

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ФОТОВОЛЬТАНИЧНИХ СИСТЕМ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ДЕА-Е23мг-1
спеціальності : 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____ / Артем ШУЛЬГА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ / Ганна МОСІЄНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____ / Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____ / Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____ / Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ / Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА**

Навчально – науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Електричні станції, мережі та системи

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти
здобувачу вищої освіти Артем ШУЛЬГА**

1. Тема ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ
ФОТОВОЛЬТАНИЧНИХ СИСТЕМ

затверджена наказом по академії № 4801-5/3345 від «12» 10 2024 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «10» 12 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Рівень напруги, умови експлуатації,
характеристика струмоведучих частин, типи кабельних ліній, метод апарат
дослідження, завдання, параметри обладнання

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
Вступ. Перелік умовних позначень. Оцінка потужності розміщення
відновлюваної енергії в розподільчих мережах на основі багатостратегічного
покращеного алгоритму оптимізації. Оцінка ємності стохастичного хостингу
Solar PV з урахуванням епістемічної (Е) функції розподілу ймовірностей.
Висновки. Список посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал): Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання « 12 » _____ 10 _____ 2024 ____ р.

Керівник

(підпис)Ганна МОСІЄНКО

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

Артем ШУЛЬГА
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/ п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	02.10.24 – 05.10.24	
2	Проведення аналізу наукової літератури	06.10.24 – 15.10.24	
3	Виконання першого розділу дипломної роботи	16.10.24 – 29.10.24	
4	Виконання другого та третього розділу дипломної роботи	30.10.24 – 26.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.24 – 07.12.24	

Студент (ка)

(підпис)Артем ШУЛЬГА

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота виконана на 62 стор., містить 9 рисунків, що характеризують результати дослідження, використано 51 літературних посилань.

Об'єкт дослідження – режими роботи електричних мереж.

Предмет дослідження – сонячні фотовольтаничні системи.

Мета роботи – Підвищення ефективності використання сонячних фотовольтаничних систем.

Ступінь впровадження: проектні інститути.

Економічна ефективність значимість роботи: дана робота має високу значимість теоретичного й практичного рівня.

В дослідженні представлено стохастичний підхід до оцінки потужності розміщення сонячної фотоелектричної системи. Метод є частиною оптимальних методів інтеграції відновлюваних джерел енергії. Існує два типи невизначеності, а саме випадкова та епістемічна невизначеність. Епістемічна та випадкова невизначеності по-різному впливають на ємність розподільчих мереж. Поєднання двох факторів невизначеності впливає на планування розподільних мереж. У дослідженні вводиться та розглядається епістемічна функція розподілу ймовірностей (PDF). DSO дійсно бере на себе рівень ризику порушення параметрів під час планування. Епістемічний PDF — це діапазон значень маржі ризику планування для кількісного визначення потужності хостингу. Ризик планування визнає, що перенапруги можуть виникнути в слабших місцях розподільчої мережі. У дослідженні було показано, що на кількість споживачів, які зможуть підключити сонячну фотоелектричну систему в майбутньому, впливає маржа планового ризику оператора DSO. DSO може бути більш суворим або менш суворим у плануванні маржі ризику. Було зроблено висновок, що менша кількість споживачів може підключити сонячну фотоелектричну енергетику до розподільчої мережі, коли DSO бере на себе більш жорсткий ризик планування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕНЕРГЕТИЧНА БЕЗПЕКА, МОДЕЛЮВАННЯ, СОНЯЧНІ ФОТОВОЛЬТАНИЧНІ СИСТЕМИ, РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ, РЕЖИМИ РОБОТИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ, ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА, ВИПРЯМЛЯЧІ, ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

ABSTRACT

The master's thesis is completed on 62 pages, contains 9 figures characterizing the results of the study, 51 literary references were used.

The object of the study is the operating modes of electrical networks.

The subject of the study is solar photovoltaic systems.

The purpose of the work is to increase the efficiency of the use of solar photovoltaic systems.

The level of implementation: design institutes.

Economic efficiency significance of the work: this work has a high significance of the theoretical and practical level.

The study presents a stochastic approach to assessing the capacity of the solar photovoltaic system. The method is part of the optimal methods for integrating renewable energy sources. There are two types of uncertainty, namely random and epistemic uncertainty. Epistemic and random uncertainty affect the capacity of distribution networks differently. The combination of two uncertainties affects the planning of distribution networks. The study introduces and considers an epistemic probability distribution function (PDF). The DSO does indeed assume the risk of parameter violations during planning. The epistemic PDF is a range of values for the planning risk margin to quantify the hosting capacity. The planning risk recognizes that surges can occur at weaker points in the distribution network. The study showed that the number of customers who can connect a solar PV system in the future is affected by the DSO operator's planning risk margin. The DSO can be more or less strict in planning the risk margin. It was concluded that fewer customers can connect solar PV to the distribution network when the DSO assumes a more stringent planning risk.

KEYWORDS: ENERGY SECURITY, MODELING, SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS, VOLTAGE REGULATION, OPERATING MODES, OPERATING EFFICIENCY, CONVERTER TECHNOLOGY, RECTIFIER, POWER QUALITY

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ПОТУЖНОСТІ РОЗМІЩЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ БАГАТОСТРАТЕГІЧНОГО ПОКРАЩЕНОГО АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ	10
1.1. Особливості розміщення відновлювальної енергетики в розподільчих мережах	10
1.2 Аналіз показників оцінки потужності хостингу розподільчої мережі	15
1.2.1 Обмеження термостабільності	15
1.2.2. Відхилення напруги	16
1.2.3 Коливання напруги	17
1.2.4 Струм короткого замикання	18
1.3 Модель хосту відновлювальної енергії для розподільних мереж	19
1.3.1 Цільова функція	20
1.3.2 Обмеження потоку електроенергії розподільної мережі	20
1.3.3 Обмеження виробництва відновлюваної енергії	21
1.4 Мультистратегічне покращення алгоритму оптимізації	
WHALE	22
1.4.1 Популяція ініціалізації квазізворотного навчання	23
1.4.2 Адаптивна стратегія на основі ваги для оточуючої здобичі	24
1.4.3 Адаптивна мисливська поведінка	25
1.4.4 Стратегія випадкового пошуку здобичі на основі польоту	26
Леві	
1.4.5 Оцінка локальної конвергенції та стратегії мутації	27
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	30

РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ЄМНОСТІ СТОХАСТИЧНОГО ХОСТИНГУ SOLAR PV З УРАХУВАННЯМ ЕПІСТЕМІЧНОЇ (Е) ФУНКЦІЇ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТЕЙ	32
2.1. Вступ	32
2.2. Невизначеності, потужність хостингу та методи планування	35
2.3. Метод стохастичної потужності хостингу	38
2.3.1. Розрахунок підвищення величини напруги	39
2.3.2. Фонова напруга	40
2.3.3. Алеаторні та епістемічні невизначеності	40
2.3.4. Блок-схема стохастичного підходу	42
2.3.5. Вивчення мережі розподілу	44
2.4. Планування ризиків і епістемічний PDF	45
2.5. Результати щодо місткості хостингу (НС)	47
2.5.1. Оцінка НС із застосуванням 10% ризику планування	48
2.5.2. Більш суворе планування ризиків	50
2.5.3. Менш строгий ризик планування	51
ВИСНОВКИ ДО РОЗІДЛУ 2	53
ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ	56
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	57

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

EV – електромобіль

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

ШИМ – широтно–імпульсна модуляція

LPF – фільтр низьких частот

BPF – смуговий фільтр

PV – фотоелектрична система

ЕМ – електрична мережа

ММ – математичні моделі

МКЕ – метод кінцевих елементів

МКР – метод кінцевих різниць

MPPT – точка максимальної потужності

ПП – первинна підстанція

ПС – вторинна підстанція

РМ – розподільчі мережі

РПН – регулювання напруги під напругою

СНАУ – система нелінійних алгебраїчних рівнянь

СЛАУ – система лінійних алгебраїчних рівнянь

FEMM – Finite Element Method Magnetics

ПДЕ – поновлювальні джерела енергії

СЕП – система електропостачання

ФЕУ – фотовольтанична електрична станція

ВСТУП

В дослідженні представлено стохастичний підхід до оцінки потужності розміщення сонячної фотоелектричної системи. Метод є частиною оптимальних методів інтеграції відновлюваних джерел енергії. Існує два типи невизначеності, а саме випадкова та епістемічна невизначеність. Епістемічна та випадкова невизначеності по-різному впливають на ємність розподільчих мереж. Поєднання двох факторів невизначеності впливає на планування розподільних мереж. У дослідженні вводиться та розглядається епістемічна функція розподілу ймовірностей (PDF). DSO дійсно бере на себе рівень ризику порушення параметрів під час планування. Епістемічний PDF — це діапазон значень маржі ризику планування для кількісного визначення потужності хостингу. Ризик планування визнає, що перенапруги можуть виникнути в слабших місцях розподільчої мережі. У дослідженні було показано, що на кількість споживачів, які зможуть підключити сонячну фотоелектричну систему в майбутньому, впливає маржа планового ризику оператора DSO. DSO може бути більш суворим або менш суворим у плануванні маржі ризику. Було зроблено висновок, що менша кількість споживачів може підключити сонячну фотоелектричну енергетику до розподільчої мережі, коли DSO бере на себе більш жорсткий ризик планування. Крім того, більше клієнтів можуть підключати сонячні фотоелектричні установки для менш суворого ризику планування. Наскільки суворіше чи менш суворо DSO до маржі ризику планування визначає інвестиції, необхідні для заходів пом'якшення. Заходи з пом'якшення наслідків у майбутньому призведуть до того, щоб не перевищувати ліміт перенапруги, коли сонячні фотоелектричні системи підключаються до слабших можливих точок розподільчої мережі.

Тема роботи: Підвищення ефективності використання сонячних фотовольтаїчних систем.

Об'єкт дослідження – режими роботи електричних мереж.

Предмет дослідження – сонячні фотовольтаїчні системи.

РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ПОТУЖНОСТІ РОЗМІЩЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ БАГАТОСТРАТЕГІЧНОГО ПОКРАЩЕНОГО АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ

1.1. Особливості розміщення відновлювальної енергетики в розподільчих мережах

Збільшення проникнення розподіленої відновлюваної енергії створює значні проблеми для безпеки та стабільності системи розподілу, що робить потужність розподільних мереж для розміщення відновлюваної енергії серйозною проблемою. Для ефективної оцінки потужності розміщення відновлюваної енергії в розподільних мережах у цьому дослідженні представлено комплексну модель оцінки потужності хостингу з урахуванням різноманітних обмежень безпеки та стабільності. Враховуючи численні нелінійні обмеження, притаманні моделі оцінки потужності хостингу для розподільчих мереж, пропонується покращений багатовстратегічний алгоритм оптимізації Whale. Удосконалено стратегії ініціалізації сукупності та оновлення позиції сукупності, а також введено стратегію мутації, щоб запобігти передчасній конвергенції, тим самим покращуючи продуктивність алгоритму.

Зростаюче поширення розподіленої енергії з відновлюваних джерел створює значні проблеми для безпеки та стабільності системи розподілу, що робить потужність розміщення відновлюваної енергії в розподільчих мережах серйозною проблемою. Модель оцінки ємності з урахуванням різноманітних обмежень щодо безпеки та стабільності. Враховуючи численні нелінійні обмеження, властиві моделі оцінки ємності хостингу для мереж розподілу, пропонується покращений багатовстратегічний алгоритм оптимізації Whale стратегії та стратегія мутації введено, щоб запобігти передчасній конвергенції, тим самим підвищуючи продуктивність алгоритму. Нарешті, ефективність запропонованої моделі та методу перевірена за допомогою використання трьох

систем розподілу перспектива топології розподільної мережі.

Після глобальної енергетичної кризи швидкий розвиток виробництва енергії з відновлюваних джерел вимагав широкої інтеграції розподілених джерел відновлюваної енергії (DRES) у розподільчі мережі, які характеризуються децентралізацією, модульністю, гнучкістю та наближеністю до вимог навантаження. виклики через його стохастичну природу [1]. Ця непередбачуваність у розподіленій відновлюваній енергії призводить до складного розподілу електроенергії, що потенційно ставить під загрозу якість електроенергії та загрожує стабільності та безпеці розподільних мереж [2] у здатності мереж інтегрувати відновлювані джерела енергії.

Нещодавно детальна оцінка потужності розміщення відновлюваної енергії привернула велику увагу в міжнародному масштабі. Ця концепція була визначена як максимальна потужність відновлюваних джерел енергії, яка може бути інтегрована в мережу без порушення технічних обмежень нормальної роботи системи. Міжнародні організації [3, 4] вимагають точної моделі системи для забезпечення надійності результатів. Крім того, ефективний і точний алгоритм має вирішальне значення для обчислення потужності хостингу.

Було проведено широкі дослідження щодо оцінки потужності хостингу [11], яка встановила голоморфну функцію відхилення напруги щодо вбудованих змінних і аналітично розширила її в ряд, а також розрахувала потужність хостингу, обмежену проблемами порушення напруги [12] досліджував гармоніки відновлюваної енергії, встановлюючи модель гармонічної інжекції після інтеграції в мережу, яка допомагає оцінювати потужність хостингу з урахуванням цих гармонік. Посилання [14] вважає, що короточасні коливання напруги, викликані коливаннями потужності відновлюваної енергії, можуть викликати дії трансформатора з перемикачем під навантаженням (OLTC) або моделлю обмеження напруги живлення (SVR). Обмеження коливань напруги OLTC/SVR викликане коливаннями потужності розподіленого джерела живлення та відключенням генератора, було запропоновано для оцінки його впливу на потужність розміщення

відновлюваної енергії . відновлюваної енергії та запропонував метод оцінки максимальної інтеграційної потужності відновлюваної енергії для забезпечення застосовності традиційних схем локалізації інтервалів несправності. Він відрізняв мінімальний струм короткого замикання, що забезпечується вихідним мережевим джерелом живлення, від максимального струму короткого замикання, що забезпечується за рахунок відновлюваних джерел енергії, гарантуючи, що традиційні схеми локалізації несправностей залишаються доступними після підключення відновлюваних джерел енергії. Посилання [16] ввело коливання напруги в умови обмеження для оцінки потужності хостингу. Надавши приблизну формулу оцінки коливань напруги, вдалося отримати викликані коливаннями напруги відновлюваної енергії на кожній вузлі після того, як відновлювана енергія була інтегрована без необхідності моделювання.

