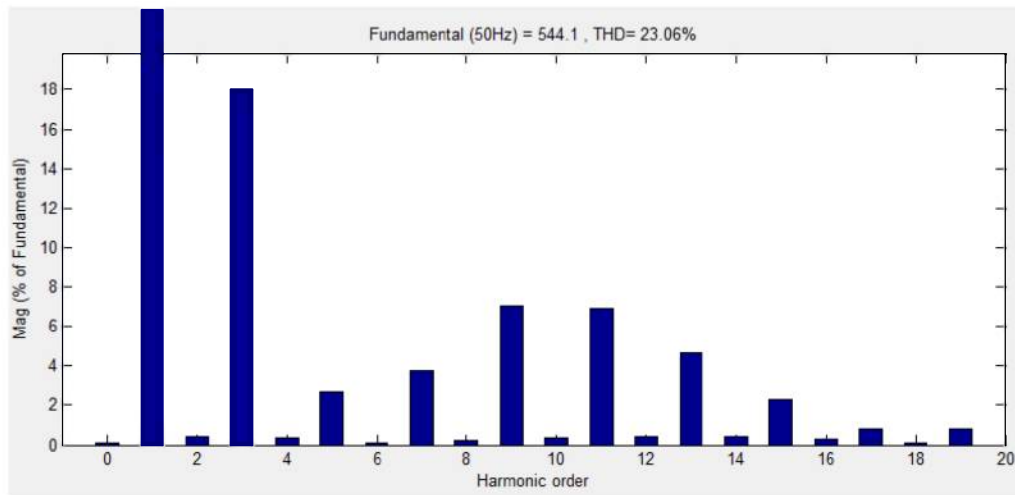


Рисунок 4.7 - Гармонійний склад напруги для електроприводу з частотним регулюванням

4.2 Аварійні режими в електричній мережі з розподіленою генерацією та асинхронним електроприводом.

Актуальним є питання з наукової та практичної точки зору розрахунку перехідних процесів в електромережах розподіленої генерації при виникненні коротких замикань та способів їх забезпечення більш надійної роботи.

До масового введення в енергетику України мереж з ВДЕ такі підходи розглядалися в якості об'єкту пасивну електричну мережу з розподілом енергії, яка не містить джерел генерації електрики, окрім основного пункту живлення від електричної системи.

В якості схеми тестування була розроблена система електричного постачання, яка включає основне джерело живлення, вітрогенератори та фотоелектричну систему, яка і представляє собою розподілену генерацію, нерегульований асинхронний електропривод та асинхронний двигун з частотним перетворювачем, трансформатор, всі ці блоки наведені в моделях в програмі Matlab на рис 3.1-3.2.

У першому випадку вплив короткого замикання при прямому включенні асинхронного електричного двигуна в мережу.

Етапи моделювання процесів у фотоелектричній станції таким чином:

- У період часу $t=0.5(c)$ – електричний двигун в електросистемі розподіленої генерації.
- У період часу $t=1.0(c)$ – режим короткого замикання, який відбувається на перемичці поміж шинами електросистеми та вимикачем.
- У період часу $t=1.3(c)$ – режим відновлення нормального стану електричній системі.

На рис. 4.8.а та 4.8.б зображені залежності значення напруги та струму від часу, що вимірюваний на шинах 10кВ фотоелектричній станцій. З залежностей можна побачити, що у випадку короткого замикання струми в мережі зменшуються в декілька разів. Це відбувається, переважно тому, що під час режиму короткого замикання створюється вузол з найменшим опором, і що, в свою чергу, призводить до того, що струми починають змінювати свій напрямок і протікати або перетікати до цієї точки. Цей вплив можна виявити із на залежностей (4.9), де представлені значення напруги вторинної обмотки трансформатора. Вплив йде, як на саму роботу трансформатора, що виражається в падінні значення діючої напруги до 10В, так і на роботу асинхронного електропривода.

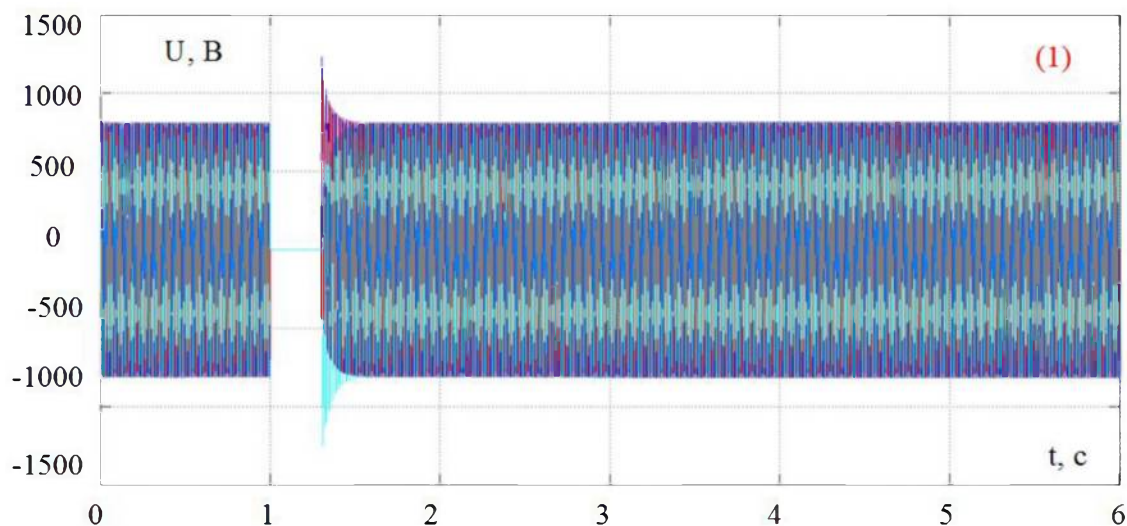


Рисунок 4.8.а – Значення напруги на високій стороні трансформатора живлення

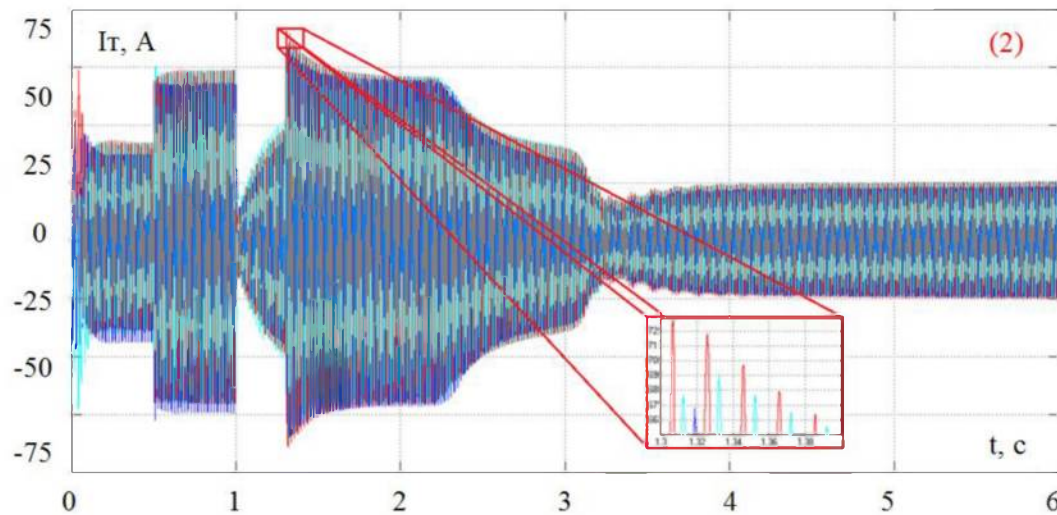


Рисунок 4.8.6 – Значення струмів на високій стороні трансформатора живлення

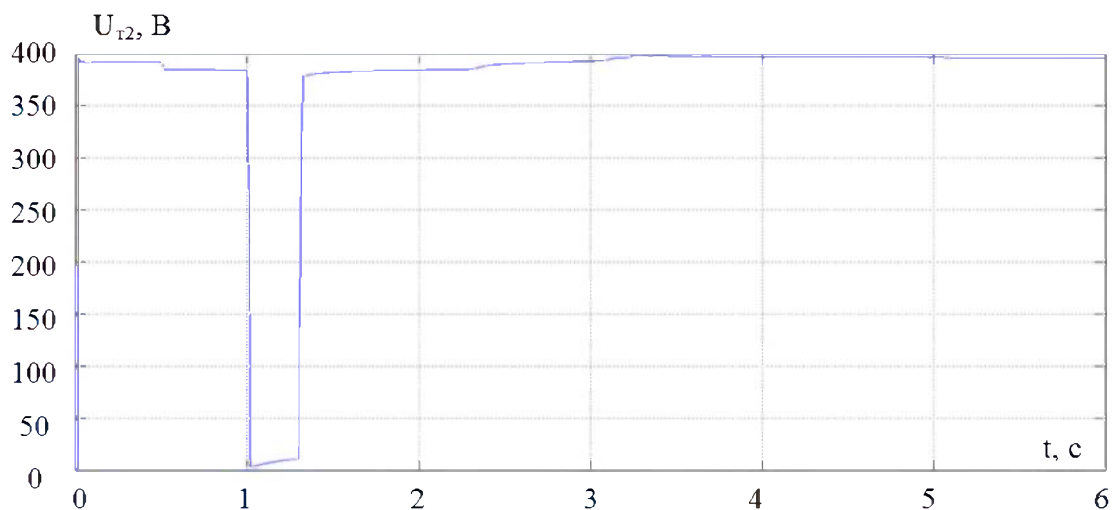


Рисунок 4.9 – Діюче значення напруги на вторинній обмотці трансформатора живлення

Однак, при цьому пуск електричного двигуна припиняється, зменшується момент крутіння, знижується темп розгону та знижується значення струми статора (що показано на рис. 4.10 (а та б)).

