

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту

Зав. кафедрою електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський

«__» _____ 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Моделювання і оцінка впливу попиту на зарядку електромобілей на
режими роботи трансформаторів»

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТ.м-71

_____ П.С.Корж

Керівник к. т. н.

_____ І.М. Дяговченко

Консультант

з економічної частини к.ек.н.

_____ О.М. Маценко

Нормоконтроль

_____ М.А.Никифоров

Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроенергетики

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедрою електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський

«__» _____ 2022 р.

Завдання

на кваліфікаційну роботу магістра

Коржа Павла Сергійовича

1. Тема роботи «Моделювання і оцінка впливу попиту на зарядку електромобілей на режими роботи трансформаторів»

затверджено наказом по університету № _____ від _____

2. Термін здачі студентом завершеної роботи 19.12.22 р.

3. Вихідні дані до роботи добовий графік навантаження електрозварювального цеху, добовий графік температури, вміст гармонічних складових в сигналі напруги.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)

– Вступ;

– Створення моделі роботи силового трансформатора в середовищі Simulink з використанням нечіткої логіки;

– Розрахунки сценаріїв розвитку РЕМ з використанням альтернативних джерел енергію конденсаторних батарей на з різним ступенем проникнення та з різним ступенем «насичення» електромобілями

5. Перелік графічного матеріалу (з точним позначенням обов'язкових креслень)

– Схема розширеної моделі що враховує гармоніки напруги, температуру та навантаження.

6. Консультанти:

Розділ	Керівник	Завдання видав	Завдання прийняв
1	Дяговченко І.М.	Дяговченко І.М.	Корж П.С.
2	Дяговченко І.М.	Дяговченко І.М.	Корж П.С.
3	Маценко О.М.	Дяговченко І.М.	Корж П.С.
4	Дяговченко І.М.	Дяговченко І.М.	Корж П.С.

7. Дата видачі завдання 13.09.2022 р.

Керівник роботи _____

Завдання прийняв до виконання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапу роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження теми та завдання магістерської роботи	07.11.22	
2	Підготовка вихідних даних, огляд літератури	09.11.22	
3	Виконання основного розділу (за спеціальністю)	16.11.22	
4	Виконання економічного розділу (із розрахунком)	20.11.22	
5	Виконання розділу охорони праці (із розрахунком)	29.11.22	

6	Оформлення пояснювальної записки, креслень, підготовка презентації	01.12.22	
7	Нормоконтроль (згідно окремого графіка)	7.12.22	
8	Отримання зовнішньої рецензії на виробництві	9.12.22	
9	Отримання підпису завідувача кафедри	14.12.22	
10	Попередній захист	16.12.22	

Студент _____

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

РЕФЕРАТ

с. 79, рис. 40, табл. 16

Бібліографічний опис: Корж П. С. Моделювання і оцінка впливу попиту на зарядку електромобілей на режими роботи трансформаторів [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка /Корж П. С.; наук. керівник І. М. Дяговченко. – Суми: СумДУ, 2022. – 81 с.

Ключові слова: електромобіль, нечітка логіка, силовий трансформатор, сонячна панель, конденсаторна батарея;

electric vehicles, fuzzy logic, power transformer, solar panel, capacitor bank.

Мета роботи: розробка та аналіз роботи силового трансформатора за допомогою нечіткої логіки. Надання порад щодо оптимізації роботи при застосуванні альтернативних джерел енергії.

Актуальність роботи. Розробка умов, які сприяють зменшенню старіння силового трансформатора та полегшенню контролю за його роботою. Застосування додаткових альтернативних джерел енергії з метою економичності роботи та зменшення енергетичних витрат.

Об'єкт дослідження – силовий трансформатор.

Предмет дослідження – методика оптимізації за допомогою нечіткої логіки та альтернативних джерел енергії.

Методи досліджень: системний аналіз факторів, що впливають на роботу електричних машин; математичне моделювання; загальні поняття теорії електричних машин

Короткий огляд: основним аспектом роботи є дослідження того, як попит на зарядку електромобілей впливає на режим роботи трансформатора. З цією метою використали

нечітку логіку та можливість застосування альтернативних джерел енергії. На першому етапі в програмному середовищі Matlab-Simulink була розроблена модель схеми розвитку РЕМ. На другому етапі - сценарії розвитку РЕМ з урахуванням попиту зарядки електромобілей та його вплив на старіння трансформатора. Для зменшення негативних факторів, що впливають на роботу трансформатора та покращення якості параметрів електромережі були встановлені акумуляторні батареї, конденсаторні батареї з можливістю ступеневого регулювання та сонячні панелі. У роботі також представлено економічне обґрунтування переходу до застосування багатозонних тарифів на електроенергію.

Зміст

ВСТУП.....	7
1.1 Графіки зарядки електромобілей і їхній вплив на елементи електромережі... ..	9
1.2 Графіки зарядки електромобілів.....	12
1.3 Нечітка логіка: особливості та переваги інструменту.....	12
1.4 Оцінка профілю навантаження трансформатора	13
1.5 Параметри сонячних генераторів енергії.....	13
1.6 Графіки зарядки електромобілів.....	15
1.7 Профілі навантаження системи електропостачання.....	15
1.8 Вищі гармоніки і температура навколишнього середовища	17
РОЗДІЛ 2. Дослідно-практична частина.....	18
2.1 Розробка сценаріїв.....	18
2.2 Опис схеми нечіткої логіки для моделювання.....	19
2.3 Модель зносу трансформатора	30
2.4 Моделювання сценаріїв розвитку РЕМ	36
2.4.1 Моделювання першого сценарію розвитку РЕМ.....	36
2.4.2 Моделювання другого сценарію розвитку РЕМ	41
2.4.3 Моделювання третього сценарію розвитку РЕМ.....	46
2.5 Визначення найбільш оптимального варіанту	51
2.6 Розробка заходів мотивації власників електромобілей для планової зарядки електромобілей	52
РОЗДІЛ 3. Економічне обґрунтування переходу до застосування багатозонних тарифів.....	54
РОЗДІЛ 4. Охорона праці	66
4.2 Комутаційні апарати та розподільче устаткування.....	69
ВИСНОВКИ.....	73
Список літератури	75

MP 3.6.141. 369.ПЗ

З	Дрк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Копил П.С.			Моделювання і оцінка впливу попиту на зарядку електромобілей на режими роботи трансформаторів	Пім	Дну	Двммію
Керівник		Ляговченко І.М.						
Консульт.		Машенко О. М.				СумДУ, ЕТ.м-71		
Н. контр.		Нікіфоров М.А.						
Затверд.		Лебединський І.Л.						