Посилання [17] дослідило зв'язок між швидкістю проникнення розподілених генераторів і напругою в точці з'єднання та використовувало порушення напруги як обмеження для вирішення хостингу. Посилання [18] розглянуло вузлову напругу та навантаження розподільного мережевого обладнання за допомогою аналізу квазістатичного часового ряду розглядаються лише порушення напруги та тепла як фактори впливу. Посилання [19] запропонував структуру розміщення на основі інтервальної/афінної арифметики, враховуючи два індекси продуктивності (перенапруга та ємність), і використовував інший підхід для моделювання кривих генерації та навантаження як кінцевого набору корельованих афінних комбінацій оцінка потужності хостингу за обмеженнями за одним індикатором без інтеграції міркувань щодо обмежень, таких як якість електроенергії, термічна стабільність і струм короткого замикання в обчисленні потужності хостингової мережі.

Для вирішення складної проблеми оцінки потужності розміщення відновлюваної енергії розроблені різні алгоритмічні підходи. Посилання [20] спростило модель і лінеаризувало проблему, щоб зменшити складність оцінки. У роботі [21] запропоновано метод аналізу потужності доступу до відновлюваної енергії в електромережах на основі моделі оптимального потоку

електроенергії, яка лінеаризувала потік потужності та ігнорувала деякі обмеження індикаторів, щоб зробити проблему розв'язною. Посилання [22] пропонує двоетапний алгоритм лінеаризації для лінеаризації обмеження відхилення напруги та обчислення потужності розміщення розподіленої генерації на основі ймовірнісної моделі. Через те, що оцінка потужності розміщення відновлюваної енергії є дуже нелінійною проблемою, хоча лінеаризація може зменшити складність рішення, вона також призводить до недостатньої точності результатів рішення. Посилання [23] розглядає різні обмеження в оцінці потужності хостингу та приймає сегментований метод оцінки прямого або зворотного висновку для розрахунку потужності хостингу розподільчої мережі. На цей метод сильно вплинув людський фактор, оскільки він вимагав ручного налаштування початкових значень і розмірів кроку для розподіленої генерації. Якби сегментація була надто великою, точність була б значно знижена, а якщо сегментація була надто малою, складність обчислень зросла б. Посилання [15, 24] провели попереднє дослідження та дослідження щодо застосування евристичних алгоритмів для вирішення проблеми розміщення відновлюваної енергії в електромережах. Однак у більшості цих алгоритмів є такі проблеми, як низька здатність глобального пошуку, низька стабільність і довгий час ітерації. Посилання [25] проаналізувало потужність хостингу з використанням погодинних даних про навантаження, отриманих від виходу фотоелектричних (PV) панелей на даху, і змоделювало змінну потужність і дисперсію навантаження фотоелектричних панелей за допомогою MATLAB. Примітно, що дослідження було зосереджено виключно на дахових фотоелектричних системах і опущено оцінку альтернативних відновлюваних джерел енергії та мережевих змінних. Крім того, запропонована методологія вимагає проведення мільйонів симуляцій потоку електроенергії для комплексного вирішення обмежень напруги та потужності. У довідці [26] використано метод моделювання Монте-Карло для створення різних потенційних точок з'єднання розподіленої генерації зі статистичним підходом, який використовується для характеристики значної кількості результатів

оцінювання. Незважаючи на те, що цей метод вирішував проблему оцінки потужності хостингу за відсутності заздалегідь визначених точок підключення, він мав недоліки, пов'язані з потребою у важких обчисленнях і тривалості [27]. Посилання [28] запропонував спрощений метод моделювання випадкового сценарію для оцінки впливу розподіленої генерації з різною потужністю в різних точках підключення до розподільної мережі, однак він страждав від таких недоліків, як високі обчислювальні вимоги та потенційні проблеми зі стабільністю.

Для вирішення викладених проблем пропонується комплексна потужність розміщення відновлюваної енергії на основі багастратегічного вдосконаленого алгоритму оптимізації Whale (MSWOA). Основні внески підсумовані таким чином:

Було створено комплексну модель оцінки комплексної потужності відновлюваної енергії з урахуванням таких факторів, як показники термічної стабільності, якості електроенергії та струму короткого замикання. У порівнянні з існуючими моделями, запропонована модель враховує не лише вищезазначену безпеку і обмеження стабільності, а також враховує вплив підключення до мережі відновлюваних джерел енергії та забезпеченість ресурсами, що призводить до більш точних результатів оцінки та кращих вказівок щодо планування розподільної мережі.

Пропонується новий і ефективний алгоритм MSWOA. Цей алгоритм не тільки демонструє сильні можливості глобального пошуку, але також демонструє чудову стабільність і відносно швидку швидкість конвергенції.

Аналізуючи вплив обмежень безпеки та стабільності на різні вузли розподільчої мережі, це дослідження розкриває критичні фактори, що стримують підвищення потужності хостингу з точки зору топології розподільчої мережі. Отримані результати стануть цінним керівництвом для операторів, які займаються плануванням та експлуатацією енергосистеми.

1.2 Аналіз показників оцінки потужності хостингу розподільчої мережі

Інтеграція відновлюваної енергії в розподільчу мережу створить такі проблеми, як двонаправлений потік електроенергії, зниження якості електроенергії та потенційні порушення обмежень щодо струму короткого замикання мережі працюють у замкнутому циклі з розімкнутим контуром. Отже, регулярне функціонування розподільної мережі можна порівняти з окремою мережею випромінювання енергії [29], як показано на рисунку 1.11.

$P_{L,n} + jQ_{L,n}$ на рисунку показано потужність навантаження вузла n. R і X на рисунку представляють відповідно опір і реактивний опір лінії.

1.2.1 Обмеження термостабільності

Суттєва інтеграція відновлюваних джерел енергії в енергомережу порушила попередню однонаправлену структуру потоку, що призвело до двонаправлених коливань потоку електроенергії та навіть уможливило подачу електроенергії до мережі вищого рівня [30, 31]. Оцінка термостабільності в розподільних мережах, зосереджена на забезпеченні для передачі електроенергії. Обов'язково, щоб теплова стійкість цього обладнання відповідала заданим межам швидкості навантаження, виражається наступним чином:

$$\gamma = \frac{P_{DG}^{all} - P_{Lmax}}{S_{tran}} \quad (1.1)$$

де P_{DG}^{all} це загальний вихід відновлюваної енергії, P_{Lmax} - загальний розмір навантаження, S_{tran} – це потужність трансформатора.

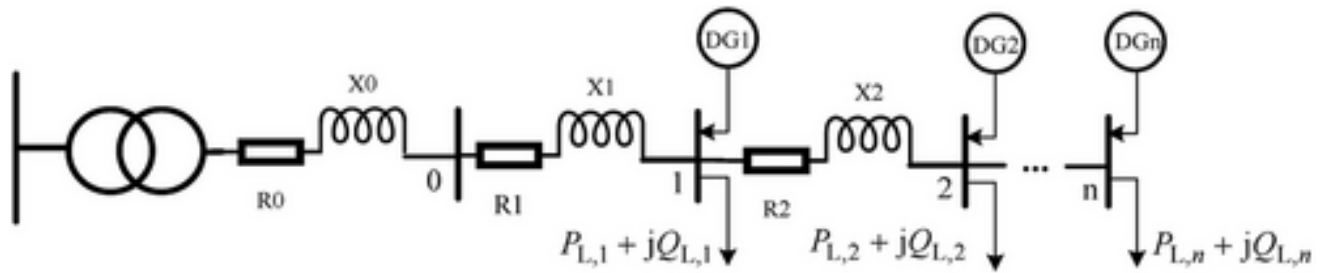


Рисунок 1.1. – Еквівалентна топологія розподільної мережі

Обмеження для швидкості зворотного навантаження такі:

$$\gamma \leq 80\% \quad (1.2.)$$

Максимальне значення $\gamma_{\max}$ швидкості зворотного навантаження в період оцінки буде використовуватися як індекс оцінки для оцінки потужності відновлюваної енергії, яка буде додана до оцінюваної мережі S_m :

$$S_m = k_r (1 - \gamma_{\max}) S_{tran} \quad (1.3.)$$

де k_r – коефіцієнт запасу роботи трансформаторного обладнання.

1.2.2. Відхилення напруги

Падіння напруги в лінії виражається наступним чином:

$$\Delta V_{ij} = \frac{P_{ij}R_{ij} + Q_{ij}X_{ij}}{V_i} + j \left(\frac{P_{ij}X_{ij} - Q_{ij}R_{ij}}{V_i} \right) \quad \forall (i, j) \in \phi \quad (1.4.)$$

де ϕ – це сукупність ліній, вузлів і відповідно представляють головний і кінцевий вузли лінії, P_{ij} і Q_{ij} , відповідно являють собою активну потужність і

реактивну потужність лінії, iR_{ij} і X_{ij} відповідно представляють опір і реактивність лінії розподілу, V_i це напруга на головному кінці лінії.

Відхилення напруги, представлене дисперсією між напругою на клемі та втратою напруги вздовж лінії, показано нижче.

$$V_j = V_i - \Delta V_{ij} \quad \forall (i, j) \in \phi \quad (1.5.)$$

Обмеження, що стосуються відхилення напруги в моделі оцінки максимальної пропускної здатності відновлюваної енергії, встановлено на основі відповідних положень національного стандарту, як зазначено нижче.

$$V_N (1 - \epsilon) \leq V_i \leq V_N (1 + \epsilon) \quad \forall i \in N \quad (1.6.)$$

Де V_N – номінальна напруга розподільної мережі і ϵ – швидкість відхилення напруги.

1.2.3 Коливання напруги

Широка інтеграція відновлюваної енергії в розподільчу мережу призводить до тимчасових коливань напруги через притаманну випадковість у виробленні відновлюваної енергії [32]. нижче.

$$d_i \leq d_{max} \quad (1.7.)$$

де d_i – відсоток коливання напруги вузла при відповідному режимі роботи і d_{max} є максимально допустимим значенням коливання напруги, зазначеним у технічних рекомендаціях.

Коливання напруги через фотоелектричні та вітрові електростанції можна виразити за такою формулою:

$$d_{pv,k} = \frac{\lambda_p \sum_{i=0}^k \left[R_i \sum_{j=i}^n P_{PV,j} + X_i \sum_{j=i}^n Q_{PV,j} \right]}{V_N^2} \times 100\% \quad (1.8.)$$

де $d_{pv,k}$ це коливання напруги у вузлі k спричинене фотоелектричною напругою та λ_p це відношення миттєвої зміни потужності, викликаной природними умовами, до номінальної вихідної потужності відновлюваної енергії $P_{V,j}$ і $Q_{pv,j}$ являють собою активну потужність і реактивну потужність фотоелектричної потужності на вузлі j , відповідно.

Амплітуда миттєвої зміни потужності розподіленої потужності вітру, спричинена швидкістю та напрямком зовнішнього вітру, встановлюється як частка номінальної потужності λ_w у режимі постійного керування потужністю вирази для обчислення коливань напруги, викликаних відновлюваними джерелами енергії, представлені таким чином:

$$d_{w,k} = \frac{\lambda_w \sum_{i=0}^k \left[R_i \sum_{j=i}^n P_{win,j} + X_i \sum_{j=i}^n Q_{win,j} \right]}{V_N^2} \times 100\% \quad (1.9.)$$

де $P_{win,j}$ і $Q_{win,j}$ являють собою активну і реактивну потужність вітрової енергії у вузлі відповідно.

1.2.4 Струм короткого замикання

Інтеграція відновлюваних джерел енергії посилює струм короткого замикання в місцях пошкодження в розподільчій мережі, створюючи проблеми для відключаючої здатності автоматичних вимикачів і здатності усунення несправностей систем автоматизації розподілу припущення, що струм короткого замикання в кожному вузлі шини в системі не перевищує межі

відповідного струму розімкненого вимикача після інтеграції відновлюваних джерел енергії розділений на несправні порти та несправну мережу за межами цих портів, визначену розташуванням несправностей. Після еквівалентного перетворення мережі за межами пошкодженого порту короткого замикання згідно з теоремою Тевенена узагальнене рівняння для короткого замикання. струм на несправному порту виражається наступним чином:

$$\dot{I}_f = Y_f \dot{U}_f = Y_f (I + Z_{eq} Y_f)^{-1} \dot{U}_{eq}^{(0)} \quad (1.10.)$$

$$I_f < I_{fmax} \quad (1.11.)$$

Де $\dot{I}_f$ і I_{fmax} струм короткого замикання несправного порту та допустима межа струму короткого замикання системи розподілу; Y_f – провідність пошкодженої мережі, яка визначається типом пошкодження та параметрами пошкодження; I – одинична матриця; Z_{eq} і $\dot{U}_{eq}^{(0)}$ є еквівалентним повним опором і еквівалентним потенціалом несправного порту, відповідно Процес застосування детально описано в [33, 34]. Відповідно до національних стандартів Китаю, струм короткого замикання, що подається розподіленими блоками живлення, такими як двигуни, до точки несправності зазвичай не перевищує 10. Подібним чином, струм короткого замикання, що видається мережевими блоками розподіленого живлення, що використовують інвертори, зазвичай не перевищує номінальної потужності в 1,5 рази.

1.3 Модель хосту відновлювальної енергії для розподільних мереж

Потужність розміщення відновлюваної енергії в розподільній мережі означає максимальну потужність відновлюваної енергії, яку може інтегрувати

розподільча мережа, забезпечуючи безпечну та стабільну роботу системи. Обмеження, пов'язані з безпекою та стабільністю розподільчої мережі, охоплюють термічну стабільність, відхилення напруги, коливання напруги, струм короткого замикання та обмеження потоку електроенергії. Таким чином, модель оцінки потужності розміщення відновлюваної енергії формулюється наступним чином.

1.3.1 Цільова функція

Оскільки в мережу інтегрується все більше DRES, використання єдиної моделі розподілу для індивідуальної інтеграції відновлюваної енергії більше не має значення для визначення потужності хостингу, яка повинна бути здатна визначити максимальну граничну потужність для одночасного підключення кількох DRES до мережі. Це дослідження передбачає однакові коефіцієнти потужності для всіх DRES, а максимальна допустима потужність для інтеграції в розподільчу мережу виражається наступним чином:

$$f = \max \left(\sum_{i=1}^n P_{DG,i} / \cos \varphi_i \right) \quad (1.12.)$$

Де $P_{DG,i}$ це потужність, підключена до мережі відновлюваної енергії та кількість відновлюваної енергії, а $\cos \varphi_i$ є коефіцієнтом потужності відновлюваної енергії, і f максимальна інтеграційна здатність системи розподілу відновлюваної енергії.