Тож, якщо у звичайному режимі, при значенні потужності трансформатора 630 (кВА), час пуску займає 2.45 (с), тоді під час короткого замикання час пуску зтягується до 2.68 (с). А після закінчення режиму короткого замикання, значення струму досягає максимального амплітуди 74 А, зображено на рис 4.10 (б), які можливо пояснити тим, що електричному

двигуну потрібно збільшувати значення струму, який створювати достатню величину пускового моменту на валу для подальшого виконання його розгону, проти інші всі параметри приймають ті ж значення, які і до аварійного режиму (рис 4.10 (а, б)).

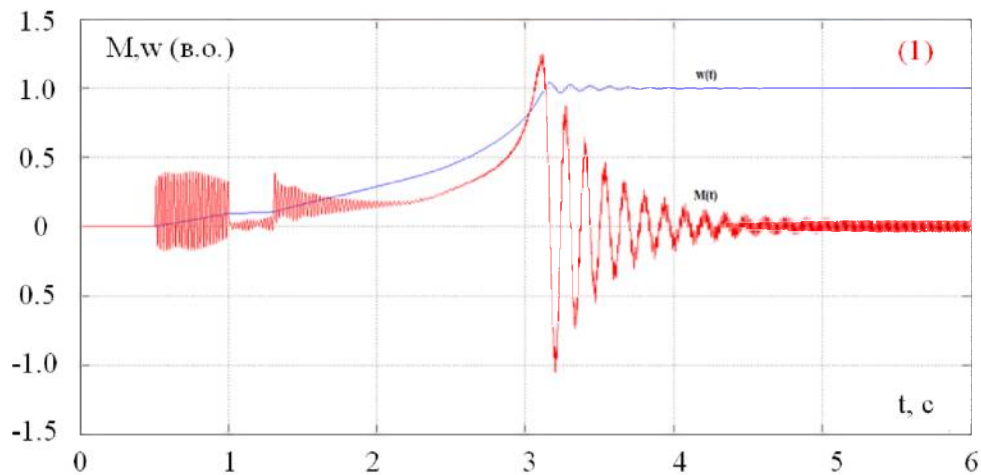


Рисунок 4.10.а - Момент, швидкість електричного двигуна у відносні одиницях

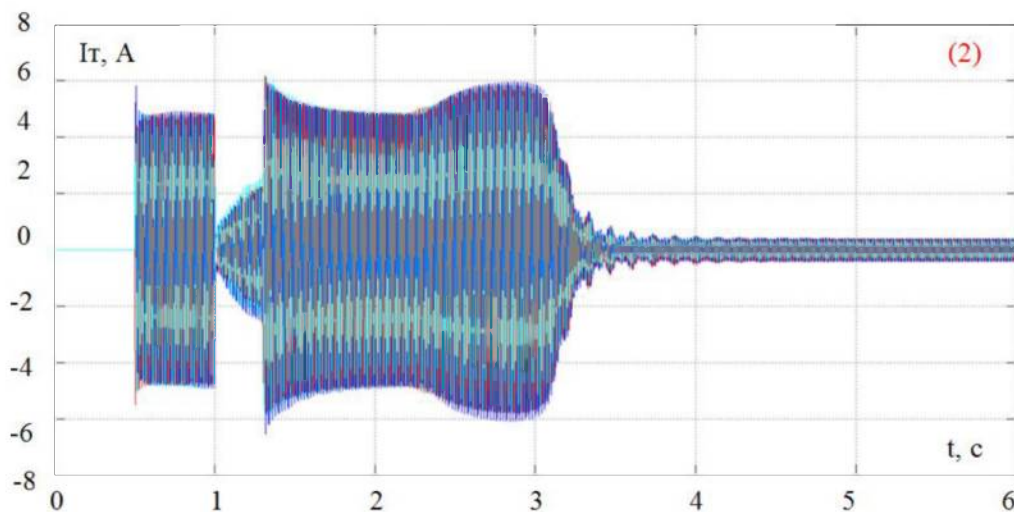


Рисунок 4.10.б - Струми електричного двигуна у відносні одиницях

З рис 4.10 (а) можна побачити, що залежності моменту електричного двигуна має коливання і навіть після припинення пуску та переходу в усталений режим мережі. Пов'язано це з наявністю вищих гармонік в електричній мережі. Коефіцієнт вищих гармонік в електричній мережі був встановлений на позначці 1.75%, що належить до меж норми. (рис 4.11).

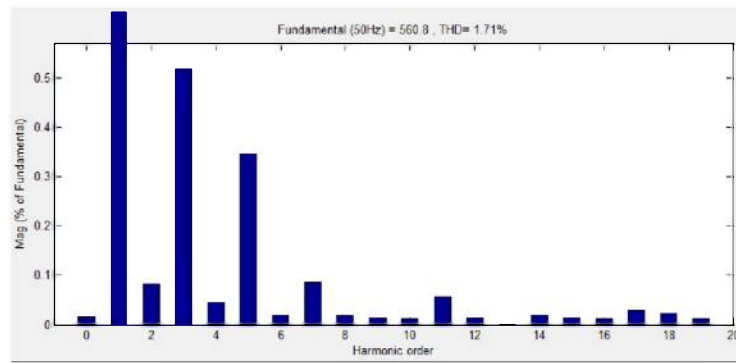


Рисунок 4.11 - Гармонійний склад напруги електричної мережі

За подібним принципом було виконано моделювання у пакеті Matlab та досліджено двофазне та однофазне коротке замикання в мережі, графіки залежностей наведені на рис 4.12.