ВСТУП

Обмежена кількість енергоресурсів і екологічні проблеми останніх десятиліть активно підштовхують людство відмовитися від використання викопного палива і перейти на альтернативні джерела енергії. Важливим кроком на цьому шляху має стати поступовий перехід від автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння до електромобілів.

Однак перехід на ЕМ принесе не тільки переваги, але і проблеми, які необхідно вирішити. По-перше, глобальне споживання енергії збільшиться в принципі, адже до споживання електроенергії побутовою технікою і промисловими об'єктами додаватиметься ще споживання для заряджання ЕМ. По-друге, до щоденних піків графіку електроспоживання додається новий пік – вечірній, коли власники електромобілів будуть заряджати їх вдома і на парковках. По-третє, збільшиться навантаження на лінії електропередавання і трансформатори, оскільки зарядка електромобілів потребує значно більше енергії, ніж звичайна побутова техніка. Крім того, сучасні житлові будинки починають оснащувати високопотужними швидкими зарядними пристроями 10-22 кВт, що приходять на заміну традиційним зарядним пристроям потужністю 3-6 кВт.

Так, лише кілька швидких зарядних станцій потужністю 20 кВт, що працюють одночасно, можуть призвести до перебоїв електропостачання в дачному селищі через перевантаження трансформаторів, що не розраховані на такі понаднормовані навантаження.

Силові трансформатори є одними з ключових елементів розподільних енергетичних мереж. Передача і розподіл електроенергії неможливі без використання силових трансформаторів, що вимагає належної роботи і контролю цих електричних машин. До факторів, які негативно впливають на нормальну роботу трансформаторів і призводять до їх перегріву, відносяться високі температури навколишнього середовища, навантаження, що перевищує номінальне, вищі гармоніки в сигналах напруги і струму. Перегрів обмоток трансформатора і магнітного контуру може призвести до погіршення стану

					MP 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		7

ізоляції, зниження ефективності та скорочення терміну служби електричної машини.

Швидкість зносу ізоляції багато в чому залежить від температурного режиму трансформатора. Режим роботи з постійною температурою масла, яка не перевищує допустимого максимуму, істотно впливає на процеси проникнення кисню і вологи в трансформатор. Крім того, температура є основним фактором окислення масла. Також слід враховувати коефіцієнт навантаження, який є основним показником, що характеризує повноту використання обладнання, і коефіцієнт потужності ($\cos\phi$) трансформатора. На етапі проектування мережі важливо переконатися, що трансформатор має оптимальний $\cos\phi$ і коефіцієнт навантаження для максимально ефективної роботи.

Підключення навантажень, що перевищують номінальну потужність трансформатора, призводить до підвищення температури обмоток, пристроїв регулювання під напругою (РПН), ізоляції та масла, і перегрів може досягати неприпустимих значень. В результаті виникає ризик пошкодження, пов'язаного з величиною струму і температурою; термін служби обладнання скорочується.

Вищі гармонічні спотворення напруги викликають збільшення втрат гістерезису, втрат, пов'язаних з вихровими струмами в сталі та втрат в обмотках трансформаторів. Ще одним негативним аспектом впливу гармонік на трансформатори є циркуляція потрійного струму нульової послідовності в обмотках, з'єднаних за схемою «трикутник», що може призвести до їх перевантаження. Струми нульової послідовності створюють додаткову намагніченість сталі, що погіршує експлуатаційні характеристики трансформаторів і перегріває їхні магнітопроводи. Крім того, теплове розширення провідників, ізоляційних матеріалів або конструктивних деталей при високих температурах може призвести до постійних деформацій, які сприятимуть механічним або діелектричним збоям.

					MP 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						8
Зм.	Арк			Дата		

РОЗДІЛ 1. Теоретична частина і вхідні дані

1.1 Графіки зарядки електромобілей і їхній вплив на елементи електромережі.

Екологічні проблеми, залежність від викопних паливних ресурсів, зміна клімату та зростання вартості енергоносіїв є дуже складними питаннями, з якими стикається світ на сьогоднішній день. Значне загострення цих питань пов'язане з транспортним сектором та сектором генерації енергії, оскільки вони споживають значну частину викопних видів палива [17,18]. З цією метою докладаються зусилля щодо мінімізації залежності від традиційних енергоресурсів шляхом розвитку різних видів "зеленої" енергетики. Технологія електромобілів є одним з напрямів вирішення проблем екології та енергоефективності, що розвивається. Електромобілі є заміною традиційних транспортних засобів з двигуном внутрішнього згоряння і служать економічно розумним кроком, орієнтованим на електрифікацію транспортної галузі [20]. Електромобілі сприятимуть скороченню викидів парникових газів, таких як CO₂, SO₂ та NO_x, за рахунок зменшення споживання викопного палива, що є однією з основних причин глобального потепління [21].

Зарядка електромобілів може здійснюватися за допомогою домашньої плагін-системи або через громадську зарядну станцію, загальна схема якої зображена на рисунку 1. Розвиток технології електромобілів та інфраструктури зарядних станцій сприяє глобальному поширенню електромобілів. Однак, широкомасштабна інтеграція електромобілів може призвести до широкого спектру впливів на енергосистему. З точки зору енергосистеми, здається, що ці сучасні транспортні засоби є електричним навантаженням на систему в період зарядки. Часта і неконтрольована стратегія зарядки може викликати негативні наслідки, такі як збільшення втрат потужності, відхилення напруги, трансформаторів і перенасичення ліній [22,23,24,25,26]. Як наслідок, безпечна та надійна робота розподільчої мережі може опинитися під високим ризиком. Крім того, проблеми з якістю електроенергії можуть спостерігатися на стороні споживача через не планові операції зарядки [27,28,29,30]. Таким чином, добре

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						9
Зм.	Арк			Дата		

синхронізована координація зарядки між електромобілями та операторами мереж є необхідною.