1.3.2 Обмеження потоку електроенергії розподільної мережі

Розподільні мережі зазвичай радіальні, і за нормальної роботи рівняння

потоків потужності можна виразити як

$$P_j = P_i - R_j \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} - P_{l,j} + P_{DG,j} \quad (1.13.)$$

$$Q_j = Q_i - X_j \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} - Q_{l,j} + Q_{DG,j} \quad (1.14.)$$

$$U_j^2 = U_i^2 - 2(R_j P_i + X_j Q_i) + (R_j^2 + X_j^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} \quad (1.15.)$$

де P_i і Q_i є активною потужністю та реактивною потужністю, що протікає через лінію між вузлами i і $i+1$ відповідно, і $P_{DG,j}$ і $Q_{DG,j}$ є активною потужністю та реактивною потужністю підключення до мережі відновлюваних джерел енергії у вузлі j .

1.3.3 Обмеження виробництва відновлюваної енергії

Обмежуючись природними умовами, потужність кожного вузла підключення відновлюваної енергії до відновлюваної енергії буде певною мірою обмежена таким чином:

$$\begin{cases} 0 \leq P_{DG,i} \leq P_{DGmax,i} \\ 0 \leq Q_{DG,i} \leq Q_{DGmax,i} \end{cases} \quad (1.16.)$$

1.3.4 Обмеження показника оцінки місткості відновлюваної енергії

Потужність розподільчої мережі з відновлюваних джерел енергії

залежить від обмежень термічної стабільності, як показано в рівняннях (2) і (3), обмежень щодо відхилення напруги, як виражено в рівнянні (6), обмежень щодо коливань напруги, як зазначено в рівняннях (8.) і (9), а також обмеження струму короткого замикання, як зазначено в рівняннях (10) і (11).

1.4 Мультистратегічне покращення алгоритму оптимізації WHALE

WOA — це евристичний алгоритм, заснований на стратегії вилову бульбашок для китів, що імітує три основні способи поведінки китів під час полювання: оточення здобичі, поведінка полювання та пошук здобичі.

Модель, встановлена в цій роботі, включає обмеження термічної стабільності, обмеження якості електроенергії, обмеження струму короткого замикання, обмеження потоку потужності тощо. Це дуже нелінійна та складна модель [35]. PSO) і генетичний алгоритм (GA) покладаються на єдиний механізм пошуку, який вимагає ручної конфігурації параметрів оновлення популяції. На відміну від цього, ефективність PSO помітно знижується. WOA має багаті механізми пошуку та індивідуальні механізми оновлення, які можуть краще адаптуватися до моделей із кількома обмеженнями та мають високу ефективність вирішення [36].

Однак традиційний WOA стикається з такими проблемами, як низька точність, повільна швидкість конвергенції та чутливість до локальних оптимумів під час застосування [37]. Для вирішення цих проблем було введено MSWOA, щоб підвищити продуктивність і ефективність алгоритму. По-друге, щоб запобігти передчасній конвергенції та збільшити швидкість алгоритмічної конвергенції, адаптивна вагова стратегія була замінена нелінійною коефіцієнти конвергенції під час оновлення позиції сукупності, що забезпечує кращий баланс між глобальним і локальним пошуком і прискорює швидкість конвергенції глобального пошуку. Крім того, стратегія польоту Леві використовується для оновлення позиції сукупності, розширюючи можливості пошуку алгоритму та допомагаючи уникнути локальних оптимумів. Нарешті, щоб пом'якшити ризик конвергенції популяції до локальних оптимумів,

виконуються окремі розрахунки для дисперсії придатності та відстані агрегації частинок, що допомагає визначити, чи збіглася популяція локально, і, якщо так, певну ймовірність мутації викликає мутацію для ураженої популяції.

1.4.1 Популяція ініціалізації квазізворотного навчання

Щоб підвищити різноманітність початкової популяції, вводиться ідея квазізворотного навчання, яка виділяє основні характеристики популяції китів за допомогою зворотного навчання, а потім інтегрує ці особливості в процес ініціалізації популяції населення ϵN а пошуковий простір населення ϵd габаритні, то положення i їй індивід $\epsilon X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$ ($i=1,2,\dots,N$), $x_{ij} \in [L_{j\min}, L_{j\max}]$, де $L_{j\min}$ і $L_{j\max}$ ϵ мінімальним і максимальним значенням простору пошуку в j розмірність, відповідно, виражається наступним чином:

$$\tilde{x}_i^j = L_j^{\min} + L_j^{\max} - x_i^j \quad (1.17.)$$

На цій основі метод у цій роботі було вдосконалено за допомогою методу квазізворотного рішення.

$$g_j = \frac{L_j^{\max} - L_j^{\min}}{2} \quad (1.18.)$$

$$\tilde{x}_i^j = \begin{cases} \text{rand}(g_j, \tilde{x}_i^j) & g_j \leq \tilde{x}_i^j \\ \text{rand}(g_j, \tilde{x}_i^j) & g_j > \tilde{x}_i^j \end{cases} \quad (1.19.)$$

По-перше, об'єднайте N рішення, створені оригінальним методом з N рішення, згенеровані квазізворотним навчанням форми $2N$. Потім виберіть N рішення з цих $2N$. Розв'язки, які можуть оптимізувати різноманіття популяцій, визначаються наступним чином: спочатку обчисліть евклідову відстань між

кожним рішенням і розмістити ці значення відстані в порядку спадання розчину з найбільшою відстанню від верху N рішення після упорядкування та включити його в новий сформований набір рішень N рішення, необхідні для ініціалізації населення.

1.4.2 Адаптивна стратегія на основі ваги для оточуючої здобичі

Алгоритм WOA використовує певну відстань і діапазон кутів, щоб охопити область поблизу поточного оптимального рішення. Ця стратегія обмеження дає змогу алгоритму здійснювати пошук у невеликому просторовому діапазоні, тим самим покращуючи ефективність алгоритму, щоб зменшити ризик алгоритму зближуючись до локальних оптимумів, ця робота використовує адаптивну стратегію ваги на стадії оточування здобичі, використовуючи наступну математичну модель для розрахунку:

$$D = |C \cdot X_{best}(t) - X_i(t)| \quad (1.20.)$$

$$X_i(t+1) = w \cdot X_{best}(t) - A \cdot D \quad (1.21.)$$

$$w = 1 - \frac{e^{\frac{t}{T}} - 1}{e - 1} \quad (1.22.)$$

де t кількість ітерацій, T встановлена максимальна кількість ітерацій, а A і C параметри вектора, і $X_{best}(t)$ є оптимальним становищем населення в t ітерації.

$$\begin{cases} A = 2a \cdot r_1 - a \\ C = 2 \cdot r_2 \end{cases} \quad (1.23.)$$

де $r_1, r_2 \in [0,1]$ іа у традиційному WOA здатність глобального пошуку та локального розвитку визначається параметром $|A|$, але через лінійну зміну

контрольного параметра, важко збалансувати здатність глобального пошуку та локального пошуку, тому фактор нелінійної конвергенції а використовується в цьому дослідженні.

$$a = 2 - 2 \sin \left(\lambda \frac{t}{T} \pi + \delta \right) \quad (1.24.)$$

Значення λ дорівнює 0,5, а значення δ дорівнює 0.

1.4.3 Адаптивна мисливська поведінка

Етап полювання моделює мисливську поведінку китів і шукає потенційні рішення в навколишньому регіоні, що допомагає алгоритму швидше наблизитися до оптимального рішення та певною мірою уникнути попадання в локальні оптимуми, враховуючи 50% ймовірність вибору будь-якого з них обмежувального механізму або спіральної моделі для оновлення положення китів під час процесу оптимізації, математична модель виражається наступним чином:

$$X_i(t+1) = X_{best}(t) - A \cdot D \quad p < 0.5 \quad (1.25.)$$

$$X_i(t+1) = D'_i \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + w \cdot X_{best}(t) \quad p \geq 0.5 \quad (1.26.)$$

$$D'_i = |X_{best}(t) - X_i(t)| \quad (1.27.)$$

де b — константа логарифмічної спіральної форми, а $l \in [-1, 1]$.

1.4.4 Стратегія випадкового пошуку здобичі на основі польоту Леві

На стадії випадкового пошуку WOA позиція кожного індивіда оновлюється шляхом обміну інформацією з відповідними позиціями інших індивідуумів у межах обмеженого діапазону, що призводить до обмеженого простору рішення під час випадкового пошуку польоту Леві на етапі випадкового пошуку WOA. який випадковим чином збільшує розмір кроку пошуку китів, розширює простір пошуку, покращує можливості пошуку та навіть прискорює швидкість конвергенції. Математична модель описана таким чином:

$$X_i(t+1) = X_{rand}(t) + \alpha \cdot \text{sign}[\text{rand} - 0.5] \oplus \text{Levy}(s) \quad (1.28.)$$

де X_{rand} — це випадково згенерована позиція кита та значення $\text{sign}[\text{rand}-0.5]$ дорівнює -1 або 1 . Політ Леві — це негаусівський випадковий процес із розміром кроку, який відповідає розподілу Леві:

$$\text{Levy}(s) \sim |s|^{-1-\beta} \quad 0 < \beta \leq 2 \quad (1.29.)$$

де β є показником із крок польоту, який можна розрахувати за допомогою алгоритму Мантеги.

$$s = \frac{\mu}{|v|^{\frac{1}{\beta}}}, \quad \mu \sim N(0, \sigma^2), \quad v \sim N(0, \sigma_v^2) \quad (1.30.)$$

$$\sigma_\mu = \left\{ \frac{\Gamma(1+\beta) \cdot \sin(\pi\beta/2)}{\beta \cdot \Gamma[(1+\beta)/2] \cdot 2^{\frac{(\beta-1)}{2}}} \right\}^{\frac{1}{\beta}}, \quad \sigma_v = 1 \quad (1.31.)$$

де β приймається за 1,5, μ і v дотримуйтесь нормального розподілу. Об'єднавши рівняння (1.9) – (1.12), можна отримати формулу для оновлення окремих позицій:

$$X_i(t+1) = X_{rand}(t) + \alpha \cdot \text{sign}[rand - 0.5] \cdot \alpha_0 \frac{\mu}{|v|^{\frac{1}{\beta}}} \cdot (X_{rand}(t) - X_i(t)) \quad (1.32)$$

1.4.5 Оцінка локальної конвергенції та стратегії мутації

Щоб запобігти потраплянню генеральної сукупності в локальне оптимальне рішення, у цьому дослідженні використовується дисперсія відповідності сукупності, середня відстань агрегації та поріг кластеризації, щоб визначити, чи потрапляє генеральна сукупність у локальне оптимальне рішення, якщо воно потрапляє в локальне оптимальне рішення, він може з певною ймовірністю вискочити з локального оптимального рішення шляхом мутації.

Дисперсія пристосованості популяції

Дисперсія відповідності популяції описана у формулі нижче.

$$\eta^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{f_i - f_{avg}}{f} \right)^2 \quad (1.33)$$

де η^2 є дисперсією пристосованості населення, f_i є значенням придатності i фізична особа, f_{avg} є середнім значенням пристосованості населення, f — нормалізований коефіцієнт масштабування, який використовується для обмеження розміру η^2 . Значення f відображається в наступній формулі:

$$f = \max \left\{ 1, \max \left\{ |f_i - f_{avg}| \right\} \right\} \quad (1.34)$$

Середня відстань кластеризації та поріг ступеня кластеризації населення

Середня відстань агрегації популяції виражається наступним чином:

$$MeanDist = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{\sum_{j=1}^d \left(X_{best}^j(t) - X_{pbest,i}^j \right)^2}}{N} \quad (1.35)$$

Поріг ступеня агрегації сукупності виражається таким чином:

$$BorderDist = \sqrt{\sum_{j=1}^d \left(L_j^{max} \right)^2} / 100 \quad (1.36)$$

де $X_{pbest,tj} \in j$ – мірне положення історичного оптимального рішенняго індивіда.

Коли дисперсія відповідності сукупності наближається до нуля, а середня відстань агрегації менша за поріг ступеня агрегації, сукупність вважається локальним оптимумом. У цей час простір пошуку сукупності може бути обмежено околицями локального оптимуму, тому нам потрібно змінити популяцію, щоб збільшити простір пошуку популяції та зробити так, щоб популяція вийшла за межі локального оптимуму, правило варіації популяція – це така ймовірність зміна, випадкове число генерується в ітерації. Якщо випадкове число менше ймовірності варіації, популяція мутується, тобто додається випадкове збурення. $X_{best}(t)$, що може збільшити простір оптимізації популяції та допомогти популяції вийти за межі локального оптимуму. Імовірність варіації становить від 0,1 до 0,3, а локальне оптимальне рішення мутується наступним чином:

$$X_{gbest}^j(t) = X_{best}^j(t) \cdot (1 + 0.5\rho), \forall j \in d \quad (1.37)$$

де p є випадковим числом, що підкоряється стандартному нормальному розподілу.

Базуючись на наведеному вище описі, процес алгоритму MSWOA для вирішення проблеми розміщення відновлюваної енергії розподільчої мережі представлено на рисунку 1.2.