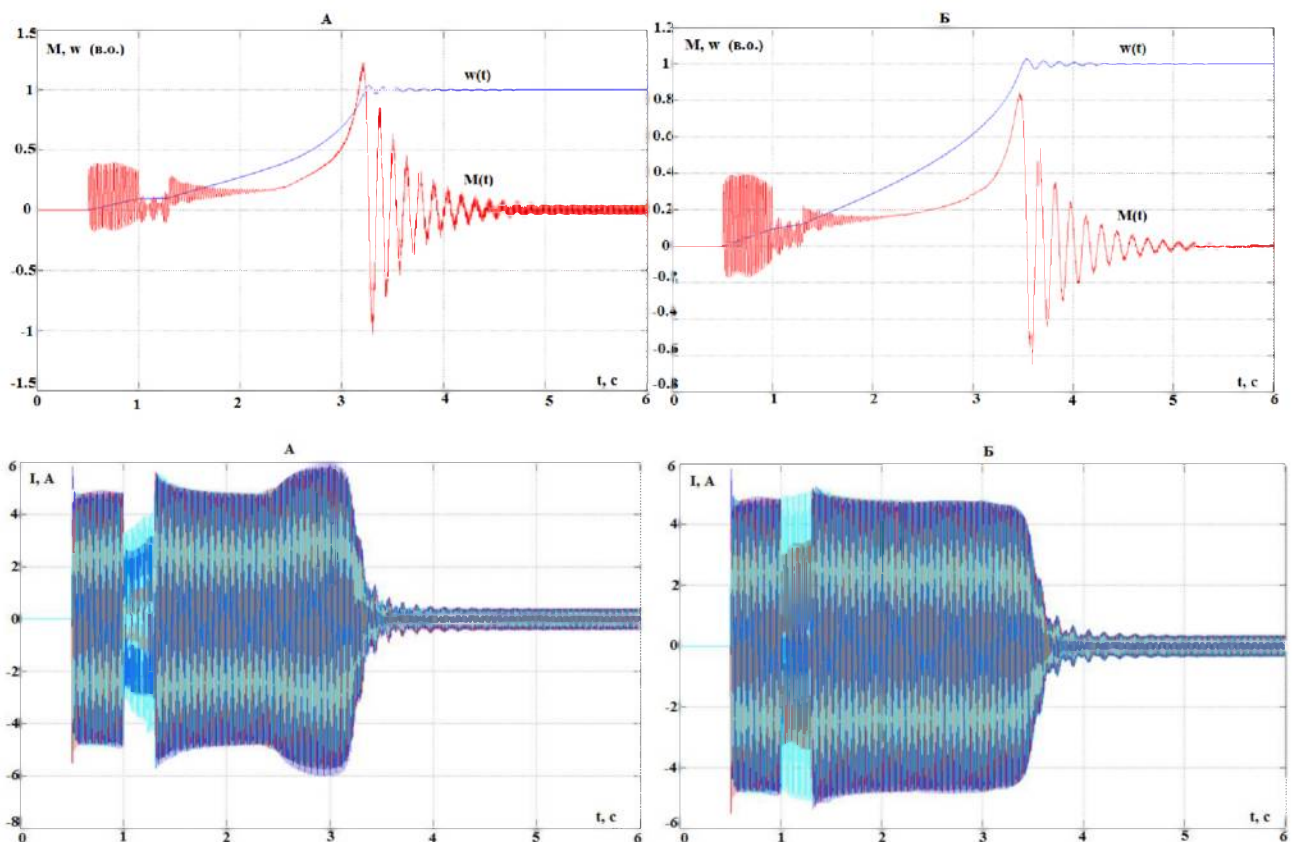


Рисунок 4.12 - Момент, швидкість та струми двигуна у відносних одиницях вимірювання, при двофазному та однофазному режимі короткого замикання

З наведених залежностей можна побачити та відповідно зробити висновок про те, що у момент, коли відбувається режим короткого замикання падіння струму в досліджуваній електричній мережі знижується, в той же час момент і струми статора зменшуються менше у відносному значенні, проте зберігається незмінним падіння темпу розгону.

Значення напруги вторинної обмотки падає до величини 120-225(V) під час двохфазного замикання та до величини 330-335В при однофазному короткому замиканню.

Пуск триває приблизно 2.85 (с) під час однофазного короткого замикання, проте при цьому струми статора двигуна та струми електричної мережі мають більш плавний перехідний процес.

Також проаналізувавши характеристику гармонічного складу напруги, можна сказати, що значення коефіцієнта вищих гармонік в електричній мережі встановлюється на величині 1.65-1.70% для двофазного короткого замикання та 0.8% для режиму однофазного короткого замикання (рис 4.13).

Тож, як висновок варто зазначити поліпшення залежності кривого моменту, рис 4.12 із зниженим вищих гармонійних складових.

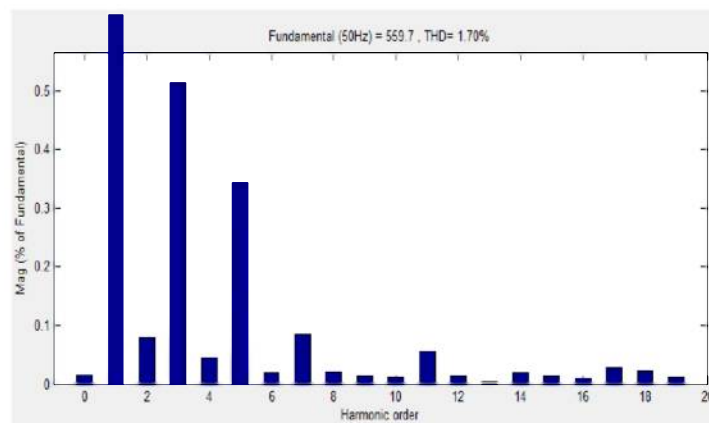


Рисунок 4.13.а. - Гармонійний склад напруги мережі при двофазному режимі короткого замикання

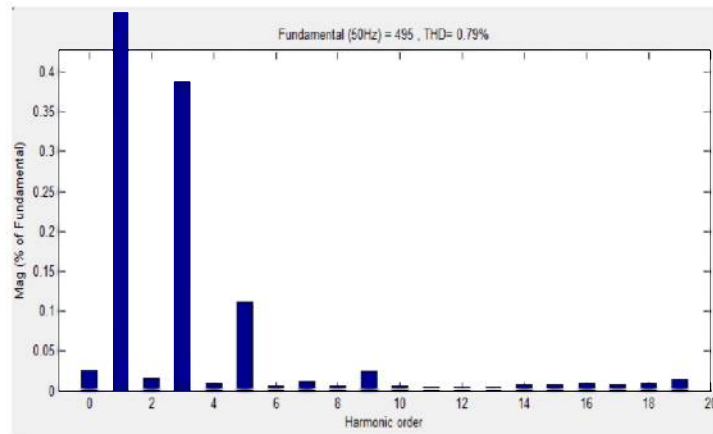


Рисунок 4.13.6 - Гармонійний склад напруги мережі при однофазному режимі короткого замикання

Другий етап: Дослідити вплив короткого замикання при застосуванні електричного привода частотного регулювання.

Етап моделювання процесів в фотоелектричній станції виглядає наступним чином:

- У період часу $t=0.0$ (с) – запуск електричної системи з розподіленою генерацією.
- У період часу $t=0.3$ (с) – режим короткого замикання на перемичці поміж вимикачем та шинами системи .
- У період часу $t=0.6$ (с) – відновлення режиму нормальної роботи системи.

На рис. 4.14 показані залежності графіків напруги та струму від часу. З них видно, що, як і під час дослідження нерегульованого АД під час режиму короткого замикання струми в електричній мережі зменшуються в декілька разів, а діюче значення напруги трансформатора падає аж до позначки у 10В. Проте, навіть, не дивлячись на суттєву схожість перехідних процесів в електричній мережі, на перехідні процеси в асинхронному електроприводі під час виконання частотно-регульованого пуску це жодним чином не впливає, і відбувається наступне: пуск електродвигуна триває без зниження темпу розгону, кидки струму або моменту відсутні. А вже після закінчення режиму

короткого замикання усі величини приймають ті ж самі значення, які вони мали і до нього, що і відображено на графіках 4.14.

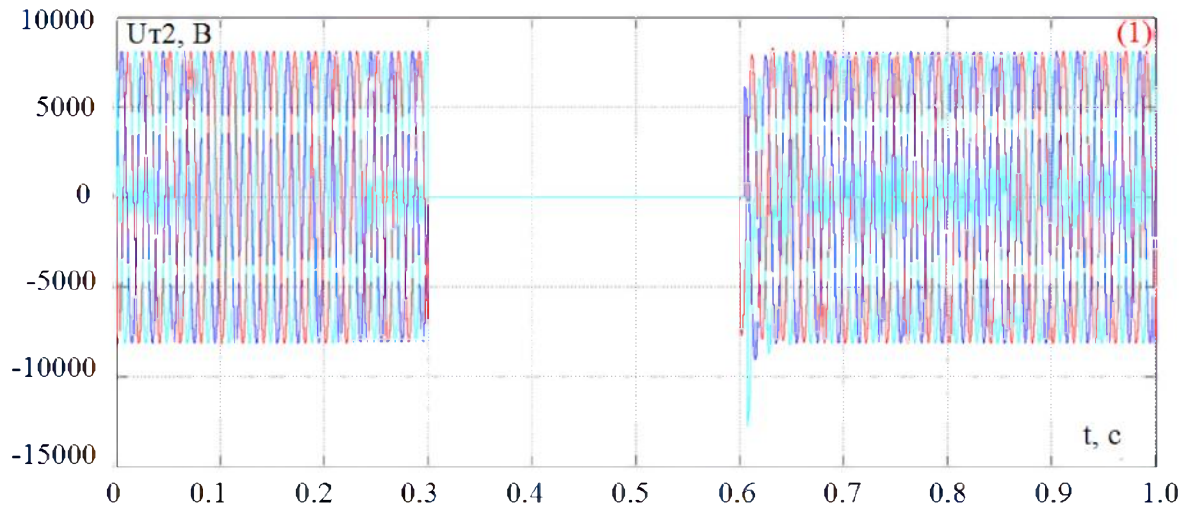


Рисунок 4.14.а - Напруги на високій стороні трансформатора живлення, у випадку застосування ЧРЕП, та у режимі трифазного КЗ