Системний оператор завжди намагається підтримувати продуктивність мережі, в той час як клієнти електромобілів прагнуть повністю зарядити свої транспортні засоби за бажаний час. У цьому контексті дослідники розглядали різні цілі, такі як мінімізація втрат потужності, покращення профілю напруги, мінімізація вартості заряджання тощо, і ці цілі оптимізуються шляхом застосування різних методів оптимізації. У дослідженні [21] автори ставили за мету мінімізувати втрати потужності в розподільчій мережі шляхом оптимального управління запитами на зарядку від споживачів. У цій роботі розглядається типова схема руху без будь-яких переваг щодо зарядки. В іншій роботі [29] автори застосували евристичний підхід для зменшення втрат потужності в мережі в умовах мережевих обмежень. Використовуючи підхід заповнення долини, автори в [30] запропонували алгоритм планування зарядки для електромобілів з урахуванням різних обмежень. Suono та ін. [31] запропонували стратегію координації зарядки електромобілів з метою мінімізації втрат системи. У цій роботі були використані тарифні зони, а попит клієнтів управляється в бажані тарифні слоти. Автори розглядають фіксований пріоритет зарядки з боку клієнтів; гнучкість в перевагах не розглядається. Метод мінімізації вартості зарядки електромобілів запропоновано в роботі [32]. [32]. В якості обмежень оптимізації автори взяли параметри мережі та акумулятора. В роботі [33] запропонована стратегія дворівневої оптимізації на основі ціни для максимізації переваг агрегатора при реалізації динамічної моделі водіння. Хоча ця робота продемонструвала прийнятний прибуток агрегатора електромобілів, вона не змогла врахувати продуктивність мережі. Більш реалістична модель представлена в роботі [34], в якій автори оптимізували витрати енергії на зарядку електромобілів та роботу мережі. Вей Ву та ін. [35] перевірили фінансовий ефект від інтеграції електромобілів, розглядаючи різні стратегії зарядки. Однак, гнучкість споживачів до зарядки електромобілів вздовж цінового горизонту не розглядається.

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						10
Зм.	Арк			Дата		

1.2 Графіки зарядки електромобілів

Криві часу початку зарядки електромобілів були відтворені на основі статистичних даних [28], [29]. Як продемонстровано в [29], сезонна дисперсія в поведінці зарядки електромобілів відсутня (тобто відсутні конкретні сезонні моделі), і немає суттєвої відмінності періодів заряджання між робочими днями (з понеділка по п'ятницю) і між вихідними (субота та неділя). У будні перша зарядка, швидше за все, почнеться близько восьмої ранку (до роботи), або о шостій годині вечора (після роботи); якщо відбувається друга зарядка, то вона зазвичай має місце після шостої вечора [29]. У вихідні найчастіше перша зарядка починається о дев'ятій ранку та о шостій вечора, а друга може бути пізніше ввечері [29]. З огляду на сказане, для цього дослідження були створені дві моделі кривих зарядки електромобілів на весь рік: одна для будніх днів, а інша – для вихідних. Зарядка протягом святкових днів була змодельована так само, як для буднів або вихідних, в залежності від дня тижня, коли відбулося свято. Також зроблено припущення, що споживання електроенергії електромобілями у вихідні дні становить близько 65 % від їхнього споживання в робочий день.

1.3 Нечітка логіка: особливості та переваги інструменту

У цій роботі нечітка логіка була вибрана як інструмент аналізу завдяки її наступним перевагам:

- можливість оперувати вхідними даними, заданими нечітко: наприклад, що безупинно змінюються в часі, значення, що неможливо задати однозначно;
- можливість проведення якісних оцінок як вхідних даних, так і виведених результатів;
- можливість проведення швидкого моделювання складних динамічних систем і їхній порівняльний аналіз із заданим ступенем точності.

Завдяки цим перевагам та зважаючи на важкість створення точних числових моделей для прогнозування та аналізу режимів відмов, інструмент нечіткої логіки як найкраще підходить для аналізу граничних станів

					MP 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						12
Зм.	Арк			Дата		

(перевантаження, температурний перегрів) при роботі трансформатора. Модель, побудована на основі нечіткої логіки, дозволить аналізувати параметри і фактори, які впливають на нормальну роботу трансформатора, допоможе запобігти виникненню несправності його роботи. Використовуючи сигнал контролеру, встановленого після нечіткої логіки, автоматика зможе завчасно запобігти перевантаженню трансформаторів.

1.4 Оцінка профілю навантаження трансформатора

У даній роботі ми розглядаємо систему розподілу електроенергії, що характерна для електропостачання міських районів України. Можлива конфігурація такої системи показана на рисунку 2. Радіальна РЕМ оснащена трансформатором 20/0,4 кВ потужністю до 2500 кВА, що містить кілька житлових будинків і місцеве підприємство. До шин вторинної напруги підключена конденсаторна батарея з 12-ступінчастим регулятором і СНЕ. Ємність КБ вибрана такою, що здатна компенсувати 90 % встановленої реактивної потужності, а ємність СНЕ становить 50 % від номінальної потужності всіх наявних в електромережі сонячних генераторів.

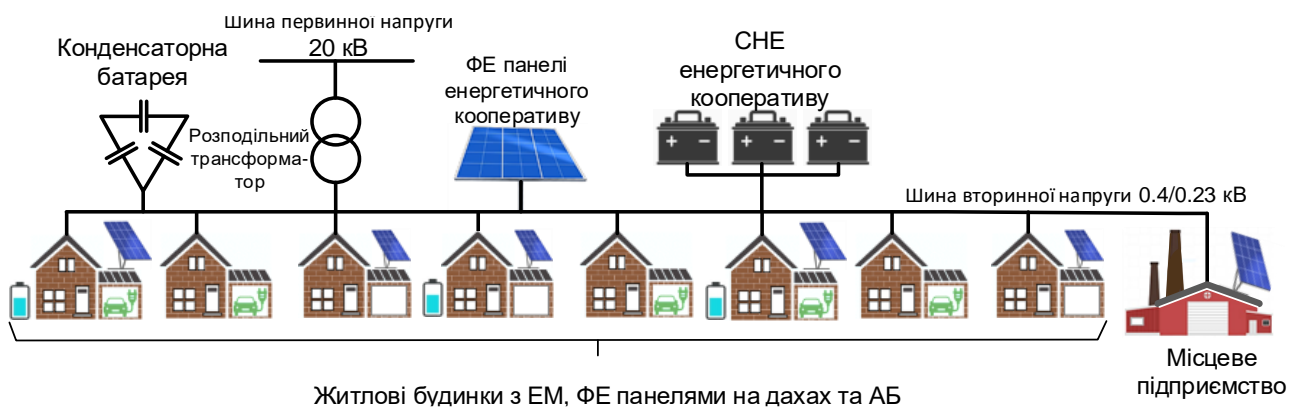


Рисунок 2. Однолінійна схема системи розподілу електроенергії

1.5 Параметри сонячних генераторів енергії

Дані про сонячну інсоляцію та дані температури навколишнього середовища були отримані з сайту PVGIS [7] для географічного положення міста Херсон (широта: 46.446 градусів, довгота: 32.834 градусів) на півдні

					MP 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						13
Зм.	Арк			Дата		

України, де умови для вироблення сонячної енергії одні з найбільш сприятливих.