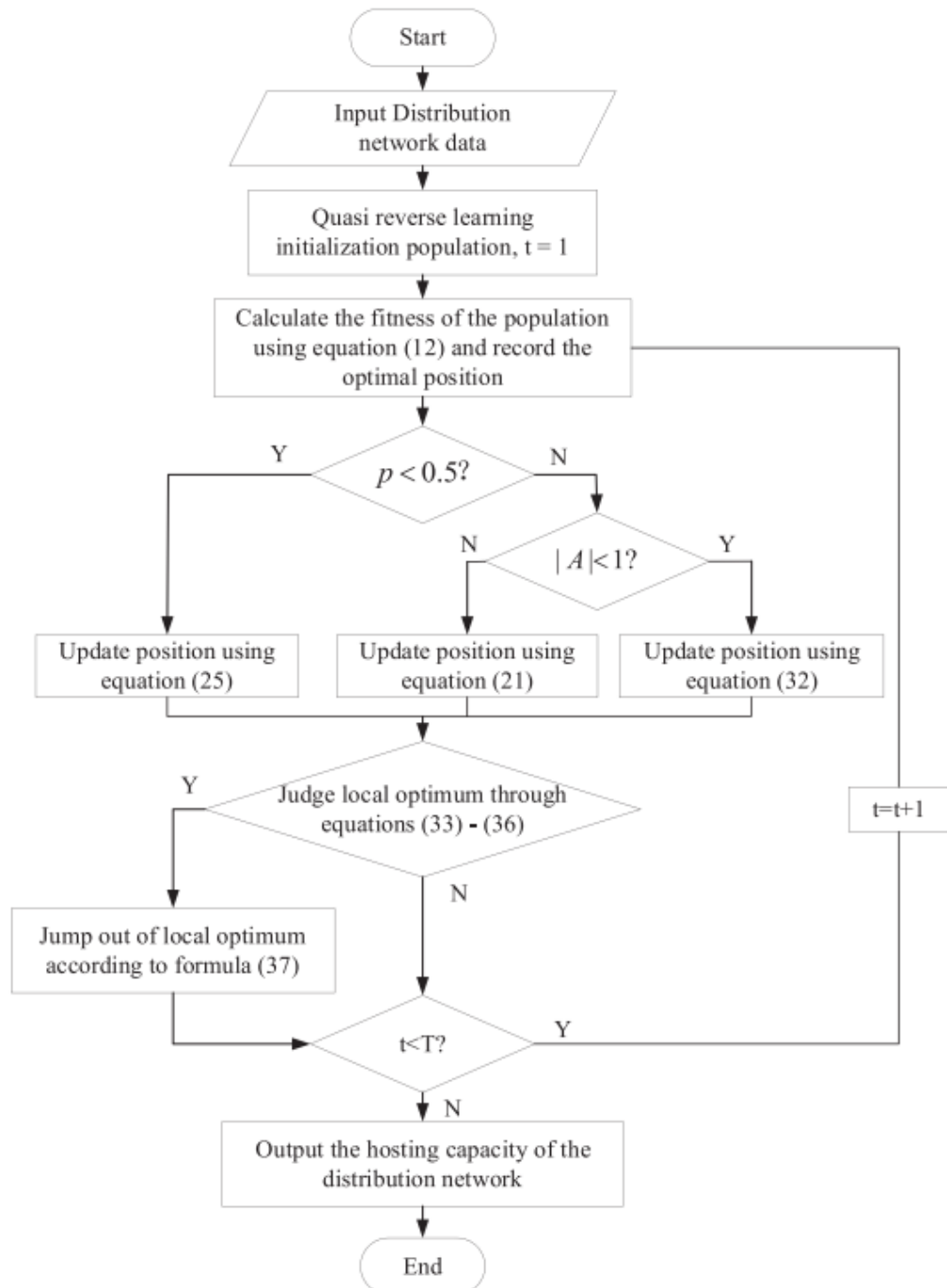


Рисунок 1.2. – Процес вирішення MSWOA, багатостратегічний покращений алгоритм оптимізації

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Інтеграція розподіленої відновлюваної енергії в розподільчу мережу впливає на безпеку та стабільність електромережі. У цьому дослідженні всебічно розглядаються обмеження безпеки та стабільності розподільчої мережі, будується відносно повна модель оцінки потужності хостингу та пропонується нова версія. Алгоритм для вирішення моделі. Нарешті, для перевірки моделі та алгоритму, запропонованих у цьому дослідженні, підсумовано наступне.

- На потужність розміщення відновлюваної енергії в розподільчій мережі впливають не лише різні показники безпеки та стабільності, такі як термічна стабільність, якість електроенергії та струм короткого замикання, але також пов'язані з місцем підключення до мережі відновлюваної енергії та ресурсними умовами Розташування розподільчої мережі. Точна модель оцінки потужності розподільчих мереж може надати орієнтир для планування та експлуатації розподільчих мереж. Комплексна модель потужностей розміщення, розроблена в цьому дослідженні, демонструє універсальність і придатність для оцінки потужностей розміщення відновлюваних джерел енергії. мережі різного масштабу.
- Відхилення напруги та коливання напруги є критичними індикаторами, що обмежують потужність розміщення відновлюваної енергії в розподільчих мережах. Вплив цих двох показників різниться в різних вузлах, при цьому вузли, проксимальні до терміналів лінії, демонструють підвищену чутливість до інтеграції відновлюваної енергії. Інтеграція відновлюваних джерел енергії сприяє збільшенню струмів короткого замикання в системі. Близькість виникнення короткого замикання до точки взаємозв'язку з відновлюваною енергією підкреслює посилюючий вплив відновлюваної енергії на струми короткого замикання. Вузли, розташовані ближче до основної шини, більш сприйнятливі до збільшених струмів короткого замикання під час виникнення несправності, створюючи вищий ризик перевищення обмежень

струму короткого замикання.

- Запропоновано декілька стратегій для покращення алгоритму WOA. У порівнянні з іншими вісьмома алгоритмами, алгоритм MSWOA має хорошу продуктивність конвергенції та здатність до глобального пошуку, а також хорошу стабільність масштабованість.

Потужність розміщення відновлюваної енергії стала гарячою темою в поточних дослідженнях, і майбутня дослідницька робота головним чином зосереджена на синергетичній взаємодії між генерацією та навантаженням, а також на впливі інтеграції нових накопичувачів енергії на потужність розподілу відновлюваної енергії. мережі.

РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ЄМНОСТІ СТОХАСТИЧНОГО ХОСТИНГУ SOLAR PV З УРАХУВАННЯМ ЕПІСТЕМІЧНОЇ (Е) ФУНКЦІЇ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТЕЙ

2.1. Вступ

Потужність сонячних фотоелектричних (PV) зростає в усьому світі [1]. Збільшення в два рази. Односкладова спрямована в бік корисного масштабу і має більші розміри. Розміри перевищують номінал запобіжника 63А для більшості житлових будинків. Друга складка спрямована на побутових споживачів і має максимальний розмір 43,5 кВт трифазної сонячної PV (запобіжник 63 А). Агрегати встановлюються переважно на дахах.

Постійне додавання сонячної фотоелектричної енергії в розподільні мережі робить їх більш складними за конфігурацією [2]. Останній склад призводить до небажаного впливу на якість електроенергії та надійність в цілому [2, 3, 4, 5]. Вплив може бути серйозним і залежати від факторів розподільчої мережі, наприклад, структури фідеру, споживання навантажень, розташування, одно- або трифазної сонячної фотоелектричної мережі та розміру сонячних фотоелектричних установок. Через серйозність, спричинену додаванням сонячної фотоелектричної енергії, обмеження має бути визначено кількісно, називається потужністю розміщення [3, 6].

Деякі фактори, які визначатимуть вплив сонячної фотоелектричної енергії, невідомі. Невідомі фактори призводять до невизначеності, пов'язаної з інтеграцією розподіленої генерації, наприклад сонячної фотоелектричної енергії, у розподільні мережі [7]. Це невизначеності, класифіковані на два типи: алеаторні та епістемічні [8]. Коли враховуються невизначеності, для оцінки потужності хостингу можна застосувати часові ряди та стохастичні методи. Ці два методи можуть генерувати структури на основі сценаріїв для оцінки потужності хостингу мережі розподілу. Це стосується нового виробництва (сонячна фотоелектрична система) або нового споживання (EV) з урахуванням

традиційних споживчих навантажень [9].

Операторам розподільчих мереж (DSO) часто доводиться планувати додавання в майбутньому сонячних фотоелектричних установок (нове виробництво), які зазвичай розміщені в різних місцях мережі. Необхідно оцінити випадки підключення сонячної фотоелектричної системи. Під час планування більшої кількості сонячних фотоелектричних установок у розподільчій мережі слід враховувати робочий стан для підтримки високої якості електроенергії. Планування майбутніх випадків або можливих сценаріїв здійснюється на тлі двох типів випадкової та епістемічної невизначеності, які вплинуть на кількість клієнтів, яким дозволено встановлювати сонячні фотоелектричні системи в майбутньому [7].

Планування розподільної мережі має забезпечити надійне електропостачання споживачів у майбутньому [10, 11]. Це потрібно робити навіть серед сонячної фотоелектричної енергії [1]. Завжди існує ризик, пов'язаний із додаванням сонячної енергії, який може вплинути на роботу розподільчої мережі. Більшість методів і процесів планування враховують оптимальне розміщення розподіленої генерації, наприклад сонячної фотоелектричної системи. З плануванням виникає багато обмежень. Метою планування є максимізація рівня проникнення, надійності та потужності [12].

З іншого боку, інвестиції, експлуатаційні витрати, втрати в лінії та вплив на якість електроенергії повинні бути мінімізовані або зменшені до рівнів, нижчих за граничні. Оцінка потужності хостингу повинна враховувати деякі або всі обмеження. Ризик планування, який здійснює DSO для того, щоб максимізувати певні (наприклад, рівень проникнення або пропускну здатність) аспекти або мінімізувати інші аспекти (наприклад, підвищення напруги або теплове перевантаження), впливає на потребу в інвестиціях для розподільчої мережі в майбутньому. [5, 11]. Оптимальне планування та інтеграція відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна фотоелектрична установка, можна здійснити будь-яким із наведених нижче методів; Традиційні техніки або метаевристичні алгоритми [10]. Одним із методів традиційних методів є

імовірнісний. Його вибрано, щоб охопити невизначеності. Оптимальне планування намагається усунути ризик планування перевищення обмежень і лімітів шляхом максимізації бажаних аспектів і мінімізації неприйнятних елементів. DSO бере на себе ризик планування, враховуючи комбінацію випадкової та епістемічної невизначеності. Який опис ризику планування, на який DSO часто бере? Як це розглядається, коли воно включає обидві невизначеності? Непередбачувані невизначеності можна охарактеризувати функцією розподілу ймовірностей (PDF), тоді як епістемічні невизначеності зумовлені браком інформації. Поєднання двох невизначеностей у моделі представляє унікальний спосіб моделювання невизначеностей.

У цьому стохастичний підхід, який передбачає поєднання обох типів невизначеностей у моделі, буде застосовано для оцінки потужності хостингу. Повний метод розроблено в [13]. Було введено 90-й процентиль як маржу ризику планування. У цьому дослідженні обговорюватиметься маржа ризику планування, що це таке та що DSO використовує в концепції методу оцінки потужності хостингу.

У дослідженні буде оцінено потужність хостингу шляхом застосування стохастичного підходу в [13, 14]. Буде оцінено вплив запасу ризику планування, який DSO беруть під час планування, «функцію розподілу епістемічної ймовірності (PDF)». Оцінка визначить, як це вплине на потужність хостингу для низьковольтної (LV) розподільної мережі в Північній Швеції. Підхід, використаний у цьому дослідженні, також можна застосувати до мереж розподілу в інших країнах і регіонах. Внески дослідженні:

Детальне пояснення ризику планування, який DSO бере на себе для оцінки потужності хостингу.

Введення та пояснення функції розподілу епістемічної ймовірності (PDF) як походження рівнів планування та ризиків, що використовуються DSO.

Оцінка впливу запасу ризику планування на оцінку потужності хостингу.

Ілюстрації впливу суворішої та менш суворої маржі ризику планування DSO на потужність хостингу для розподільчої мережі

2.2. Невизначеності, потужність хостингу та методи планування

Оцінка потужності хостингу для нового виробництва електроенергії (сонячна PV) або споживання (EV) може бути виконана за допомогою детерміністичного, стохастичного або методу часових рядів [1, 15]. Додавання сонячної фотоелектричної енергії до розподільної мережі пов'язане з невизначеністю [8, 16, 17]. Невизначеності класифікуються на випадкові та епістемічні невизначеності [8, 18].

Невизначеності, пов'язані з оцінкою потужності розміщення фотоелектричних сонячних батарей, класифікуються на дві категорії (алеаторні та епістемічні, А–Е). Невизначеності, які часто розглядаються в дослідженнях потужності хостингу для сонячної енергії, включають сонячне опромінення, розмір сонячної фотоелектричної панелі, тип сонячної фотоелектричної панелі, хмарний покрив, включаючи ясне небо або затінення, споживання, розташування клієнтів із сонячною фотоелектричною енергією та фазу, до якої однофазна блок, буде підключено. Останні згадані невизначеності були розглянуті в дослідженнях у [1, 3, 19, 20, 21, 22, 23].

Врахування невизначеностей означає, що використання детермінованих методів не виключається. Застосовуються стохастичний метод і метод часових рядів. Стохастичний підхід застосовує оцінку потужності хостингу з урахуванням епістемічної функції розподілу ймовірностей (PDF). Стохастичний або імовірнісний підхід використовує моделювання Монте-Карло.

Інші дослідження, в яких застосовувалися стохастичні підходи, є [1, 3, 19, 20, 21, 22, 23]. У [1] підкреслюється, що планувальник повинен мати можливість оцінити потужність хостингу і, таким чином, мати можливість регулювати введення нових підрозділів. Це вказує на необхідність рішення щодо планування посеред сонячних фотоелектричних проникнень. Крім того, багато невизначеностей часто ускладнюють оцінку потужностей хостингу. Існує також необхідність порівняння між детерміністським і стохастичним

підходами. Порівняння та бенчмаркінг було зроблено в [3]. Було проведено оцінку для різних методів оцінки потужності хостингу. Останнє дозволяє вибрати відповідні методи.

Підхід до потужності хостингу було зазначено як інструмент планування в [24]. У новій структурі [19] підхід до потужності хостингу також був рекомендований як інструмент планування для визначення ліміту сонячних фотоелектричних установок. Між [19, 24] очевидно, що розробка підходів до потужностей хостингу повинна бути вбудована в аспект планування розподільчих мереж, які DSO можуть використовувати для прийняття рішень у розпал проникнень PV. Далі в [20] наголошується, що потужність хостингу необхідно оцінювати з точки зору планування та експлуатації. Планування має бути оптимальним, щоб рішення йшло до максимізації або мінімізації для боротьби з негативними наслідками. Відповідно до [10], DSO має розглянути звичайні методи або метаевристичні алгоритми для проблеми планування.

У звичайних методах можна використовувати такі методи, як аналітичні методи, вичерпний аналіз, змішане ціле число для лінійного та нелінійного програмування, оптимальний потік потужності та ймовірнісні методи [10]. Для метаевристичних алгоритмів застосовуються такі методи, як генетичні алгоритми (GA), оптимізація рою частинок (PSO), пошук за табу (TS), імітований відпал (SA) і оптимізація колонії мурах (ACO) [10, 11]. Практичність технік або методів часто оцінюється для їх використання в промисловості. Часто сумніваються, чи має він бути загальним чи специфічним [20]. Переваги та недоліки методів наведено в таблиці в [10].