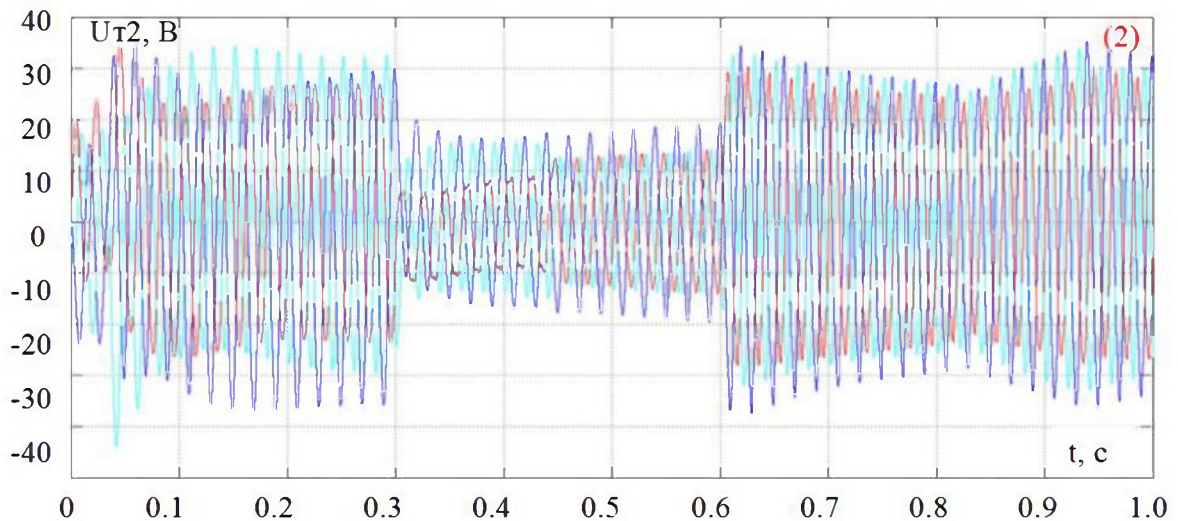


Рисунок 4.14.б - Струми на високій стороні трансформатора живлення, у випадку застосування ЧРЕП, та у режимі трифазного КЗ

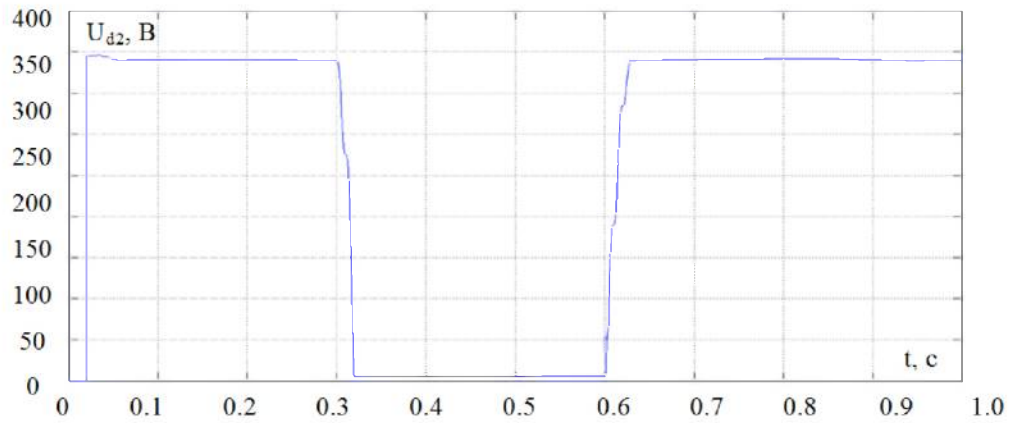
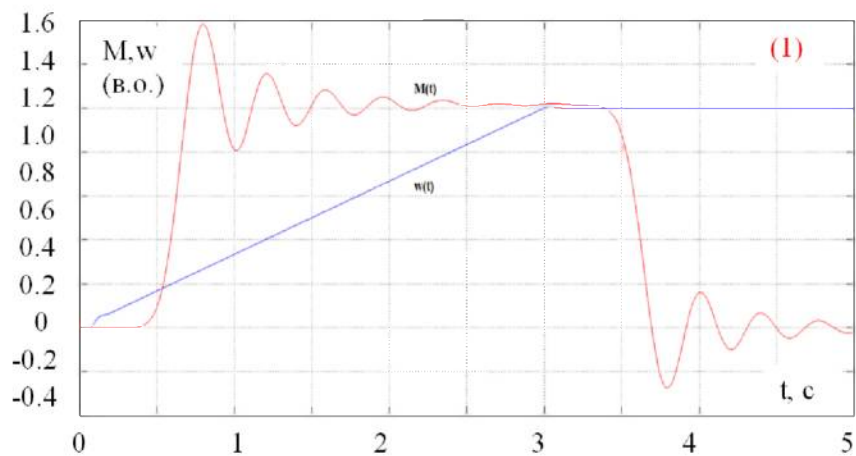
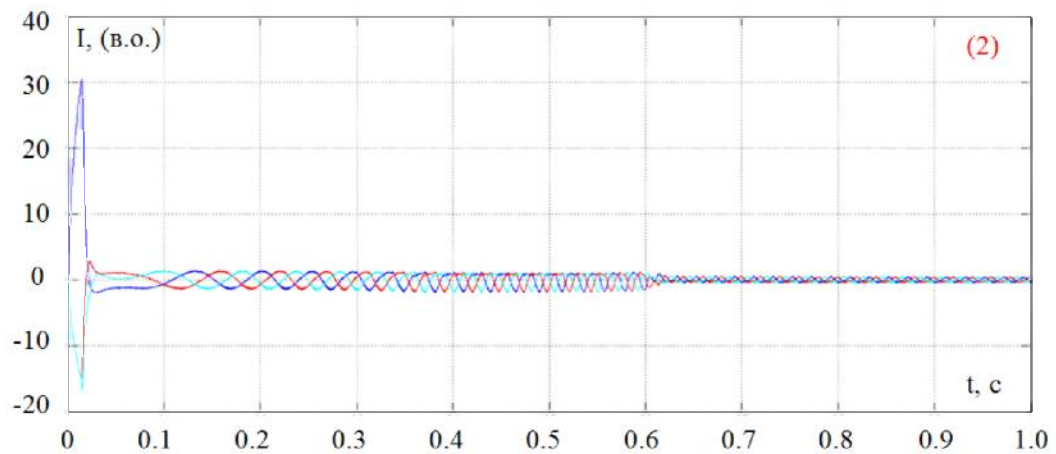


Рисунок 4.15 - Діюче значення напруги на вторинній обмотці трансформатора живлення (ЧРЕП, трифазне коротке замикання)



4.16.а - Швидкість та момент електричного двигуна у відносні одиницях (ЧРЕП, трифазне короткого замикання)



4.16.б – Струми електричного двигуна у відносних одиницях (ЧРЕП, трифазне короткого замикання)

Поточне значення коефіцієнт вищих гармонік в мережі наприкінці перехідного процесу дорівнює 0.55%, і ця величина, як вже було сказано вище, є припустимими нормами. Також така відносна низька складова гармонік є додатковим позитивним фактором електроприводів із застосуванням частотного регулювання, адже є можливість експлуатації без потребу у встановленні додаткових фільтрів вищих гармонік в електричній мережі, що суттєво спрощує обслуговування. Наведений вище аналіз впливає з розгляду рис 4.17

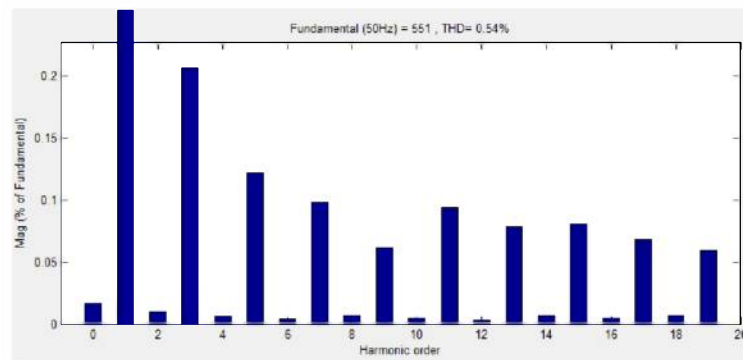


Рисунок 4.17 - Гармонійна складова напруги електричної мережі під час дослідів трифазного короткого замикання

Підбиваючи підсумки останнього етапу модулювання, варто зробити висновок про те, що на відміну від нерегульованого асинхронного електропривода, короткочасне коротке замикання з практичного боку ніяк не впливає на перехідні процеси при застосуванні електроприводу з частотним регулюванням.

4.3. Системи генерації з ВДЕ у якості об'єктів живлення електричного привода

На схемі рис 3.1 та 3.2, як і під час виконання усього дипломного проекту, вже неодноразово зазначалося, що у якості об'єктів генерації електричної енергії побудованої математичної моделі використовуються системи з відновлювальним джерелами. Саме завдяки ним та присутності у

схемі акумуляторних батарей, що запасують вироблену енергію, і можливе живлення та стабільна робота електричних приводів змінного струму, у досліджуваній роботі.