Потужність сонячних панелей може бути оцінена відповідно до [27]:

$$P_{PV} = \eta_{PV} \cdot \eta_{PC} \cdot A_{PV} \cdot G_{PV} \cdot (1 + \gamma + (T_{PV} - T_{ref})) \quad (1.1)$$

де, P_{PV} – потужність, вироблена сонячними панелями в кВт;

η_{PV} – коефіцієнт корисної дії (ККД) перетворення потужності сонячної панелі;

η_{PC} – ККД перетворювача потужності у в.о.;

A_{PV} – площа фотоелектричного масиву в м²;

G_{PV} – інцидент сонячного опромінення на площині фотоелектричної решітки в кВт/м²;

γ – температурний коефіцієнт фотоелектричного модуля;

T_{PV} – температура фотоелектричного модуля в °С;

T_{ref} – еталонна температура в °С.

Температура сонячної панелі є одним з найважливіших факторів, які необхідно враховувати при моделюванні. Вона розраховується за допомогою довільної температурної моделі, як показано в [27]:

$$T_{PV} = T_{amb} + m_c \left(\frac{0.32}{8.91 + 2 \cdot W_s} \right) G_{PV}, \quad (1.2)$$

де T_{amb} – температура навколишнього середовища в °С;

m_c – коефіцієнт кріплення;

W_s – швидкість вітру в м/с.

Енергія, що генерується сонячними панелями, розраховується шляхом множення їхньої потужності на час роботи t :

$$E_{PV} = \sum_{t=1}^n P_{PV} \cdot t \quad (1.3)$$

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						14
Зм.	Арк			Дата		

1.6 Графіки зарядки електромобілів

Криві часу початку зарядки електромобілів були відтворені на основі статистичних даних [28], [29]. Як продемонстровано в [29], сезонна дисперсія в поведінці зарядки електромобілів відсутня (тобто відсутні конкретні сезонні моделі), і немає суттєвої відмінності періодів заряджання між робочими днями (з понеділка по п'ятницю) і між вихідними (субота та неділя). У будні перша зарядка, швидше за все, почнеться близько восьмої ранку (до роботи), або о шостій годині вечора (після роботи); якщо відбувається друга зарядка, то вона зазвичай має місце після шостої вечора [29]. У вихідні найчастіше перша зарядка починається о дев'ятій ранку та о шостій вечора, а друга може бути пізніше ввечері [29]. З огляду на сказане, для цього дослідження були створені дві моделі кривих зарядки електромобілів на весь рік: одна для будніх днів, а інша – для вихідних. Зарядка протягом святкових днів була змодельована так само, як для буднів або вихідних, в залежності від дня тижня, коли відбулося свято. Також зроблено припущення, що споживання електроенергії електромобілями у вихідні дні становить близько 65 % від їхнього споживання в робочий день.

1.7 Профілі навантаження системи електропостачання

У цій роботі були використані дані профілів навантаження 11 реальних житлових будинків і невеликого підприємства. Профіль навантаження має ранкові та вечірні максимуми. $\cos\phi$ кумулятивного навантаження становить 0,73.

Погодинне завантаження трансформатора в кожному випадку можна розрахувати як:

$$S_T^{tot} = \sqrt{(P_{Load} + P_{EVs} - P_{PV} \pm P_{BESS})^2 + (Q_{Load} - Q_{c.b.})^2}, \quad (1.4)$$

де P_{Load} , Q_{Load} – активна і реактивна потужності споживачів, відповідно;

P_{EVs} – потужність, що споживається ЕМ;

					MP 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						15
Зм.	Арк			Дата		

P_{PV} – потужність сонячної генерації;

P_{BESS} – потужність СНЕ;

$Q_{b.c.}$ – вихідна реактивна потужність КБ.

Хоча профілі на рисунку 3 можуть бути специфічними для України, використаний метод є загальним, і може бути використаний для будь-якої країни або регіону.

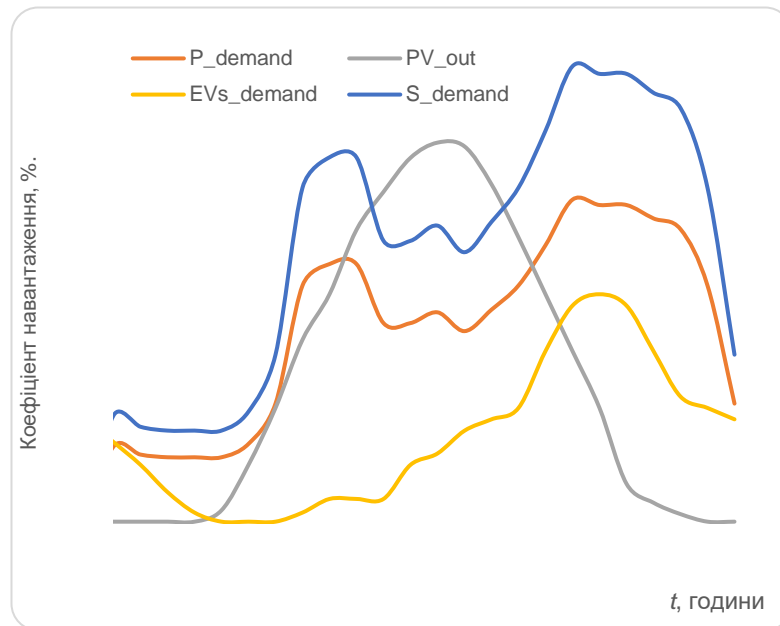


Рисунок 3. Профілі навантаження і генерації низьковольтної системи розподілу електроенергії

Рисунок 3 показує, що трансформатор є «слабким місцем» РЕМ. Для розглянутого прикладу системи розподілу електроенергії його потужність, ймовірно, буде перевищена вже при рівні «насичення» ЕМ в 50 %. Пропускна здатність низьковольтних мереж може бути обмежена за напругою лише при дуже великій кількості електромобілей (більше 90 % споживачів), та коли фідери системи розподілу електроенергії мають велику довжину [29]. Тому перевантаження повітряних ліній і підземних кабелів в цій роботі не враховуються. Пропускна здатність вторинної системи розподілу (див. рисунок 1) може бути обмежена, в першу чергу, трансформатором.

1.8 Вищі гармоніки і температура навколишнього середовища

Дані про температуру навколишнього середовища для розглянутого географічного положення були взяті з [7].