Перехід до загального, а не конкретного сценарію рекомендовано в [20] для досліджень потужності хостингу. Реалістична мережа розподілу важлива для застосування методів, розроблених для оцінки потужності хостингу. У [21] для стохастичного дослідження використовувалася фінська розподільна мережа з різними рівнями проникнення сонячної фотоелектричної енергії. Проблема перенапруги була обмежувальним аспектом для більшого проникнення фотоелектричної енергії [5, 6]. У виконанні стохастичного дослідження

модельовання Монте-Карло було застосовано в [21, 22]. Підтримка напруги та аспекти зберігання збільшили ємність хостингу, зменшивши проблеми з перенапругою [21, 22]. Було проведено комплексне дослідження з використанням стохастичного підходу на основі Монте-Карло для тисяч розподільних мереж низької напруги (LV) [23]. Випадковий характер клієнтів і часове вікно, подібне до часу доби (ToD), представлене [14], було зроблено в [23]. Дослідження в [23] показало, що можливо реалізувати підхід, заснований на оцінці ризику, до стохастичної потужності хостингу.

Наведені вище дослідження підкреслюють важливість підходу до потужності хостингу як інструменту планування та розглядають невизначеності. Жоден з них явно не ідентифікує алеаторну та епістемічну невизначеності. Ризик планування та вплив на потужність хостингу не розглядалися в дослідженнях [1, 2, 9, 10, 11, 12, 13]. Це спонукало мене представити та пояснити епістемічну PDF. Далі ця робота демонструє вплив ризику планування, що впливає з епістемічної PDF.

Опис невизначеностей A–E

Алеаторні та епістемічні (A–E) невизначеності, також виявлені в інших областях [16, 17], впливають на дослідження стохастичних можливостей розміщення.

Природна випадковість і вбудована мінливість змінних породжують випадкову невизначеність. Дані та інформація, що стосуються випадкових невизначеностей, можуть бути представлені статистичним способом і отримані з даних вимірювань. Функція розподілу ймовірностей (PDF) або ймовірності характеризують випадкові невизначеності [13, 25]. PDF можна використовувати як вхідні дані для стохастичних досліджень, що випадкові невизначеності впливають на результат. Одним із таких прикладів є дослідження в цій діслідженні.

Бракує знань або інформації про невизначені змінні. Останнім є епістемічна невизначеність. Модельовання епістемічної невизначеності є важливим для стохастичних досліджень. Для модельовання змінної епістемічної

природи можна використовувати інтервальний аналіз, докази або посибілістичну теорію [26]. Варіативність епістемічної невизначеності можна зменшити, зібравши більше інформації або побудувавши більше знань [11, 25]. Дві останні дії можуть зайняти багато часу. Крім того, отримати статистичну інформацію про епістемічні невизначеності з вимірювань часто неможливо.

Алеаторна та епістемічна невизначеності важливі для стохастичних досліджень. Застосування має починатися з визначення їх щодо стохастичного дослідження та їх впливу. Ідентифікація збору дозволить нам розрізняти два типи невизначеностей. Це призведе до розробки відповідних моделей, які можна застосовувати до стохастичних досліджень для оцінки потужності хостингу.

У більшості досліджень потужності хостингу [1, 3, 19, 20, 21, 22, 23] використовуються обидві невизначеності. Ідентифікувати їх у зв'язку із заявкою на дослідження можливостей хостингу для прийняття рішень необхідно.

2.3. Метод стохастичної потужності хостингу

Стохастичний підхід використовується для вивчення впливу епістемічної невизначеності на потужність розміщення сонячної фотоелектричної енергії. Основне припущення, що лежить в основі цього підходу, полягає в тому, що перенапруги через сонячну фотоелектричну енергію спочатку виникатимуть протягом чотирьох сонячних годин дня (10:00–14:00) і місяців року (березень–вересень). Цей підхід враховує як алеаторну, так і епістемічну невизначеність [13].

Оцінку потужності розміщення для розподільчої мережі можна зробити для однофазних сонячних фотоелектричних або трифазних сонячних фотоелектричних установок у місцях розташування клієнтів у моделі. Метод підтримує однофазні або трифазні інвертори. У цьому дослідженні

розглядалося введення сонячної енергії з одиничним коефіцієнтом потужності (лише введення активної потужності).

2.3.1. Розрахунок підвищення величини напруги

Застосовується матриця опору передачі (TI), яка з'єднує величину напруги в двох конкретних місцях (розташування A і B) [27, 28]. Підвищення напруги та введений струм пов'язані з рівнянням (2.1).

$$U(A) = Z_{tr}(A, B) \cdot I_{PV}(B) \quad (2.1)$$

Де $Z_{tr}(A, B)$ це імпеданс передачі від місця B до місця A і $I_{PV}(B)$ - струм, що вводиться в місці B. Імпеданс є елементом AB матриці передавального опору.

Додавання сонячної фотоелектричної енергії сприяє підвищенню напруги на існуючій напрузі, отриманому в періоди низького споживання споживачем, і виникає на рівні середньої напруги, який називається фоновою напругою. Додавання значної кількості блоків у місцях розподільчої мережі призводить до багаторазового підвищення напруги в цьому місці. Результуюча напруга оцінюється за допомогою рівняння (2.2).

$$U(A) = U_0(A) + \sum_{B=1}^N Z_{tr}(S, T) \times \{I_{PV}(B) - I_{cons}(B)\} \quad (2.2)$$

де $I_{cons}(B)$ - поточне споживання в місці B, $U_0(A)$ - є фоновою напругою і $I_{PV}(B)$ - це інжекція струму через сонячну фотоелектричну установку на місці B.

Моделювання методом Монте-Карло використовується для отримання

функції розподілу напруги за допомогою рівняння (2.2), включаючи невизначеності. Моделювання за методом Монте-Карло генерує випадкові значення величини напруги для кожного клієнта. Значення використовуються для отримання функцій розподілу ймовірностей, по одній функції для кожного клієнта. Для місця розташування клієнта розподіл ймовірностей є розподілом найвищої напруги в цьому місці.

2.3.2. Фонова напруга

Фонова напруга отримується локально для клієнта з нульовим виробництвом і локально споживається на підключенні клієнта (вузлі). Другий термін ($U_0(A)$) у рівнянні (2.2) показує фонову напругу. Підвищення напруги очікується з додаванням сонячної фотоелектричної енергії та найменшим споживанням, як показано в рівнянні (2.2). Підвищення напруги дасть найвищу напругу, яку відчуватиме споживач у розподільній мережі. Найвища напруга порівнюється з запасом перенапруги (EN50160 або SS-EN50160) і ризиком планування (див. розділ 2.4).

2.3.3. Алеаторні та епістемічні невизначеності

Стохастичний підхід розглядає як алеаторну, так і епістемічну невизначеність. Фонова напруга, енергоспоживання споживача та виробництво фотоелектричних сонячних батарей є випадковими факторами невизначеності, які моделюються за допомогою їхніх функцій розподілу ймовірностей. Модель випадкових невизначеностей включає.

Будується функція розподілу ймовірностей (PDF) для кожної фази найменшого споживання (після диверсифікації) споживача. Використане споживання споживачем є рівномірним розподілом зі значеннями від 0 до 250

Вт [14, 29].

Функції розподілу ймовірностей максимального сонячного виробництва для заданого розміру на установку. Діапазон значень від 0,7 до 0,95 від максимального номінального значення враховує зміни у виробництві.

Найвища фоновая напруга та функції розподілу ймовірностей вибираються під час ToD та ToY. Розповсюдження представляє найгірший сценарій під час розглядуваних ToD і ToY для мережі розподілу. У цьому дослідженні використовувався рівномірний розподіл між 238 В і 242 В.

Епістемічні невизначеності включають кількість споживачів сонячної фотоелектричної системи, розмір, тип, нахил і напрямок нахилу (азимут) і підключення фази (якщо однофазна). Крім того, як окремий тип епістемічної невизначеності включено ризик планування, описаний як епістемічна PDF (див. Розділ 2.4). Моделі епістемічної невизначеності, застосовані для стохастичного підходу:

Існує однакова ймовірність підключення однофазної сонячної фотоелектричної установки до будь-якої трифазної. Крім того, у клієнта з однофазним блоком є можливість підключення до будь-якої з трьох фаз.

Існує можливість інтервалу для розподільчої мережі для одного клієнта з сонячною фотоелектричною панеллю до загальної кількості споживачів з сонячною фотоелектричною енергією. Діапазон інтервалів кількості споживачів із сонячною PV (NPV) розглядається від одного клієнта до 33 споживачів (40% проникнення). Проникнення, у цьому дослідженні, є максимальною кількістю клієнтів із сонячною фотоелектричною енергією (33) у відсотках від загальної кількості клієнтів у досліджуваній розподільчій мережі (83). Національна ціль у 7–14 ТВт-год виробництва електроенергії в Швеції повинна надходити від сонячної фотоелектричної енергії в 2040 році. Ціль є частиною бажання мати 100% поновлювану енергію в 2040 році [30]. Метою є поєднання великомасштабних і малорозподілених (максимум 43,5 кВт для будинків) сонячних фотоелектричних установок. Це означає частку 25% для малих розподілених сонячних фотоелектричних установок. Рівень проникнення 40%

був обраний для представлення верхнього аспекту планування на 15% перекладеної національної цілі для Швеції.

Усі клієнти мають однакову ймовірність встановлення сонячної фотоелектричної системи в розподільчій мережі.

Піковий розмір сонячної фотоелектричної системи (максимум) вважається фіксованим. У цьому дослідженні використовувалася трифазна сонячна фотоелектрична установка потужністю 15 кВт. Потужність подається з одиничним коефіцієнтом потужності.

2.3.4. Блок-схема стохастичного підходу

Блок-схема для стохастичного підходу, застосованого в цьому дослідженні для оцінки потужності хостингу та показу впливу епістемічної функції розподілу ймовірностей (PDF), показана на рисунку 2.1.

На рисунку 2.1 крок даних розподільної мережі отримано від DSO. Збір даних базується на вимірюваннях і тому, як DSO побудував розподільчу мережу. Дані розподільної мережі в розділі 2.3.5 використовуються як вхідні дані для розрахунку напруги. Рівняння розрахунку напруги задається рівнянням (2.2). Розрахунок виконується для всієї мережі шляхом перетворення матриці адмітансу в матрицю імпедансу, а потім створення нової матриці імпедансу передачі [27, 28]. Реалізація блок-схеми була виконана в MATLAB як інструмент для оцінки потужності хостингу для мережі розподілу (див. Розділ 2.3.5 для досліджуваної мережі розподілу). Реалізація також може бути здійснена в іншому звичайному програмному забезпеченні, яке використовують DSO, шляхом створення нової матриці імпедансу передачі.

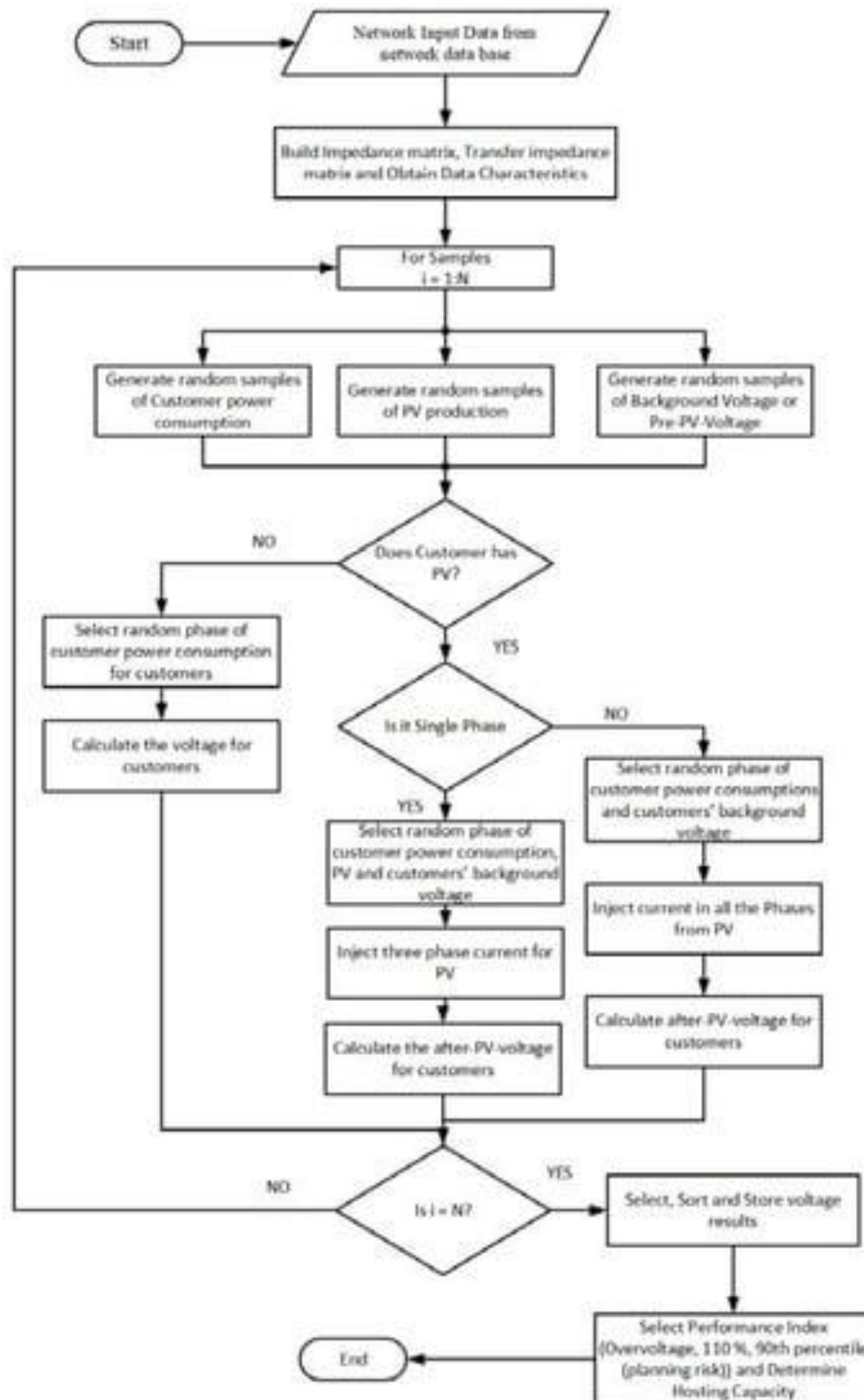


Рисунок 2.1. – Блок-схема стохастичного підходу до розміщення потужності в розподільчій мережі для однофазної та трифазної сонячної фотоелектричної мережі

Блок-схема стохастичного підходу є загальною для оцінки потужності розміщення однофазної та трифазної сонячної фотоелектричної системи. У

цьому дослідженні використовується трифазна сонячна фотоелектрична мережа з піковою потужністю 15 кВт, щоб представити та пояснити епістемічну PDF, що призводить до ризику планування (маржі), який часто приймає DSO. Ємність хостингу — це кількість клієнтів, які можуть встановити сонячну фотоелектричну енергію без порушення запасу перенапруги та з урахуванням ризику планування, застосованого з урахуванням усіх можливих місць розташування клієнтів.