Тож, необхідно привести моделі двох електричних мереж генерації, які скриті у блоках (рис. 3.1–3.2) під назвою «ФЕС» та «Вітрова електростанція».

Ці підсистеми, які усі приведені в роботі, будувалися у програмі Matlab версії r2021a з використанням бібліотеки Simulink та її розділу Simpowersystems, і це важливо, адже починаючи з версії 2017 року, у цей пакет входять вже готові сонячні модулі та вітрові генератори.

Виконавши аналіз джерел [2, 8] та розглянувши додатково бібліотеки самої програми, була побудована наступна модель фотоелектричної станції (або її позначення ФЕС на рис. 3.1–3.2), яка показана на рис 4.18.

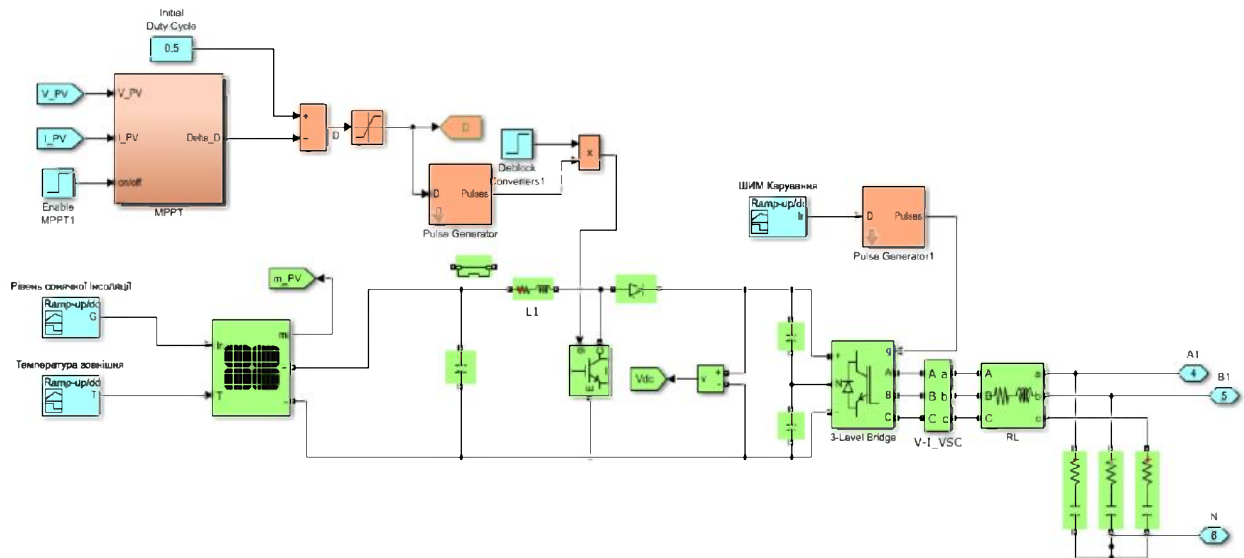


Рисунок 4.18 – Модель фотоелектричної станції, для живлення електропривода

З рис 4.18 не важко помітити, що на ній присутній блок завдяки, якому у системі відбувається максимальний відбір потужності генерації (блок MPPPT), цей блок також є вбудованим у програму і його було несуттєво змінено. Що ж стосується типів сонячних панелей та їх способу підключення, то можна сказати, що це полікристалічні панелі, максимальною потужністю 250 Вт, складаються з 72 комірок кожна, та підключені групою – послідовно

підключених модулів на рядок – 5, паралельно – 10. Така кількість витікала з розрахунку, розділ 2, де відбувався аналіз необхідної для живлення електричного привода потужності. Внутрішні характеристики та паспортні дані бралися з реальної сонячної панелі [2], їх було приведено в на рис. В.6. Також у додатку приведені й вихідні характеристики СП при різних зовнішніх умовах.

В програмі Matlab, як вже зазначалося раніше, є можливість використовувати блоки вітрових генераторів, отже виконавши аналіз [13, 14], був обраний тип генератора вітряка (індукційний генератор з подвійним живленням) та побудована модель рис. 4.19.

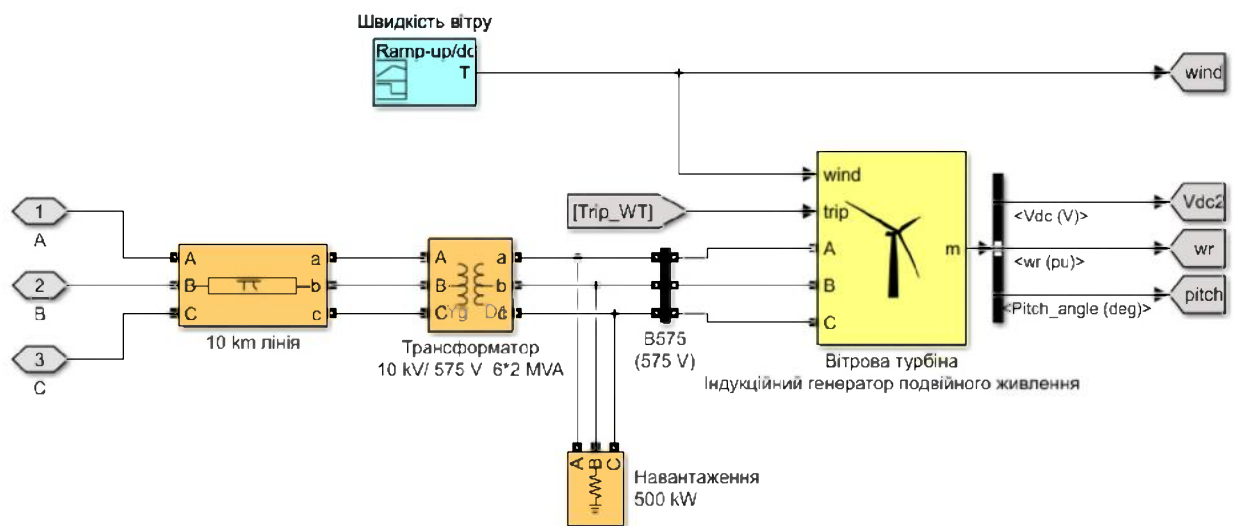


Рисунок 4.19 – Модель вітрової установки

ВИСНОВКИ

На початку дипломного проекту відбувся аналіз стану питання у сучасній відновлювальній енергетиці України. Було порівняно між собою різні види генерації електричної енергії системами ВДЕ. Та зазначено, що вітрові та фотоелектростанції вже набули вагомego значення в електротехніці нашої держави.

В той же час, був проведений аналіз способу регулювання електричного привода змінного струму, та обраний найбільш оптимальний – з регулюванням частоти.

У практичній частині даної роботи відбувалося дослідження актуального науково-технічного завдання, головна мета, якого полягає у використанні двигунів змінного струму, нерегульованих та частотно-регульованих, в системі електричного постачання з розподіленою генерацією енергії.

Розроблено математичну модель системи постачання електроенергії з розподіленою генерацією, яка включає також нерегульований та частотно-регульованим електропривод, виконані дослідження впливу різних чинників на роботу електромережі і двигуна при різних режимах роботи.

Результати моделювання демонструють та доводять теоретичні припущення про те, що в мережі з розподіленою генерацією енергії можлива робота обладнання при відключенні головного джерела електроенергії при наявності фільтрів вищих гармонійних складових. Потужність живильного трансформатора впливає на процес пуску двигуна та відповідні перехідні процеси в електромережі, про застосування фотоелектричних станцій (ФЕС) та вітрових енергетичних станцій (ВЕС) при пуску нерегульованого і частотно-регульованого асинхронних двигунів (АД), що дозволяє знизити кидки моменту та струму на валу, а також просідання напруги в мережі, роблячи при цьому перехідні процеси більш плавними. При аварійних режимах, що виникають у ФЕС та ВЕС дозволяють більш швидко та плавно повернутися в нормальний, сталий режим роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сегеда М.С., Дудурич О.Б., Олійник М.Й., «Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії», навчальний посібник, Видавництво Львівської політехніки, Львів, 2019. 204 с.
2. Олійник М. Й., Лисяк В. Г., «Основи екології виробництва, пересилання та використання електричної енергії», навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018 рік, 192 с.
3. «Електричні машини змінного струму» - електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://electrikam.com/ustrojstvo-asinxronnogo-dvigatelya-ad/> Дата звернення: 03.05.21
4. «Школа для електрика. Електротехніка, електроніка та електромеханіка» - електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/> Дата звернення: 03.05.21
5. «Системи управління електроприводами. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів» - електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. https://arigato.do.am/Faily/konspekt_lekcij_sistemy_upravlenija_ehlektroprivod.pdf Дата звернення: 03.05.21
6. «Інженерні рішення. Автоматизація, електроприводи, ультразвук в статтях, анімаціях і відео: просто про складне» - електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. http://www.softstarter.ru/invertors/princip_dejstviya/ Дата звернення: 03.05.21
7. «Основа електропривода, дистанційний курс КПП» - електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. https://electroprivod.kpi.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=28 Дата звернення: 03.05.21
8. Сегеда М.С., Яцейко А.Я., Бахор З. М., «Проектування ліній електричних мереж», навчальний посібник. Львів: видав. Львівської Політехніки, 2020 рік, 200с.