Температура частини обладнання (наприклад, обмотки трансформатора) має тенденцію до зростання, оскільки рівень гармонічних спотворень зростає. Через змінний характер гармонік важко передбачити їх склад і точний рівень кожної складової. З метою реалізації в моделі гармонічних спотворень напруги змінного характеру, були використані синтетичні дані, що є достатнім для демонстрації концепції. Гармоніки напруги промислової частоти (50 Гц) і гармоніки напруги 3-го, 5-го, 7-го і 11-го порядків моделювалися за допомогою випадкового розподілу в діапазонах, відповідно до таблиці 1. Допустимі відносні рівні напруги, регламентовані ДСТУ EN 50160:2014, наведені в останньому стовпчику таблиці 1.

Кумулятивний вплив вищих гармонік на роботу розподільного трансформатора можна побічно оцінити за допомогою сумарного коефіцієнта гармонічних спотворень (СКГС) [9]:

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}, \quad (1.5)$$

де V_h – гармонічний компонент напруги у середньоквадратичному вираженні (СКВ); V_1 – СКВ напруга основної частоти.

Таблиця 1. Значення гармонік напруги

Порядок гармоніки	Змодельовані діапазони	Рівні, відповідно до ДСТУ EN 50160:2014
1-й	90-110 %	90-110 %
3-й	0-7.5 %	5 %
5-й	0-9 %	6 %
7-й	0-7.5 %	5 %
11-й	0-5.25 %	3.5 %

РОЗДІЛ 2. Дослідно-практична частина

2.1 Розробка сценаріїв

Розроблені нами сценарії подані в таблиці 2.

Таблиця 2. Сценарії для дослідження

Варіант сценарію	Опис
Сценарій 1	РЕМ містить тільки житлові та виробничі навантаження і ЕМ. Рівень «насичення» електромобілями досягає 70 %, а в години пік може досягати 60 % від номінальної потужності трансформатора. Середній $\cos\phi$ системі розподілу електроенергії становить 0,73.
Сценарій 2	Крім житлових та виробничих навантажень і ЕМ, в системі РЕМ встановлені ФЕ панелі. Останні можуть бути даховими ФЕ системами, автономними ФЕ системами або сонячними панелями на рівні енергетичного кооперативу, встановленими на вторинній стороні трансформатора. Встановлена потужність ФЕ панелей становить 100 % від номінальної потужності трансформатора.
Сценарій 3	Аналогічно попередньому, але з контролем генерації сонячних панелей і реактивної потужності конденсаторної батареї та контрольованою СНЕ. Зберігання енергії може бути локальним (наприклад, накопичення енергії індивідуальними будинками) або на рівні енергетичного кооперативу, коли СНЕ встановлена на шині вторинної напруги трансформатора.

МР 3.6.141. 369.ПЗ

З	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Коп.ж П.С.			Пім	Днк	Актуаліза
Керівник		Дяговченко І.М.					
Консульт.		Маценко О. М.			СумДУ, ЕТ.м-71		
Н. контр.		Нікіфоров М.А					
Затверд.		Лебединський І.Л					

Моделювання і оцінка впливу
попиту на зарядку електромобілей
на режими роботи
трансформаторів

2.2 Опис схеми нечіткої логіки для моделювання

Створення діагностичної моделі для задач електроенергетики може бути складним завданням, оскільки його потрібно налаштувати на певну систему, і, зазвичай, для отримання якісних результатів необхідно провести кілька вимірювань і порівняти їх [26]. У даній роботі для аналізу граничних станів (перевантаження, перегрів) трансформатора використовується математичний інструмент нечіткої логіки. Такий вибір інструменту дослідження є обґрунтованим, враховуючи складність створення точних числових моделей прогнозування і аналізу режимів відмови. Ґрунтуючись на оцінці стану трансформатора, нечіткий логічний контролер буде керувати доступними заходами для пом'якшення зносу трансформатора. Обмеження генерації від сонячних панелей, використання КБ зі ступінчастим контролем і СНЕ розглядаються як доступні засоби досягнення поставленої мети.

. Використовуючи сигнали від нечіткого логічного контролера, автоматизація зможе запобігти перевантаженню трансформатора.

Блок-схема на рисунку 4 зображує алгоритм для сценаріїв, описаних в таблиці 2. Деякі блоки можуть бути залучені або не брати участь у процесі, залежно від сценарію.

Після задання вхідних даних повинні бути розраховані параметри РЕМ, такі як сукупна споживана потужність на боці вторинної напруги трансформатора і коефіцієнт потужності.