2.3.5. Вивчення мережі розподілу

Для дослідження використовується трифазна низьковольтна розподільна мережа в Північній Швеції з 83 клієнтами, розташованими в приміській зоні. Це трансформатор 500 кВА, 10/0,4 кВ, Дуп11 з повним опором 4,9 %, який подає живлення в мережу [14]. Схема розподільної мережі дослідження показана на рисунку 2.2.

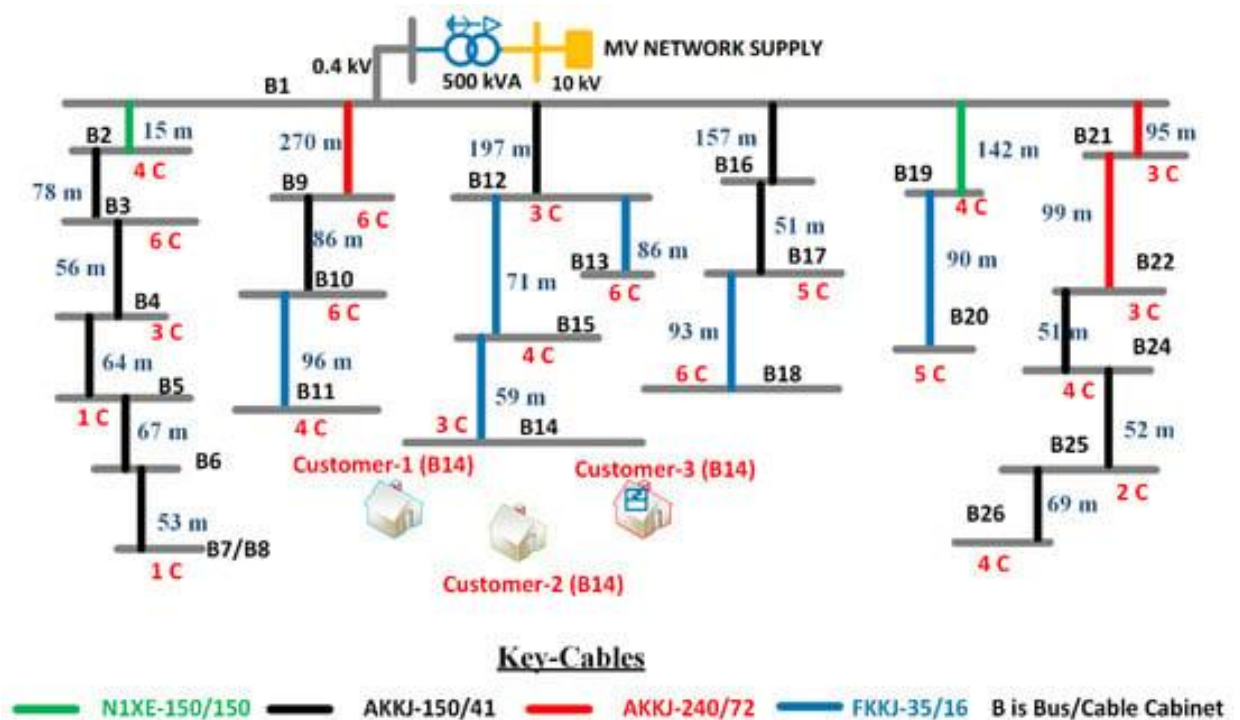


Рисунок 2.2. – Досліджена розподільна мережа з підключеними 83 клієнтами

Використані дані, схема яких показана на рисунку 2.2, були отримані від шведського оператора мережі. Споживачі, підключені до кожної кабельної шафи, позначеної літерою В, показані, наприклад, як 3С. По кожній кабельній шафі існує розподіл клієнтів від 1 клієнта (1С) до 6 клієнтів (6С). Мережа розподілу дослідження є вхідними даними для кроку номер два на рисунку 2.1.

2.4. Планування ризиків і епістемічний PDF

Стохастичний підхід до визначення потужності хостингу враховує невизначеності. Розглядаються два типи невизначеностей: випадкова та епістемічна невизначеності. Дві невизначеності стосуються виробництва фотоелектричної енергії та інтеграції в мережу. Отримані значення потужності хостингу пов'язані з різними ризиками. Ризик планування визнає, що обмежена перенапруга (або перевантаження) може виникнути, якщо сонячні фотоелектричні установки встановлені в найгірших місцях.

Епістемічний PDF

Епістемічна PDF формулюється шляхом спочатку розгляду певного «нормального споживання». Розподільча мережа може мати задану кількість виробництва сонячної фотоелектричної енергії. Розподільча мережа повинна обслуговувати максимальне чисте виробництво завдяки сонячній фотоелектричній енергії. Останнє стосується високого процентильного значення (наприклад, 99,99%). Очікувана напруга та струм повинні бути в межах, прийнятних у стандартах або розподільних мережах. Останнє є одним із рішень багатьох рішень базової проблеми планування. Потужність, що постачається клієнтам, повинна відповідати прийнятним робочим межах. Навантаження під час прийнятної роботи часто називають «розмірним навантаженням», і існують добре розроблені правила для розподільних мереж. Навантаження розмірів також відоме як «максимальний попит після рознесення». Максимальний попит після диверсифікації — це високий

відсотковий внесок кожного клієнта в річне пікове споживання, що є випадковим.

Інші невизначеності, які слід враховувати, — епістемічні невизначеності. Деякі з прикладів, згаданих раніше в Розділі 3, включають розташування, розмір PV, кількість споживачів з PV, однофазним або трифазним PV підключенням, а також тенденції зростання. Ця комбінація робить річний пік стохастичною змінною з функцією розподілу ймовірностей. PDF-файл не завжди відомий, і його деталі також рідко відомі. Для цілей планування необхідно зробити своєрідне припущення. Це означає, що потрібна функція розподілу. Це функція розподілу ймовірностей річного пікового навантаження в умовах епістемічної невизначеності. Останнє пов'язане з ризиком через планування в такому стані (плановий ризик алеаторно-епістемічного).

Ризик планування, отриманий від поєднання випадкової та епістемічної невизначеності, призводить до епістемічної PDF. Передбачається, що епістемічна PDF відповідає певному розподілу ймовірностей, як показано на рисунку 2.3.

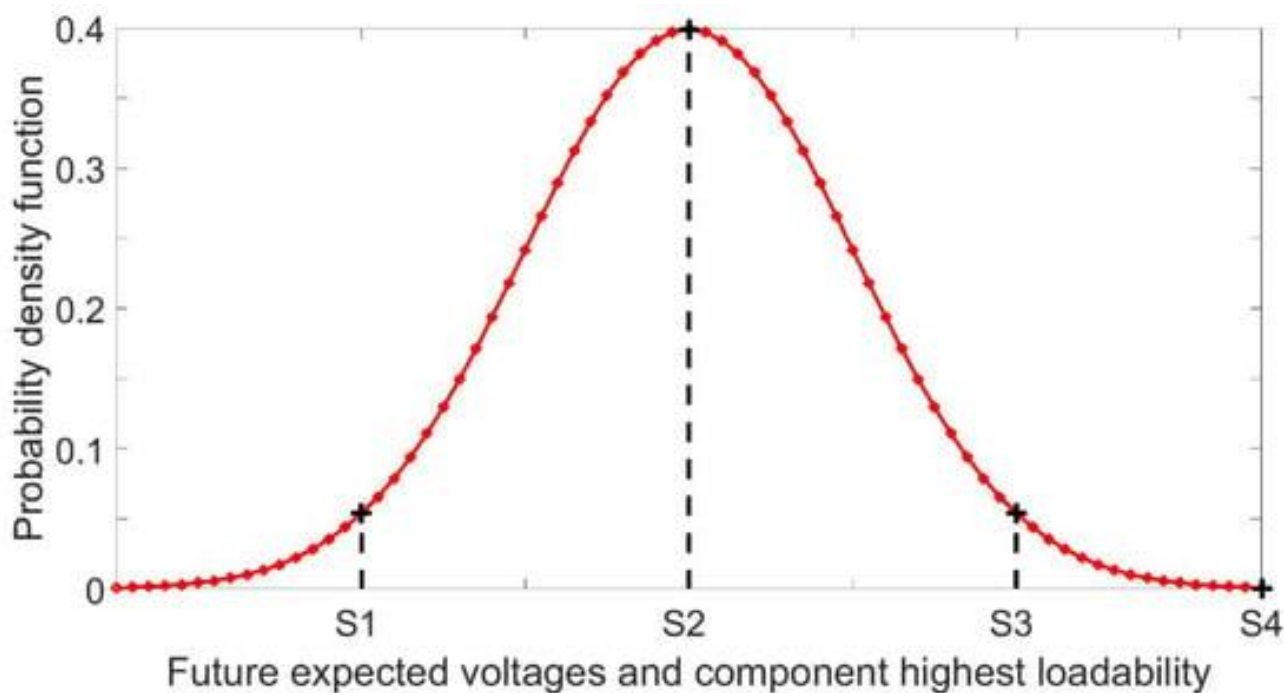


Рисунок 2.3. – Епістемічна PDF показує очікуваний майбутній розподіл ймовірностей з рівнями планування для S1, S2, S3 і S4

Функція розподілу ймовірностей (PDF) передбачуваного річного піку, максимуму або 99,9% процентиля навантаження за умовних невизначеностей з елементом епістемії показано на рисунку 3. Останнє речення показує, що максимальний або високий процентиль використовується для покриття випадкових невизначеностей. Це не так у випадку епістемічної невизначеності. Ризик планування, прийнятий оператором розподільної мережі (DSO), є процентилем епістемічної PDF, показаної на рисунку 2.3. DSO визнає, що його можна перевищити під час планування.

Епістемічна PDF — це цілий розподіл значень, а не одне значення для річного пікового навантаження. Планувальник розподільної мережі повинен вибрати одне значення. Наприклад, ризик планування 10% означає, що вибрано 90-й процентиль. Після вибору цього значення відбувається повернення до стандартних правил планування для побудови розподільчої мережі.

На рисунку 2.3 показано чотири рівні майбутнього планування з різними ризиками планування. Рівні S1, S2, S3 і S4. Оператори DSO повинні гарантувати надійне електропостачання, яке має включати будь-які майбутні сценарії. Потрібне рішення щодо планування, для якого потрібні чотири рівні планування. Вибір конкретного ризику планування повинен збалансувати витрати на інвестиції та витрати на перевищення лімітів прийнятної якості електроенергії. У деяких випадках політичне середовище, економічні стимули та правила можуть сильно вплинути на вибір. Фактичний вибір також може стати дуже політичним, оскільки суспільство може нести ризики регульованої монополії.

2.5. Результати щодо місткості хостингу (НС)

Для оцінки ємності хостингу необхідний вибір ліміту та індексів. Перенапруга використовується в стохастичному підході для цієї діслідженні. Підвищення напруги через сонячну фотоелектричну інжекцію не повинно

перевищувати 110% від номінального значення. Розподіл ймовірностей напруги отримано для кожного споживача в розподільній мережі. Ємність хостингу визначається шляхом порівняння граничного значення процентиля в розподілі ймовірностей. Ємність хостингу варіюється від одного клієнта до значення NPV (100%). Процентильне значення, значення якого отримано в епістемічній PDF, становить ризик планування та пояснюється в розділі 2.5.1. 90-й процентиль спочатку застосовано як базовий сценарій у цьому дослідженні для потужності хостингу. 90-й процентиль вказує на маржу ризику планування 10%. DSO готовий розглянути майбутні інвестиційні потреби в межах планування.

2.5.1. Оцінка НС із застосуванням 10% ризику планування

Оцінка потужності хостингу була виконана для 90-го процентиля (10% ризик планування). Отримані результати показані на рисунку 2.4.

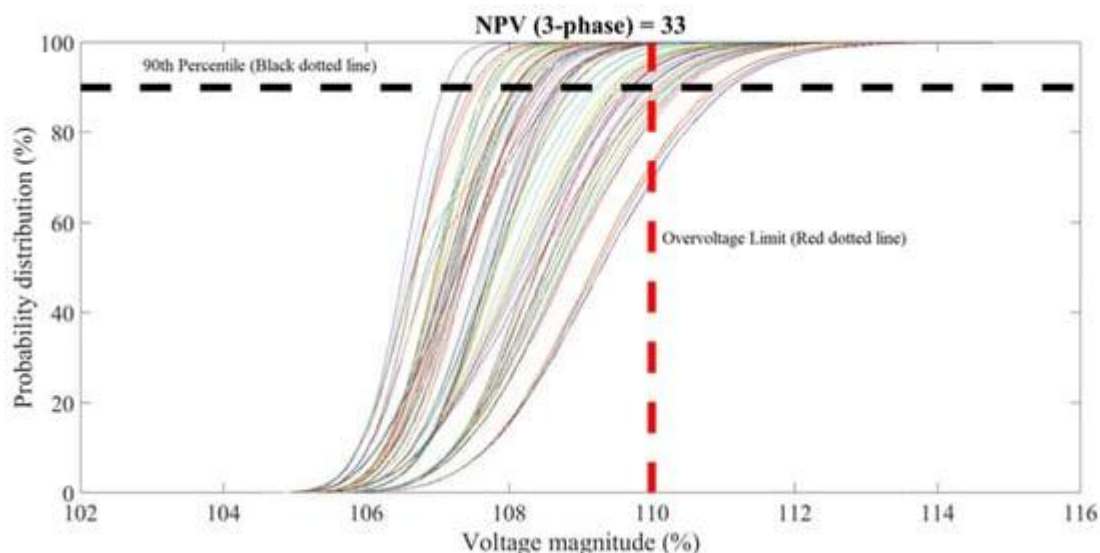


Рисунок 2.4. – Функція розподілу ймовірностей для досліджуваної розподільчої мережі із застосуванням епістемічної PDF з рівнями планування 10% (маржа над чорною пунктирною лінією) для значень 90-го процентиля для клієнтів

Отримано значення вздовж лінії 90-го процентиля на рисунку 2.4. Вони показані на рисунку 2.5. Значення порівнюються з межею перенапруги 110%.