9. Журахівський А.В., Бахор. З.М., Яцейко А.Я. «Оптимізація режимів електроенергетичних систем», навчальний посібник, Львів : видав. Львівської політехніки, 2018 рік, 180 с.
10. Кощєєв Л.А., Автоматичне протиаварійне управління в електроенергетичних системах / Л.А. Кощєєв. - Л.: Вища школа, 1990. - 145 с.
11. Ярошенко Л.В., Видмиш А.А., «Основи електропривода. Теорія та практика.» частина 1. / навч. посібник. –ВНАУ, 2020 рік, Вінниця – 387 с.
12. Фіраго Б.І., «Теорія електроприводу: навчальний посібник» / Фіраго Б.І., Павлячік Л.Б. - Мінськ: Техноперспектива, 2007. - 585 с.
13. Кривцов В. С., Олейніков А. М., Яковлєв А. І. Невичерпна енергія. книга 1. Вітроелектрогенератори - Харків: ХАІ, 2003. - 400 с.
14. Петренко Ю.М., Санкевич С.А., "Аналіз функціональних схем електричної частини вітроелектричних установок", Білоруський національний технічний університет, 2014, 11 с.

ДОДАТОК А.
«ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ»

Студента Бриль О. О. групи ЕЛКзп – 18

Призначення документа	Документ	Умовні позначення	Зміст зауваження

Дата _____

Підпис _____

(ПІБ)

ДОДАТОК Б

«Безпека технологічного процесу під час перетворення сонячної енергії в електричну»

Дипломний проект передбачає розробку допоміжних системи, а саме системи розподіленої генерації, електропостачання промислового підприємства. Вони можуть використовувати в якості об'єктів генерації системи з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ), що можуть включати фотоелектричні панелі та вітрогенератори. І саме тому необхідно дослідити можливість та спосіб використання такої системи.

Дослідна система складатиметься з контролеру заряду, акумуляторів, сонячних панелей, акумуляторних батарей, електропривода, трансформатора та інвертора (рис. Б.1).



Рисунок Б.1 – Структурна схема системи з розподіленої генерації

Необхідно мати надійний механізм моніторингу для виконання ефективної роботи сонячної енергетичної системи – систему збору даних, яка представляє собою програмний засіб для відстеження змін в роботі сонячної електростанції.

Фотоелектричні панелі або модулі перетворюють енергію Сонця у електричну завдяки фотогальванічним елементам (фотоефекту). Неефективні та несправні фотоелектричні модулі стають причиною цілого ряду проблем, що звичайно впливає на продуктивність усієї системи в цілому. Тому, якщо під час введення фотоелектричної станції в експлуатацію навіть один модуль(або, як її називають комірка) виявився несправний, то і загальна потужність генерації масиву буде скорочена і чим більше цих невіправних комірок тим відчутніше будуть наслідки. І само тому під час пуско-наладжувальних робіт потрібно виконувати перевірку стану сонячних панелей. Ще одним суттєвим моментом, котрий потрібно мати на увазі при експлуатації сонячних батарей, є врахування температурних режимів роботи сонячної установки. Чим відповідно вище температура зовнішньої середовища, тим на більше значення падає продуктивність вироблення сонячної панелі у літній час, і це добре видно з графіка вольт-амперної характеристики сонячної панелі (рис. Б.2).

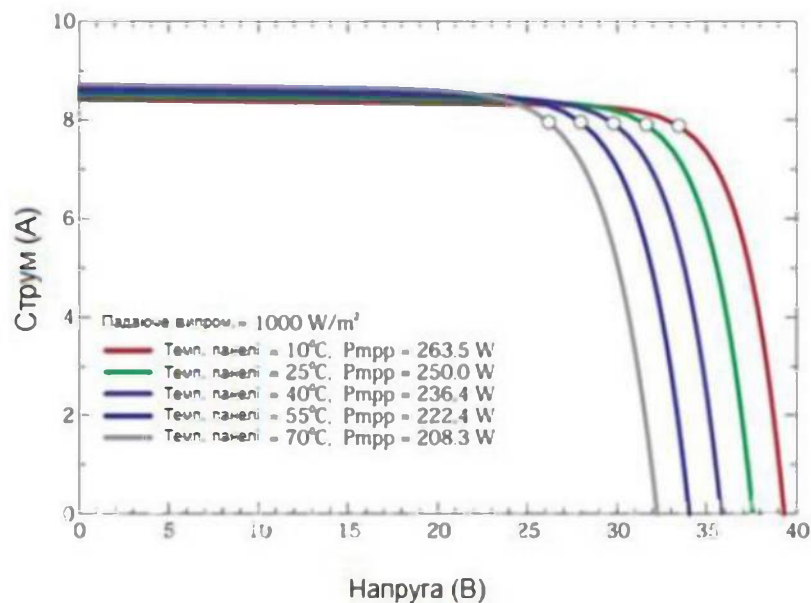


Рисунок Б.2 – Значення воль-амперної характеристики в залежності сонячної панелі від температури

І саме тому для систем, змонтованих на дахах будівель необхідно залишати зазор між покрівлею та панеллю, для можливості додаткової вентиляції. І тим самим знижуючи значення температури осередків сонячних модулів та зменшуючи можливість передчасної зниженню ККД та деградації сонячної панелі.

Також підвищена температура здатна призвести до руйнування герметичних матеріалів, що в майбутньому може позначитися на якості роботи усієї системи. Така ж проблема, з розгерметизацією, можлива і для панелей з поганою, неякісною збіркою, при застосуванні дешевих матеріалів або при складних зовнішніх умовах експлуатації (часті дощі, , різкі перепади температури протягом дня, град, сильні ультрафіолетові промені). Особливо варто звернути увагу на якість таких конструктивних елементів, як, наприклад, EVA-плівка, що між коміркою та склом та ламінуючи покриттям сонячної панелі. Передчасне зношування (старіння) цих елементів призводить до поганих наслідків - погіршення захисту від вологи паяних контактів комірок модулів, помутніння поверхні панелі. Однак, якість цих паяних контактів є запорукою довгої та безпроблемної експлуатації та роботи сонячної батареї. Неякісна збірка дешевих сонячних батарей, може проявити себе вже на другий-третій рік експлуатації, тим що контакти почнуть інтенсивно нагріватися та перегріватися, допоки не виведуть з ладу увесь сонячний модуль.

Важливим моментом також є необхідність постійно підтримувати сонячну панель в належному стані – уникати забруднення та оперативно позбуватися від сміття. Подібні роботи з профілактики повинні мати місце, щонайменше, два-три рази на рік, проте їх періодичність може бути і навіть вище – все в залежності від умов навколишньої середовища. Якщо сонячна станція знаходиться не на пустій місцевості, то і не можна забувати і про видалення або уникання великих дерев та будівель, що є причиною затінення фотоелектричних модулів. І також необхідна максимальна обережність: робота

поряд з масивними механічними пристроями погрожує ушкодженням сонячних панелей.

Інвертори є вкрай необхідними компонентом кожної мережі розподіленої генерації. Їх задача перетворювати постійний струм, що виробляється фотоелектричними елементами, в змінний, який використовують усі побутові прилади (споживачі) та централізована електромережі. Інвертори розраховані на встановлення на відкритому повітрі та витримують всі види впливу клімату завдяки герметичному корпусу. І тим не менш, потрібно періодично перевіряти їх конструкцію на предмет наявності пошкоджень та/або перегріву і чистити фільтри на інверторах, що в свою чергу дозволить уникнути перегріву.

Також важливим та необхідним в процесі експлуатації елементом сонячної енергосистеми виступає акумуляторні батареї. Їх надійність роботи залежить від стану приміщень (можливо шафи), де батареї розміщуються і від правильної їх експлуатації.