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		19

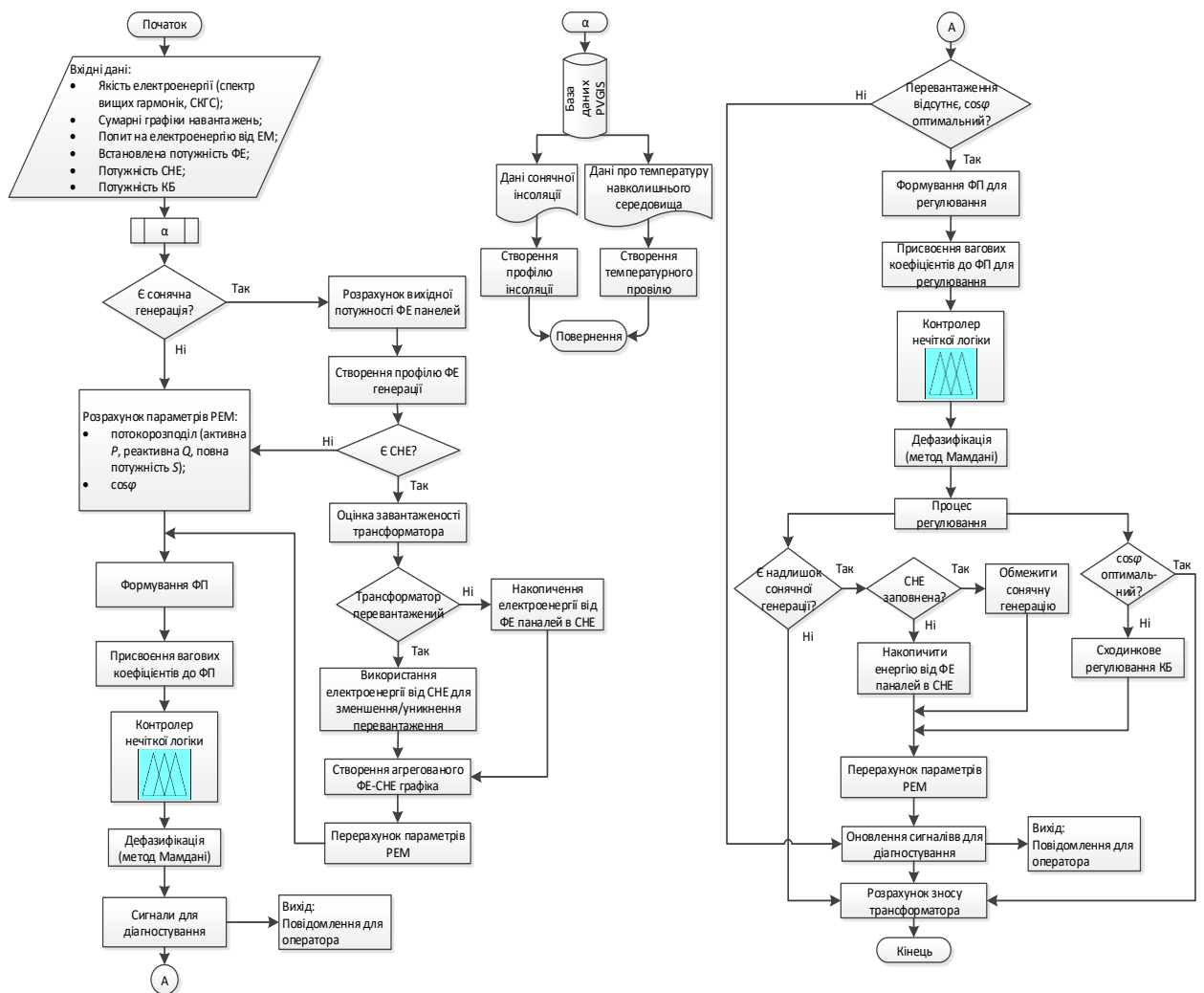


Рисунок 4. Блок-схема запропонованого нечітко-логічного алгоритму

На наступному кроці буде використовуватися система контролю і діагностики розподільного трансформатора, побудована на нечіткій логіці. Система складається з набору функцій приналежності (ФП), контролера, що працює на основі визначених користувачем правил, і процесу дефазифікації. Функції приналежності – це криві, які визначають, як кожна точка вхідного простору зіставлена зі значенням приналежності в діапазоні значень між 0 і 1 [29]. Діагностична частина алгоритму була реалізована в графічному середовищі програмування MATLAB-Simulink.

Нечіткий логічний ввід використовує ФП для визначення нечіткого значення ввідних даних [29]. Існують різні топології ФП, доступні для користувача в MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, наприклад, трикутні,

трапецієподібні, Гаусові, багаточленові, сигмоїдальні. Гармонічні спотворення напруги, температура навколишнього середовища та сумарне навантаження трансформатора є трьома вхідними параметрами запропонованої нечіткої логічної системи для діагностики, і кожен з цих вхідних параметрів має кілька ФП. Атрибути ФП для кожного вводу далі корегуються шляхом використання вагових коефіцієнтів (або коефіцієнтів впливу) для певних вхідних параметрів. В цій роботі була обрана нечітка система Мамдані з центроїдним методом дефазифікації [29].

Діагностична система використовує випадково згенеровані дані для гармонік напруги в межах заданого діапазону. Функції приналежності гармонік напруги (рисунки б а) визначають рівень СКГС від 0 % до 12 % як низький, середній або високий, використовуючи функцію Гауса, яка є гладкою і ненульовою у всіх точках. Чотири варіанти ФП температури навколишнього середовища лежать в діапазоні від -25°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Функції «нижче нормальної» і «дуже спекотно» є двосторонніми композитними Гаусовими ФП, а функції «нормальна» і «спекотно» є трикутними ФП.

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						21
Зм.	Арк			Дата		

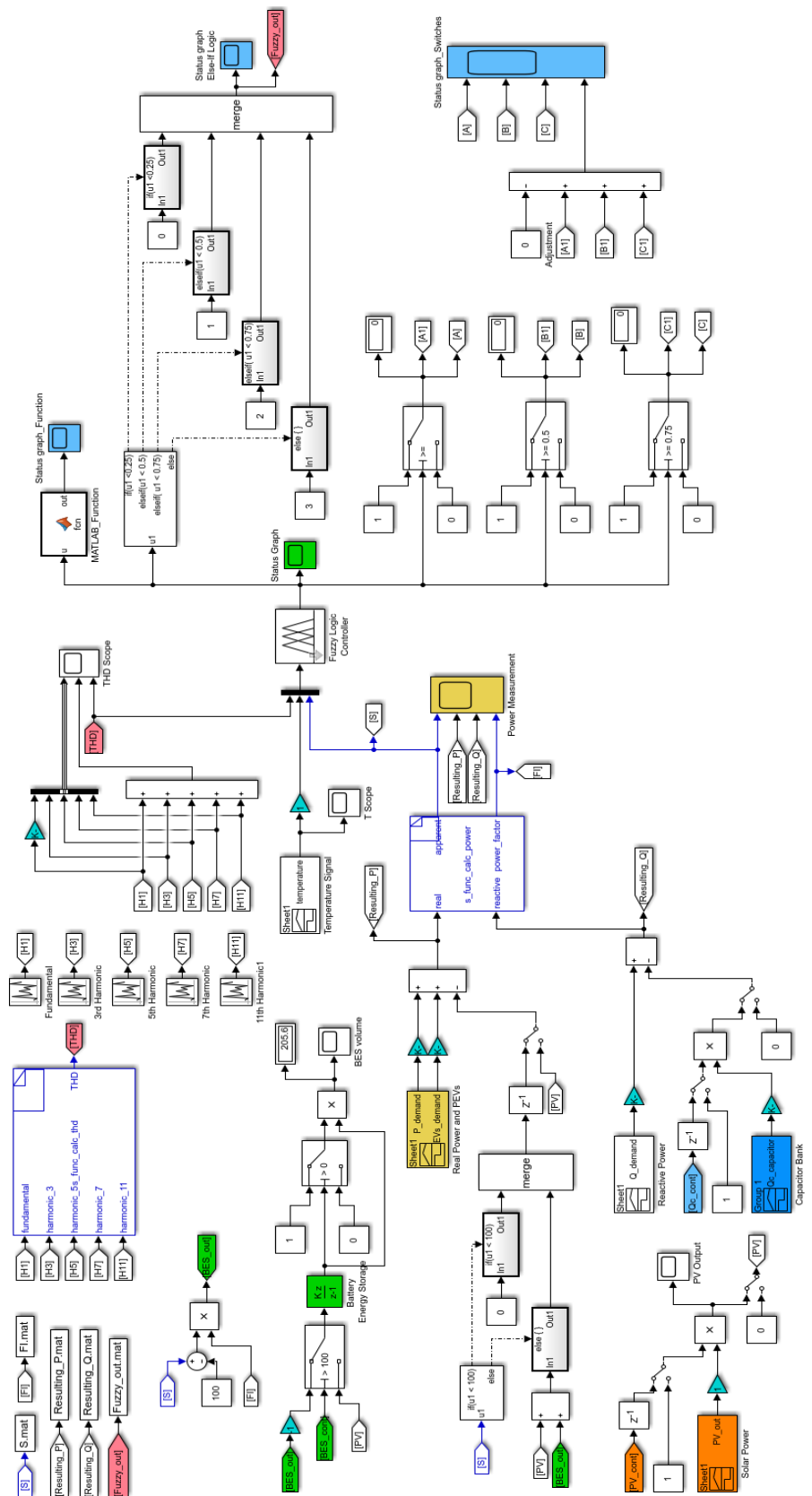
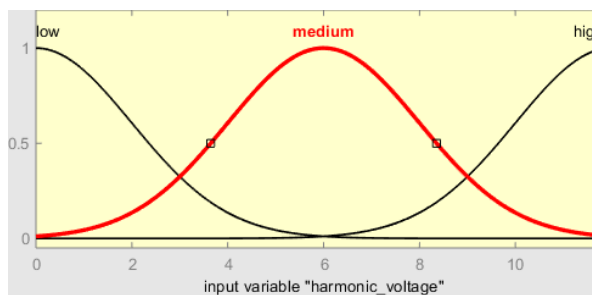
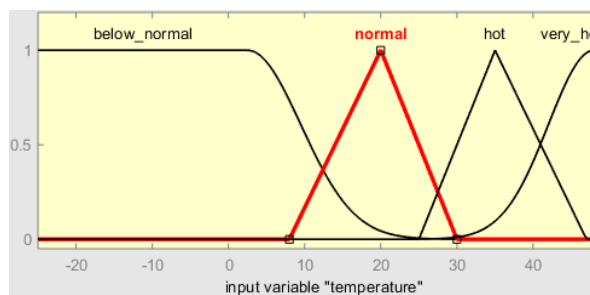