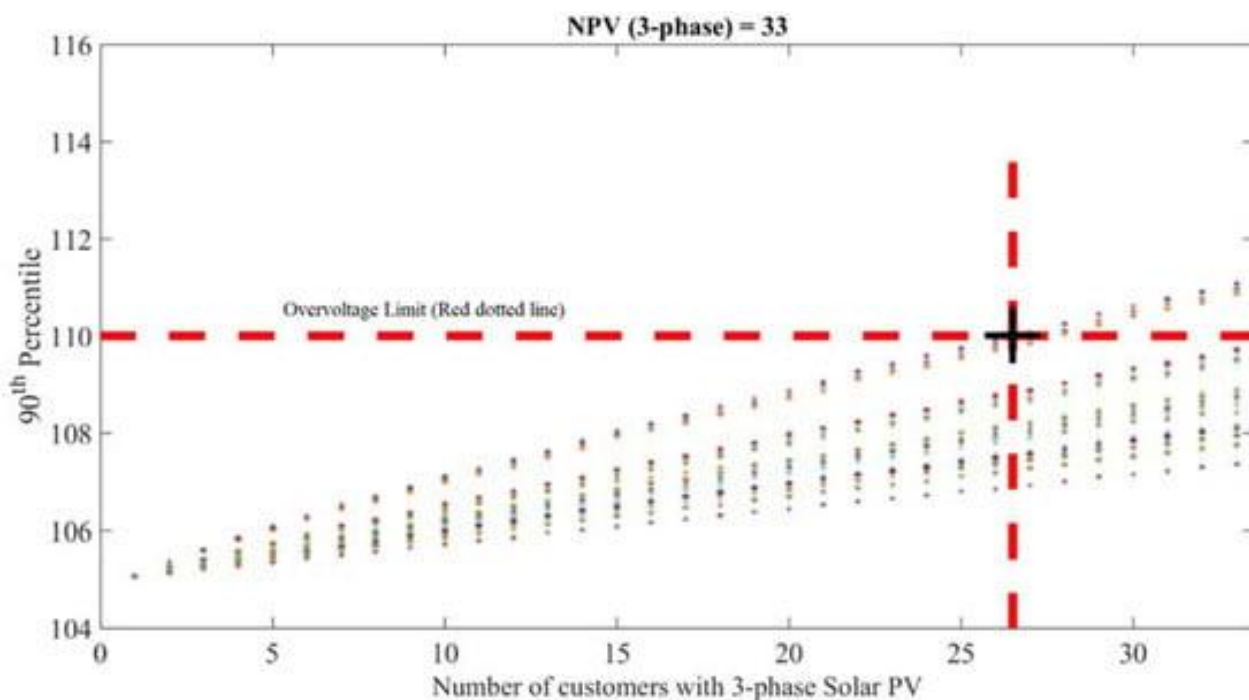


Рисунок 2.5. – Значення 90-го процентиля для напруг споживачів на рисунку 2.4 застосовуються для визначення потужності хостингу для розподільчої мережі

На рисунку 2.5 кількість клієнтів зі значеннями напруги, отриманими з рисунка 2.4, які не перевищують 110%, дає допустиму кількість клієнтів (ємність хостингу). Ємність хостингу становить 26 клієнтів із 33 клієнтів (79%). Значення потужності хостингу було отримано на 90-му процентилі, що становить 10% ризику планування для DSO. Оператор DSO може прийняти більш суворі або менш суворі ризики планування під час свого планування або оцінки потужності хостингу. Вони вплинуть на кількість споживачів, яким дозволено підключати сонячні фотоелектричні системи. Були отримані випадки більш суворих і менш суворих ризиків планування, які наведені в Розділі 2.5.2 і Розділі 2.5.3.

2.5.2. Більш суворе планування ризиків

Щоб отримати потужність хостингу, застосовувалися суворіші ризики планування. НС був оцінений для 99-го, 96-го, 93-го та 90-го (базовий випадок) значень процентиля. Інтерпретація передбачає планування маржі ризику 1%, 4%, 7% і 10% (базовий сценарій). Отримані результати показані на рисунку 2.6.

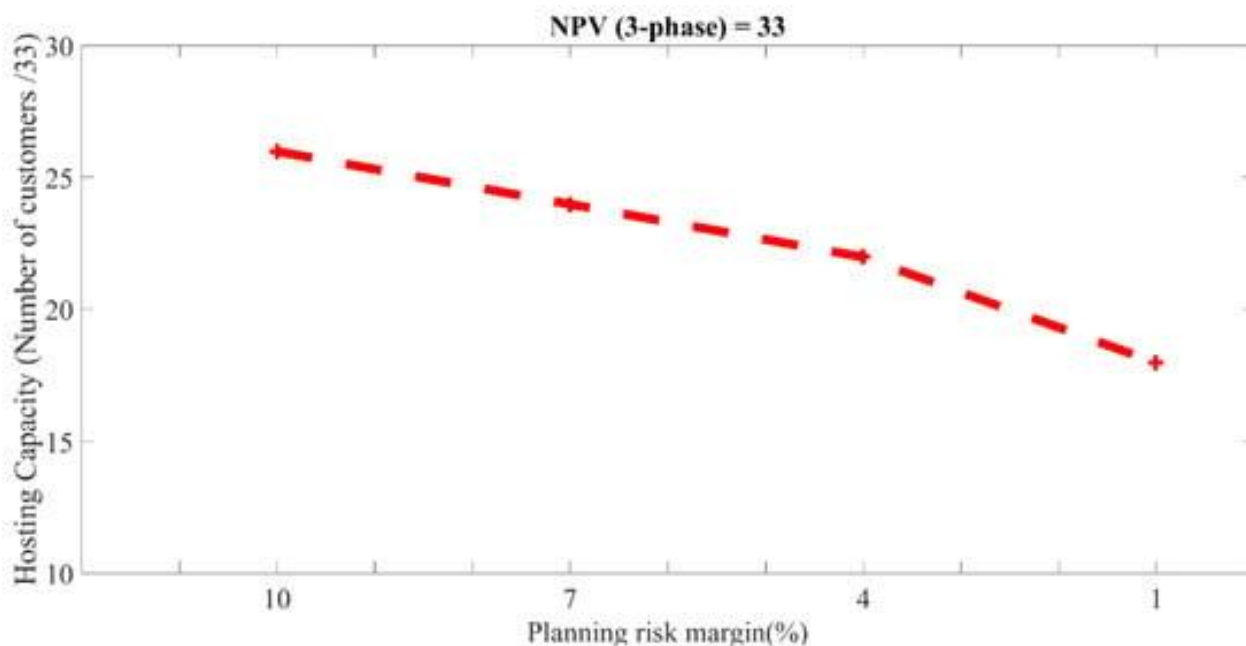


Рисунок 2.6. – Оцінка потужності хостингу для різних більш суворих ризиків планування DSO

Результати на рисунку 2.6 показують тенденцію до зниження потужностей хостингу. Зменшення маржі ризику планування з 10% до 7% свідчить про відповідне зменшення потужності хостингу на 8%. Існує аналогічне зменшення потужності хостингу з більш суворою маржею ризику планування з 10% до 4% і 1%, як показано на рисунку 6. Зміна маржі ризику планування з 10% до 1% (строгіше планування) відповідає зменшенню на 31% потужності хостингу для досліджуваної розподільчої мережі. Менша кількість клієнтів може підключити сонячні фотоелектричні установки, коли DSO має суворий ризик планування.

Інший варіант полягає в тому, щоб DSO був менш суворим. Дослідження

проводилися для менш суворих прикладів запасу ризику планування, які DSO може вибрати для оцінки потужності хостингу. Результати наведено в розділі 2.5.3.

2.5.3. Менш строгий ризик планування

Менш жорсткі ризики планування були застосовані для отримання потужності хостингу. НС був оцінений для 60-го, 70-го, 80-го та 90-го (базовий випадок) процентних значень. Інтерпретація процентилів є маржею ризику планування 40%, 30%, 20% і 10% (базовий варіант). Отримані результати показані на рисунку 2.7.

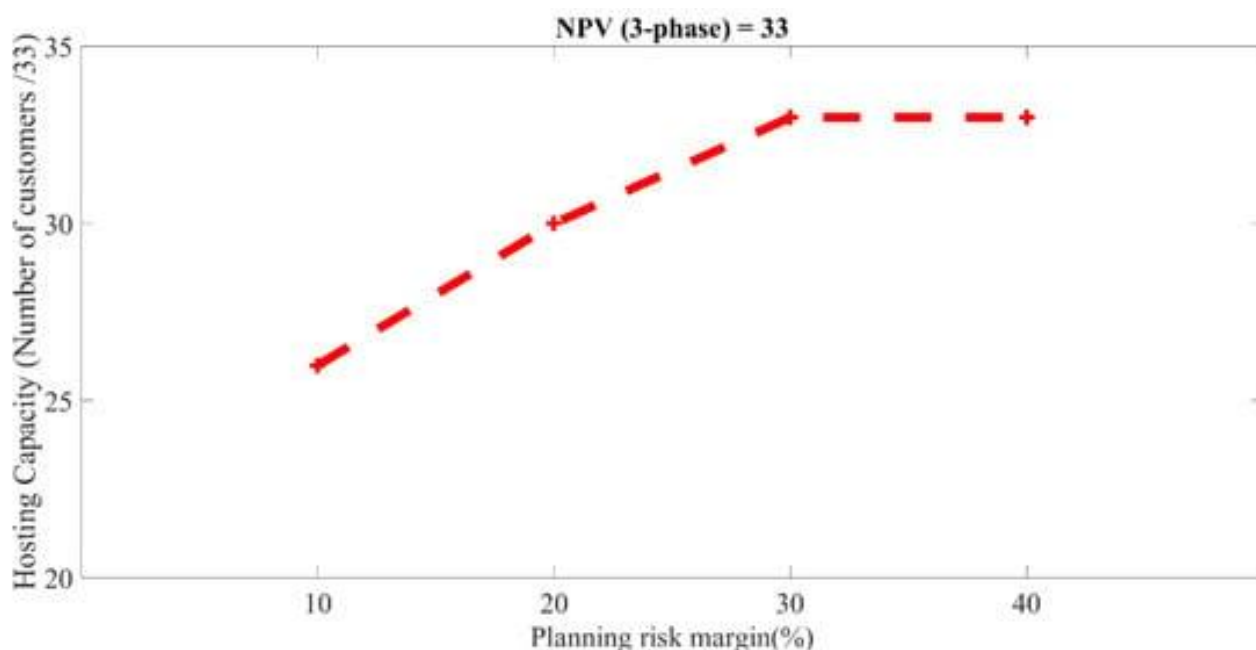


Рисунок 2.7. – Оцінка потужності хостингу для різних менш суворих ризиків планування DSO

Збільшення маржі ризику планування з 10% до 20%, що є менш суворим, призводить до збільшення потужності хостингу на 15%. Більше клієнтів у розподільчій мережі можуть підключати сонячні фотоелектричні установки. Подальше збільшення маржі ризику планування з 10% до 30% і 40% дає змогу

всім розглянутим клієнтам (33) дозволити підключати свої сонячні фотоелектричні установки. Кількість клієнтів, яким дозволено підключати свої сонячні фотоелектричні установки, зросла зі збільшенням запасу ризику планування, як показано на рисунку 2.7.

ВИСНОВКИ ДО РОЗІДЛУ 2

Розрахунки потужності хостингу в цьому дослідженні враховували запас ризику планування. DSO враховують вищий рівень ризику планування та суворішу маржу. DSO враховує ризик перенапруги або перевантаження при плануванні розподільної мережі. Фактична взята вартість невідома.

У базовому випадку враховувався 90-й процентиль і діапазон інтервалів від одного клієнта з сонячною фотоелектричною системою до 33 споживачів. У цьому випадку 79% споживачів не перевищать межі перенапруги. Запас ризику при плануванні передбачає, що перенапруга все ще може виникнути, якщо сонячні фотоелектричні установки встановлені в певних місцях зі слабким електричним струмом. У початковому випадку 10% показано як допуск для останньої перенапруги в цих місцях розподільчих мереж.

Оцінка двох рівнів прийняття рішень, які є суворим і менш суворим плануванням запасів ризику, показала кілька аспектів потужності хостингу. У разі перевищення напруги необхідні заходи для зменшення ризику перевищення ліміту. Коли розглядається більш суворе планування ризику, менш ймовірно, що потрібні заходи пом'якшення, ніж менш суворі рівні. Кількість споживачів, дозволена завдяки певній маржі ризику планування, призведе до інвестицій для пом'якшення перенапруги. Коли DSO розглядає менш сувору маржу ризику планування, потрібні додаткові інвестиції для заходів пом'якшення. Це навпаки, коли береться більш сувора маржа ризику планування.

Маржа ризику планування залежить від законодавства та нормативної бази країни. Крім того, тарифні налаштування та структура також впливатимуть на вибір ОСР. Вони відрізнятимуться від країни до країни та від комунальних компаній. Вибір одного з рівнів на рисунку 3 (S1, S2, S3 або S4) впливатиме на вартість та інвестиції, необхідні для сонячної фотоелектричної системи в розподільних мережах.

Під час планування розподільних мереж часто беруть на себе ризик

планування. Рішення, прийняте DSO, є поєднанням випадкової та епістемічної невизначеності. Значення ризику планування враховує комбінацію двох невизначеностей. OCP не знають, що це значення враховує невизначеності та впливає на профіль інвестицій, які знадобляться в майбутньому. Ця робота показує, що це може бути величезна інвестиція для протидії можливості порушення перенапруги через сонячну фотоелектричну енергію. Це також може запобігти потребі в ньому, якщо виконано ретельне планування, а вибрані рівні вже враховують майбутній вихід нового споживання (EV) або виробництва (PV). Слід враховувати певну маржу ризику планування.