При технічних оглядах акумуляторних батарей, перевіряють рівень електроліту в акумуляторних батареях та цілісність судин, правильність положення скла, відсутність протікання, чистоту посудин, стін, стелажів та підлоги. Відсутність у акумуляторних судинах батарей відокремлених елементів (зазвичай пластини з відстаючими елементами має знижену щільність електроліту і більш слабе в порівнянні з сусідніми посудинами газовиділення). Причинами таких відставань зазвичай є короткі замикання між пластинами, що призводять до утворення випадання активної маси, шламу та викривлення пластин. Контроль відбувається за рівнем електроліту в акумуляторних батареях, пластини в цих елементах завжди повинні бути в електроліті, рівень якого підтримують на рівні від 15-20 мм вище за верхній край пластин. Якщо відбувається зниження рівня електроліту в акумуляторній батареї доливають дистильовану воду, при щільності електроліту вище $1,3 \text{ г / см}^3$ або, якщо розчин сірчаної кислоти і щільність електроліту нижче $1,3 \text{ г / см}^3$. Також необхідним завданням є огляд на наявність (або вірніше відсутність)

білого нальоту (сульфатації), злипання та викривлення сусідніх пластин - не рідше одного разу в два місяці.

Основними і характерними ознаками замикання акумуляторних пластин у батарей є знижений параметр напруга та щільність електроліту в посуді в порівнянні з сусідніми. Не менш важливими характеристиками, яка перевіряються під час технічного огляду акумуляторних батарей така, як відсутність корозії контактів, характер та рівень шламу в скляних сосудах акумуляторів (також відстань між шламом та нижнім краєм пластини повинна бути не менше за 10 мм, а шлам варто видаляти для запобігання закорочення пластин), також важливими є справність під зарядних та зарядних агрегатів, температура електроліту [10].

З циклом не рідше за один раз на місяць необхідно перевіряти щільність та напругу електроліту для кожного елемента акумулятору. Систематично при оглядах акумуляторів необхідно контролювати стан ізоляції.

Присутність домішок в електроліті акумуляторної батареї може призвести до руйнування пластин, а ємність батареї та термін служби знаходяться в прямій залежності від якості електроліту. Найбільш шкідливими домішками є хлор, залізо, марганець та аміак. Для того, щоб попередити потрапляння домішок в електроліт, сірчану кислоту та дистильовану воду перевіряють в хімічних лабораторіях. Не менше 1 разу на рік аналізують електроліт треті всіх елементів акумуляторної батареї, яка працює. Ємність акумуляторної батареї перевіряють один раз в один-два роки. Поточний ремонт акумуляторних батарей роблять кожен рік, а капітальний ремонт проводити не рідше одного разу на 10 років.

Також не менш важливими елементами під час виконання моніторингу є кріплення електроізоляційні трубки та будівельне планування. Відсутність або ослаблення кріпильні деталі, встановлене невірне обладнання та корозія здатні привести до механічного пошкодження окремих сонячних модулів або всієї системи, тому необхідно вчасно виконувати заміну та виявляти непридатні для експлуатації деталей. Проведення та визначення заземлення відбувається

відповідно до ПУЕ 2019 «Правила улаштування електроустановок. Заземлення і захисні заходи електробезпеки». Під час пошкодження електроізоляційних трубок дроти, які знаходяться в них є уразливі до механічних пошкоджень. В кінцевому результаті це може призвести до дуже трудомісткого та дорогого ремонту. Економічні витрати на усунення несправностей та аварій, прокладку нових проводів та перевірку стиків звісно призведе до матеріальних збитків виробництва. І саме тому до переліку оглядових заходів дуже важливо та необхідно включати перевірку значення опору ізоляції спеціальним пристроєм. Ландшафтного та будівельного планування стосуються корозія, затінення, доступ до електричних систем.

Працездатність системи характеризується параметром, що називається «рейтинг безвідмовної роботи». Системи з найвищим рейтингом безвідмовної роботи будуть відповідно генерувати більше сонячної енергії, що в свою чергу буде давати більш високу віддачу від інвестицій. Проте для досягнення високого значення цього рейтингу потрібно безперервне та якісне технічне обслуговування сонячних панелей та усієї фотоелектричної станції [10].

ДОДАТОК В

«Параметри блоків для моделювання в Matlab»

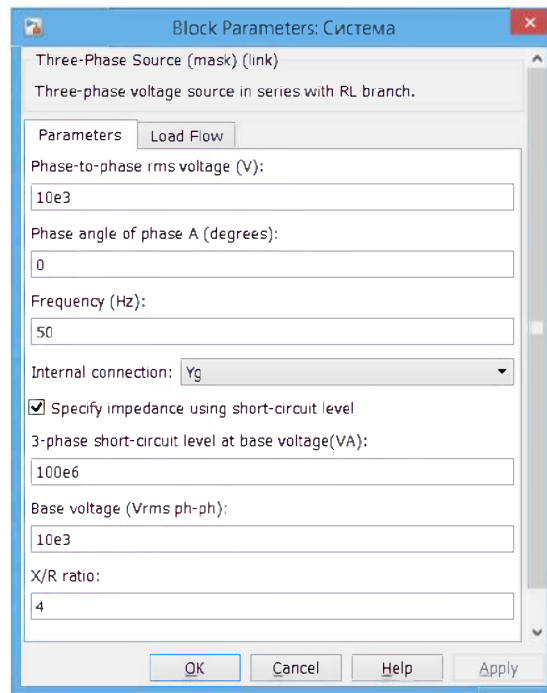


Рисунок В.1 – Блок параметрів електричної мережі

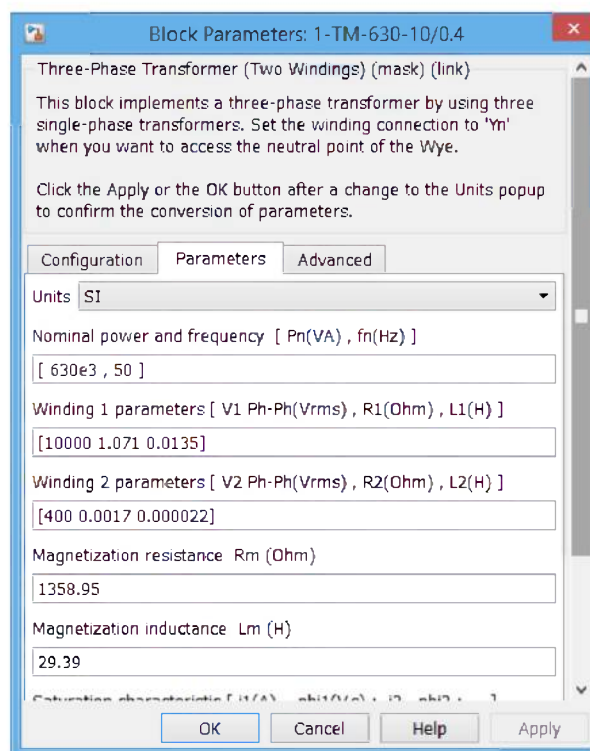


Рисунок В.2 – Блок параметрів трансформатора

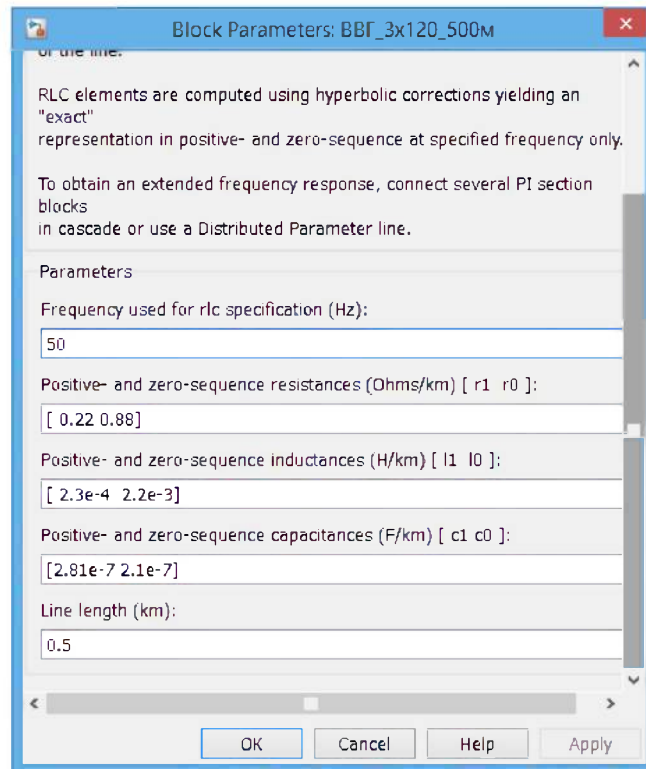


Рисунок В.3 – Блок параметрів лінії (перерізу кабелів)

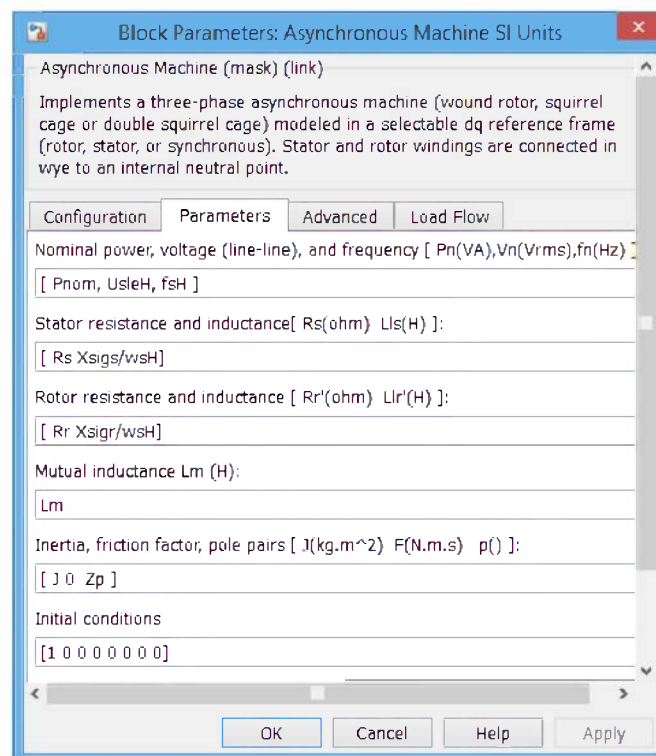


Рисунок В.4 – Блок параметрів асинхронний двигун.