Рисунок 5. Діагностична частина моделі MATLAB-Simulink

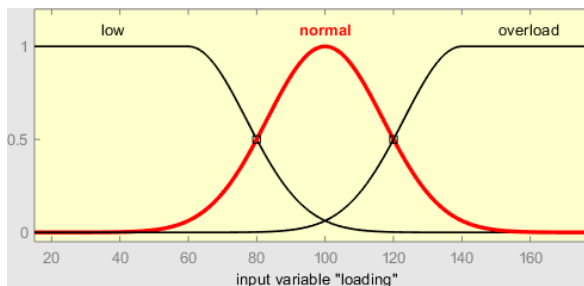
Зм.	Арк				Дата
-----	-----	--	--	--	------



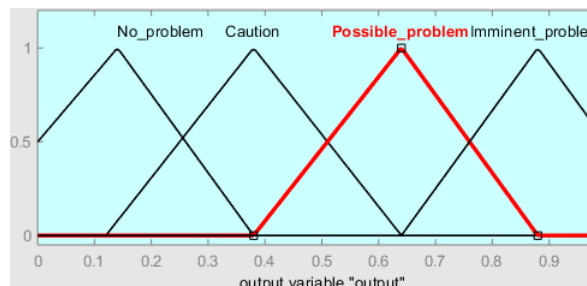
(а)



(б)

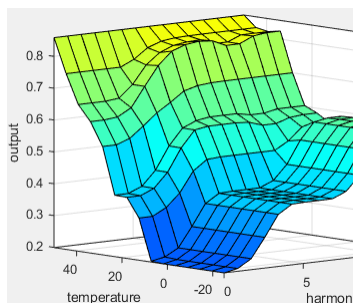


(в)

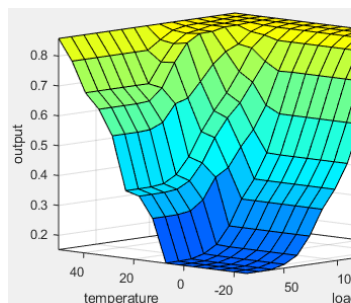


(г)

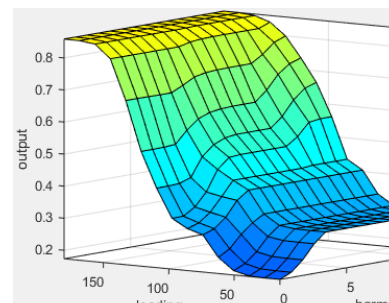
Рисунок 7. Графіки приналежних функцій: а) напруги ПГС; б) температура навколишнього середовища; в) середнього навантаження; г) вихід діагностики нечіткого логічного контролера



(а)



(б)



(в)

Рисунок 8. Правила нечіткої логіки, подані у тривимірній формі: (а) залежність вихідних параметрів від температури навколишнього середовища і СКГС; (б) залежність вихідних параметрів від температури навколишнього середовища та навантаження; (в) залежність вихідних параметрів від навантаження і СКГС

Зм.	Арк			Дата
-----	-----	--	--	------

Правила для розробленої системи встановлюються користувачем і перераховані в таблиці 3.

Таблиця 3. Правила приналежності в системі діагностики

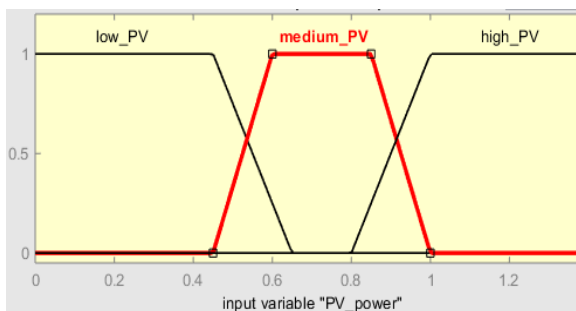
Якщо температура:	ТА гармоніки напруги:	ТА навантаження:	Тоді стан трансформатора:
Нижче норми	Низькі	Низьке	Немає проблем
Нижче норми	Низькі	Нормальне	Немає проблем
Нижче норми	Середні	Низьке	Немає проблем
Нижче норми	Середні	Нормальне	Обережно
Нижче норми	Високі	Низьке	Немає проблем
Нижче норми	Високі	Нормальне	Можлива проблема
Нормальна	Низькі	Низьке	Немає проблем
Нормальна	Низькі	Нормальне	Обережно
Нормальна	Середні	Низьке	Обережно
Нормальна	Середні	Нормальне	Можлива проблема
Нормальна	Високі	Низьке	Обережно
Нормальна	Високі	Нормальне	Можлива проблема
Висока	Низькі	Низьке	Обережно
Висока	Низькі	Нормальне	Можлива проблема
Висока	Середні	Низьке	Можлива проблема
Висока	Середні	Нормальне	Неминуча проблема
Висока	Високі	Низьке	Можлива проблема
Висока	Високі	Нормальне	Неминуча проблема
Дуже висока	–	–	Неминуча проблема
–	–	Перевантаження	Неминуча проблема