Маржа ризику планування, отримана з епістемічної PDF, поясненої в Розділі 2.4, підкреслює складний характер епістемічної невизначеності щодо оцінок потужності хостингу. Приклади включають кількість клієнтів, які встановлять сонячну фотоелектричну систему в майбутньому, місцезнаходження цього клієнта, розмір сонячної фотоелектричної системи та маржу ризику планування DSO. Епістемологічні невизначеності впливають на здатність хостингу і потребують оцінки за допомогою різних можливостей за допомогою аналізу чутливості. Це тому, що для збору інформації або даних може знадобитися тривалий період. Можливі майбутні тенденції можна оцінити без необхідних даних чи інформації за допомогою різних сценаріїв.

Оцінка в дослідженні враховувала проникнення сонячної фотоелектричної енергії. Ризик планування стосується інших джерел. Це може включати зарядку електромобілів (EV) у розподільчих мережах. Концепція зарядки електромобілів, яка підпадає під нове споживання електроенергії, створює ризик зниження напруги або перевантаження кабелів, ліній або трансформаторів. Аспект зарядки електромобілів має невизначеність, пов'язану з оцінкою ємності хостингу. Підхід планування ризику в останньому випадку визнає, що знижена напруга або перевантаження можуть виникнути в розподільчій мережі під час зарядки EV.

Метод окреслив вплив маржі планування ризику. Залишається питання, які значення використовують DSO. Яким є розподіл цих значень у поєднанні

при випадковій невизначеності? Що враховує конкретний DSO серед S1, S2, S3 та S4 на рисунку 3 ? На рисунку 3 використано довільну функцію розподілу. Ще одним кроком у розвитку цієї діслідженні є визначення тенденцій серед DSO у всьому світі. Це дасть індикацію та можливість оцінити фактичну функцію розподілу ймовірностей. Тому для створення фактичного PDF-файлу в галузі потрібно більше даних.

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ

У дослідженні представлено стохастичний підхід, враховуючи епістемічну PDF, що називається ризиком планування, який дає можливості використання DSO для планування. Підхід розглядав аспект оптимальної сонячної фотоелектричної системи в іншому вимірі з прийнятним ризиком планування. Було надано детальне пояснення, щоб показати значення та походження ризику планування, який часто беруть на себе DSO.

Дослідження показало вплив ризику планування на оцінку потужності хостингу. Зроблено висновок, що чим менш суворим є ризик планування (гнучкість DSO), тим більше інвестицій буде потрібно в майбутньому, щоб заходи пом'якшення діяли нижче ліміту. З іншого боку, чим суворіше DSO планує запас ризику, тим менше інвестицій буде потрібно для пом'якшення в майбутньому. Пом'якшення в обох випадках дозволить більшій кількості споживачів встановлювати сонячні фотоелектричні установки без перевищення лімітів перенапруги.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Li, Z., et al.: Optimal placement of heterogeneous distributed generators in a grid-connected multi-energy microgrid under uncertainties. *IET Renew. Power Gener.* 13(14), 2623–2633 (2019)
2. Li, Z., Wu, L., Xu, Y.: Risk-averse coordinated operation of a multi-energy microgrid considering voltage/var control and thermal flow: An adaptive stochastic approach. *IEEE Trans. Smart Grid* 12(5), 3914–3927 (2021)
3. Lee, K., Zhao, P., Bhattacharya, A., Mallick, B.K., Xie, L.: An active learning-based approach for hosting capacity analysis in distribution systems. *IEEE Trans. Smart Grid* 15(1), 617–626 (2024)
4. Qamar, N., Arshad, A., Mahmoud, K., et al.: Hosting capacity in distribution grids: A review of definitions, performance indices, determination methodologies, and enhancement techniques. *Energy Sci. Eng.* 11(4), 1536–1559 (2023)
5. Vellingiri, M., Rawa, M., Alghamdi, S., et al.: Maximum hosting capacity estimation for renewables in power grids considering energy storage and transmission lines expansion using hybrid sine cosine artificial rabbits algorithm. *Ain Shams Eng. J.* 14(5), 102092 (2023)
6. Islam, M.T., Hossain, M.J.: Artificial intelligence for hosting capacity analysis: A systematic literature review. *Energies* 16(4), 1864 (2023)
7. Chen, X., Wu, W., Zhang, B.: Robust capacity assessment of distributed generation in unbalanced distribution networks incorporating ANM techniques. *IEEE Trans. Sustain. Energy* 9(2), 651–663 (2018)
8. Yuan, J., Weng, Y., Tan, C.W.: Determining maximum hosting capacity for PV systems in distribution grids. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 135, 107342 (2022)
9. Koirala, A., Van Acker, T., D’hulst, R., et al.: Hosting capacity of photovoltaic systems in low voltage distribution systems: A benchmark of deterministic and stochastic approaches. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 155, 111899

(2022)

10. Yichao, D., Shouxiang, W., Bingke, Y.: Review on evaluation methods and improvement techniques of DG hosting capacity in distribution network. *Power Syst. Technol.* 43(7), 2258–2266 (2019)

11. Du, N., Tang, F., Liao, Q., et al.: Hosting capacity assessment in distribution networks considering wind–photovoltaic–load temporal characteristics. *Front. Energy Res.* 9, (2021). <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.767610>

12. Zhong, Q., Gao, X., Yu, N., et al.: Accommodating capacity and mode of distributed generation under harmonic constraint in active distribution networks. *Autom. Electr. Power Syst.* (2014)

13. Wang, J.H., Tai, N.L., Song, K., et al.: Penetration level permission of for DG in distributed network considering relay protection. *Proc. CSEE* 30(22), 37–43 (2010)

14. Wang, Z., Wang, X., Meng, W., et al.: Constraint models of voltage fluctuation limit on OLTC/SVR caused by DG power fluctuation and generator disconnection to assess their impacts on DG penetration limit. *IET Gener. Transm. Distrib.* 11(17), 4299–4306 (2017). <https://doi.org/10.1049/ietgtd.2017.0813>

15. Zheng, T., Jia, S., Pan, Y., et al.: Research on allowed penetration level of DGs based on the traditional fault location methods. *Power Syst. Technol.* 38(8), 2257–2262 (2014)

16. Zou, H., Han, X., Liao, Q., et al.: Penetration capacity calculation for distributed generation considering voltage quality and short circuit capacity constraints. *Power Syst. Technol.* (2016)

17. Xie, J., Tang, F., Qi, J., et al.: Hosting capacity of distributed generation based on holomorphic embedding method in distribution networks. *Front. Energy Res.* 10, 1038892 (2023)

18. Jain, A.K., Horowitz, K., Ding, F., et al.: Dynamic hosting capacity analysis for distributed photovoltaic resources—Framework and case study. *Appl. Energy* 280, 115633 (2020)

19. Moro, V.C., Trindade, F.C.L., Costa, F.B., et al.: Distributed generation

hosting capacity analysis: An approach using interval-affine arithmetic and power flow sensitivities. *Electr. Power Syst. Res.* 226, 109946 (2024)

20. Dong, Y., Dong, C., Yu, R., Ding, J.: Rernewable energy capacity assessment in power system based on linearized OPF. *Electr. Power* 55(3), 1–8 (2022)

21. Chihota, M.J.; Bekker, B.; Gaunt, T. A stochastic analytic-probabilistic approach to distributed generation hosting capacity evaluation of active feeders. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2022, 136, 107598. [Google Scholar] [CrossRef]

22. Pinto, R.S.; Unsihuay-Vila, C.; Tabarro, F.H. Reliability-constrained robust expansion planning of active distribution networks. *IET Gener. Transm. Distrib.* 2022, 16, 27–40. [Google Scholar] [CrossRef]

23. Koirala, A.; Van Acker, T.; D’Hulst, R.; Van Hertem, D. Hosting capacity of photovoltaic systems in low voltage distribution systems: A benchmark of deterministic and stochastic approaches. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2022, 155, 111899. [Google Scholar] [CrossRef]

24. Uzum, B.; Onen, A.; Hasanien, H.M.; Muyeen, S.M. Rooftop Solar PV Penetration Impacts on Distribution Network and Further Growth Factors—A Comprehensive Review. *Electronics* 2020, 10, 55. [Google Scholar] [CrossRef]

25. Fatima, S.; Püvi, V.; Lehtonen, M. Comparison of Different References When Assessing PV HC in Distribution Networks. *Clean Technol.* 2021, 3, 123–138. [Google Scholar] [CrossRef]

26. Fatima, S.; Püvi, V.; Lehtonen, M. Review on the PV Hosting Capacity in Distribution Networks. *Energies* 2020, 13, 4756. [Google Scholar] [CrossRef]

27. Zubo, R.H.A.; Mokryani, G.; Rajamani, H.-S.; Aghaei, J.; Niknam, T.; Pillai, P. Operation and Planning of Distribution Networks With Integration of Renewable Distributed Generators Considering Uncertainties: A Review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 72, 1177–1198. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]

28. Awadallah, S.K.E.; Milanović, J.V. Quantification of aleatory and epistemic uncertainty in bulk power system reliability evaluation. In *Proceedings of*

the 2013 IEEE Grenoble Conference, Grenoble, France, 16–20 June 2013; pp. 1–6. [Google Scholar]

29. Gholami, K.; Karimi, S.; Anvari-Moghaddam, A. Multi-objective Stochastic Planning of Electric Vehicle Charging Stations in Unbalanced Distribution Networks Supported by Smart Photovoltaic Inverters. *Sustain. Cities Soc.* 2022, 84, 104029. [Google Scholar] [CrossRef]

30. Ehsan, A.; Yang, Q. Optimal integration and planning of renewable distributed generation in the power distribution networks: A review of analytical techniques. *Appl. Energy* 2018, 210, 44–59. [Google Scholar] [CrossRef]

31. Soroudi, A.; Amraee, T. Decision making under uncertainty in energy systems: State of the art. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2013, 28, 376–384. [Google Scholar] [CrossRef]

32. Hamidan, M.-A.; Borousan, F. Optimal planning of distributed generation and battery energy storage systems simultaneously in distribution networks for loss reduction and reliability improvement. *J. Energy Storage* 2022, 46, 103844. [Google Scholar] [CrossRef]

33. Mulenga, E.; Bollen, M.H.; Etherden, N. Solar PV stochastic hosting capacity in distribution networks considering aleatory and epistemic uncertainties. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2021, 130, 106928. [Google Scholar] [CrossRef]

34. Mulenga, E.; Bollen, M.H.; Etherden, N. Distribution networks measured background voltage variations, probability distributions characterization and Solar PV hosting capacity estimations. *Electr. Power Syst. Res.* 2021, 192, 106979. [Google Scholar] [CrossRef]

35. Mulenga, E.; Bollen, M.H.; Etherden, N. A review of hosting capacity quantification methods for photovoltaics in low-voltage distribution grids. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2020, 115, 105445. [Google Scholar] [CrossRef]

36. Noorollahi, Y.; Aligholian, A.; Golshanfard, A. Stochastic energy modeling with consideration of electrical vehicles and renewable energy resources—A review. *J. Energy Manag. Technol.* 2020, 4, 13–26. [Google Scholar] [CrossRef]

37. Lliuyacc-Blas, R.; Kepplinger, P. Violation-mitigation-based method for

PV hosting capacity quantification in low voltage grids. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2022, 142, 108318. [Google Scholar] [CrossRef]

38. Kiureghian, A.D.; Didevsen, O. Aleatory or epistemic? Does it matter? *Struct. Saf.* 2009, 31, 105–112. [Google Scholar] [CrossRef]

39. Munikoti, S.; Abujubbeh, M.; Jhala, K.; Natarajan, B. A novel framework for hosting capacity analysis with spatio-temporal probabilistic voltage sensitivity analysis. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2022, 134, 107426. [Google Scholar] [CrossRef]

40. Munikoti, S.; Natarajan, B.; Jhala, K.; Lai, K. Probabilistic Voltage Sensitivity Analysis to Quantify Impact of High PV Penetration on Unbalanced Distribution System. *IEEE Trans. Power Syst.* 2021, 36, 3080–3092. [Google Scholar] [CrossRef]

41. Arshad, A.; Lehtonen, M. A Stochastic Assessment of PV Hosting Capacity Enhancement in Distribution Network Utilizing Voltage Support Techniques. *IEEE Access* 2019, 7, 46461–46471. [Google Scholar] [CrossRef]

42. Arshad, A.; Püvi, V.; Lehtonen, M. Monte Carlo-Based Comprehensive Assessment of PV Hosting Capacity and Energy Storage Impact in Realistic Finnish Low-Voltage Networks. *Energies* 2018, 11, 1467. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]

43. Torquato, R.; Salles, D.; Pereira, C.O.; Meira, P.C.M.; Freitas, W. A Comprehensive Assessment of PV Hosting Capacity on Low-Voltage Distribution Systems. *IEEE Trans. Power Deliv.* 2018, 33, 1002–1012. [Google Scholar] [CrossRef]

44. Bollen, M.H.J.; Rönnberg, S.K. Hosting Capacity of the Power Grid for Renewable Electricity Production and New Large Consumption Equipment. *Energies* 2017, 10, 1325. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]

45. Billinton, R.; Huang, D. Aleatory and Epistemic Uncertainty Considerations in Power System Reliability Evaluation. In *Proceedings of the 10th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, Rincon, PR, USA, 25–29 May 2008; pp. 1–8. [Google Scholar]

46. Soroudi, A.; Ehsan, M.; Caire, R.; Hadjsaid, N. Possibilistic Evaluation of Distributed Generations Impacts on Distribution Networks. *IEEE Trans. Power Syst.* 2011, 26, 2293–2301. [Google Scholar] [CrossRef]
47. Energiforsk. Overvoltage from Single Phase Solar Panels. Available online: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/24707/oerverspanning-fran-enfasanslutna-solpaneler-energiforskrappport-2018-506.pdf> (accessed on 15 December 2018).
48. Weedy, B.M.; Cory, B.J.; Jenkins, N.; Ekanayake, J.B.; Strbac, G. *Electric Power Systems*; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2012. [Google Scholar]
49. Bollen, M.; Mulenga, E.; Rönnberg, S.; Etherden, N. Hosting Capacity of the Grid for Photovoltaic Installations: A Stochastic Approach Applied to Single-phase Connections. In *Proceedings of the 8th Solar Integration Workshop—International Workshop on Integration of Solar Power into Power Systems*, Stockholm, Sweden, 16–17 October 2018. [Google Scholar]
50. Lindahl, J.; Oller Westerberg, A.; Vanky, K.; Berard, J. *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2020*; Swedish Energy Agency: Stockholm, Sweden, 2021. [Google Scholar]
51. Publisher’s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.