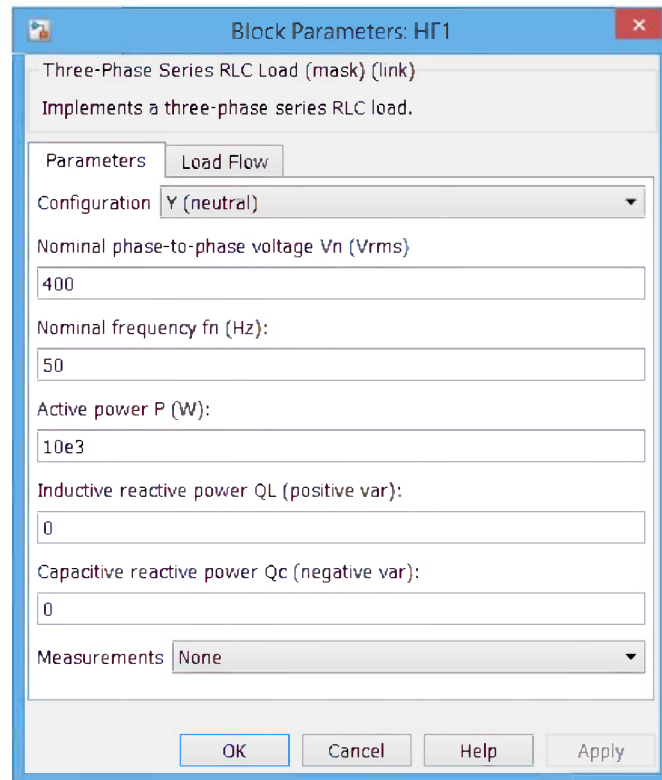


Рисунок В.5 – Блок параметрів навантаження.

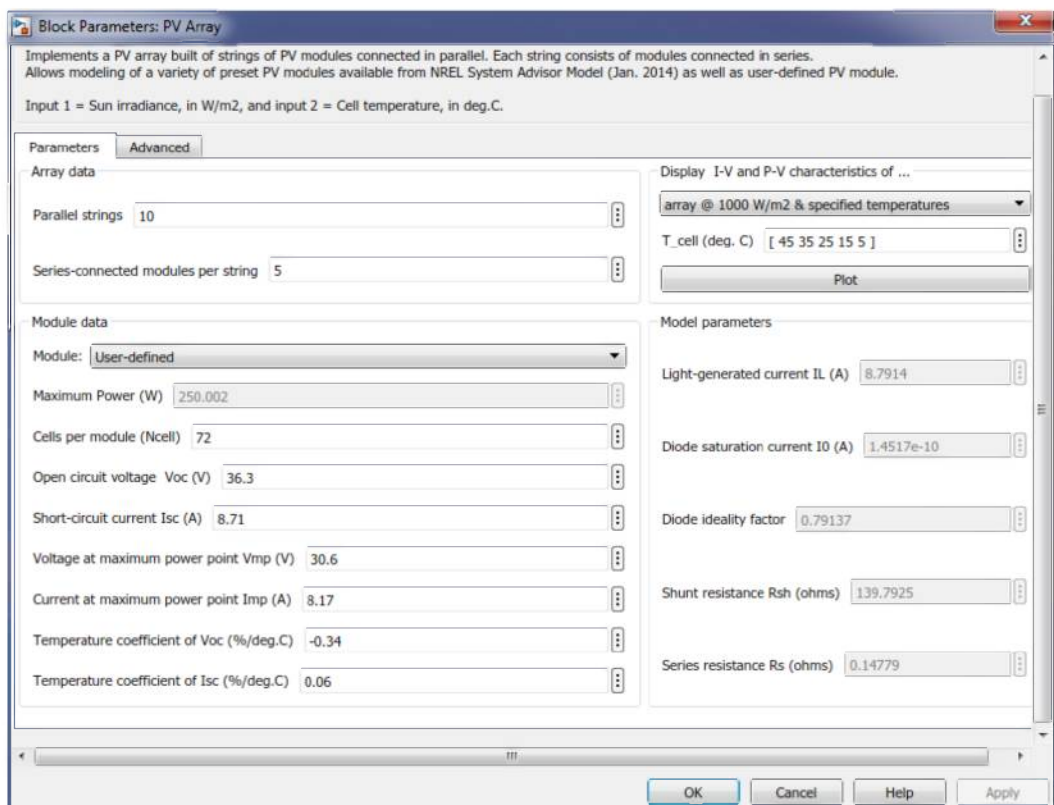


Рисунок В.6 – Блок параметрів сонячної панелі.

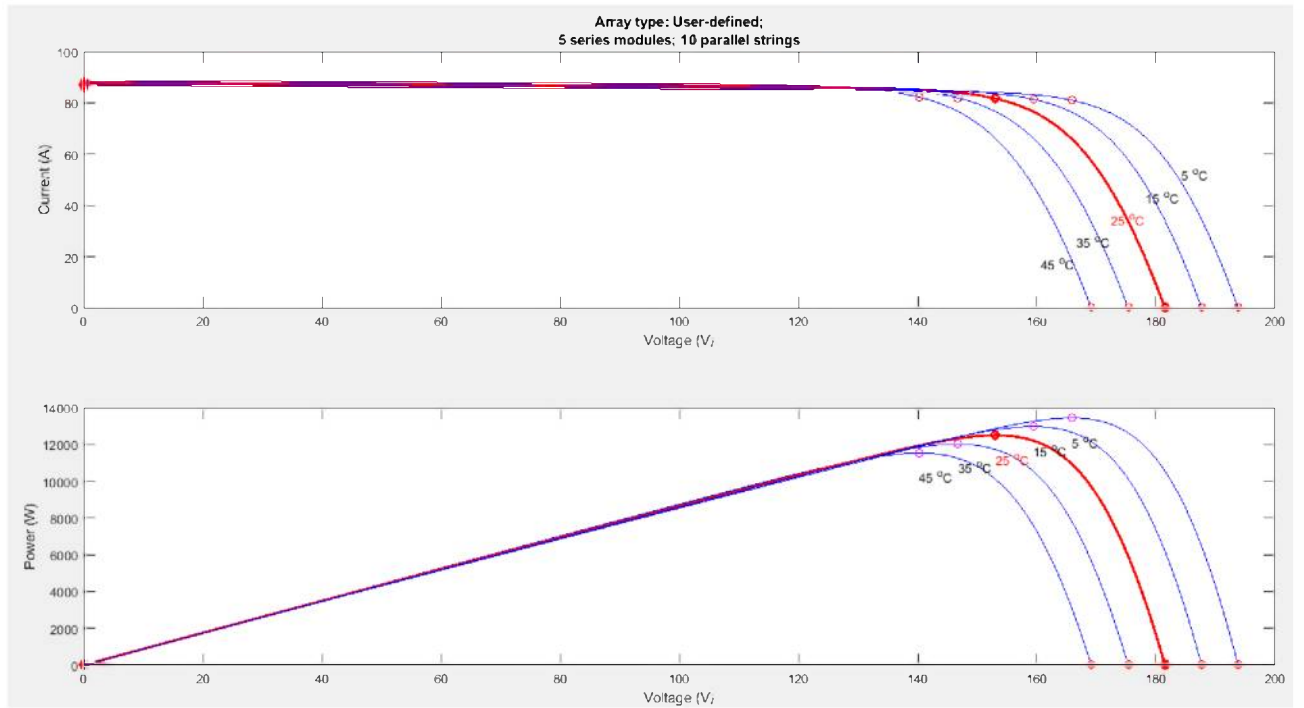


Рисунок В.7 – Зовнішні характеристики ФЕС.