Коли нечітка система управління визначена, її можна експортувати в модель Simulink. Після того як вхідні параметри обробляються нечітким логічним контролером, нечіткий вивід декодується і розбивається на чотири діапазони, а потім ціле число від 0 до 3 виводиться на осцилографи і зберігається в робочу область. Такі цілі числа для різних періодів часу відображають стани трансформатора і можуть бути декодовані в застереження (тобто в повідомлення) для оператора РЕМ, які мають наступні чотири типи: «Немає проблем», «Обережно», «Можлива проблема», «Неминуча проблема». У разі «Неминучої проблеми» сигнал тривоги може бути відправлений в операційний центр системи розподілу електроенергії.

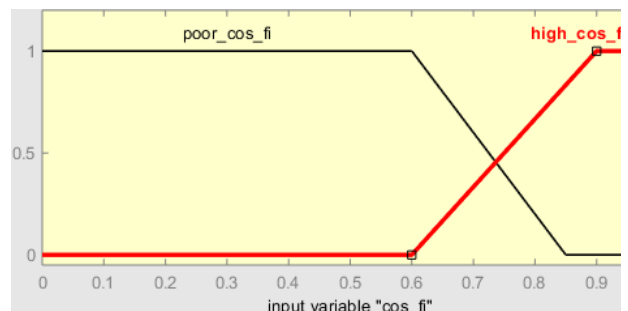
Діагностична частина моделі відображає поточний стан розподільного трансформатора і генерує попереджувальне повідомлення для оператора. Наступний крок алгоритму (рисунок 3) має за мету запобігти потенційному виходу трансформатора з ладу, що могло б призвести до перебоїв електропостачання і пошкодження мережевої інфраструктури. Для цього в модель Simulink був інтегрований додатковий модуль управління (регулювання) з нечіткою логікою (див. рисунок 8). Основна задача налаштування полягає в тому, щоб зберегти рівень завантаженості трансформатора в прийнятних межах (тобто уникнути перевантажень) і підтримувати $\cos\phi$ вище 0,9, коли це можливо. Це може бути реалізовано шляхом використання КБ, контролю режимів зарядки та розрядки СНЕ, а також шляхом тимчасового обмеження надлишкової генерації від сонячних панелей.

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						26
Зм.	Арк			Дата		

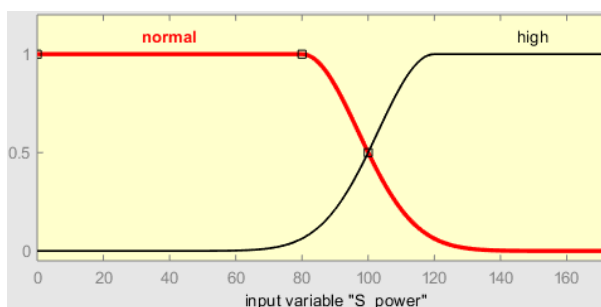
Функції приналежності «потужність сонячної генерації» (рисунок 11а) визначають генерацію ФЕ елементів в діапазоні від 0 % до 140 % номінальної потужності трансформатора як низьку, середню або високу за рівнем, використовуючи трапецієподібну ФП. Дві ФП «cos_φ» (рисунок 11б) є трапецієподібними і визначають перехід між низькими і високими значеннями cosφ. Все, що знаходиться в діапазоні від 0 до 0,85, визначається як низький cosφ, з перехідною частиною (сторона трапеції) від 0,6 до 0,85. Високі значення cosφ – від 0,6 до 1 з похилою областю від 0,6 до 0,9. Функціями загальної повної потужності є двосторонні композитні Гаусові ФП (рисунок 11в), що перетинаються в точці, яка відповідає 100 % номінальної потужності трансформатора. Вихідні ФП є трикутними функціями і визначають можливі реакції системи. Все, що знаходиться в межах від 0 до 0,5, вимагає «незначного» налаштування, від 0,25 до 0,75 – «активного» налаштування, а від 0,75 до 1 – «інтенсивного» налаштування (рисунок 11г).



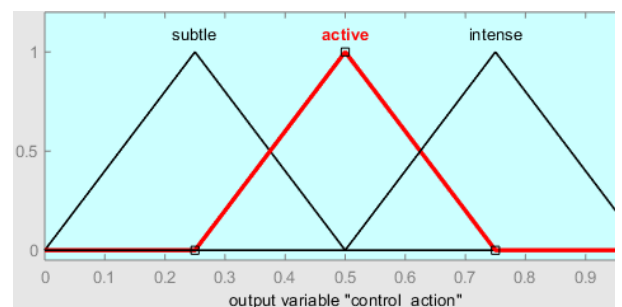
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 11. Графіки функцій приналежності: (а) генерація енергії за допомогою сонячних панелей; а) коефіцієнт потужності; в) загальне повне навантаження; (г) вихідні дані нечіткого логічного контролера для контролю і регулювання

										Арк
										28
Зм.	Арк								Дата	

2.3 Модель зносу трансформатора

Знос трансформатора в основному пов'язаний з погіршенням ізоляції обмоток, що є функцією від температури, зокрема температури найбільш нагрітої точки обмотки [19]. Ступінь деградації ізоляції обмоток можна оцінити на основі теплових моделей реального трансформатора, наведених у [19], [45], [46]. Ці моделі використовують коефіцієнт зносу, який здебільшого залежить від температури найбільш нагрітої точки обмотки (Θ_{HS}). Температура найбільш нагрітої точки обмотки в кожен момент часу t визначається як сума трьох компонент [19]:

$$\Theta_{HS,t} = \Theta_{A,t} + \Delta\theta_{O,t} + \Delta\theta_{HSO,t}, \quad (2.1)$$

де Θ_A – температура навколишнього середовища, °С;

$\Delta\theta_O$ – перевищення найвищої температури масла трансформатора (тобто температури масла у верхніх шарах) над температурою навколишнього середовища, °С;

$\Delta\theta_{HSO}$ – перевищення температури найбільш нагрітої точки обмотки над температурою охолоджувального середовища, °С.

Передбачається, що підвищення температури $\Delta\theta_{O,t}$ і $\Delta\theta_{HSO,t}$ не залежать від температури охолоджуючого середовища в діапазоні її коливань від +40 до –20 °С [45], [46]. Динаміка зміни доданків, що характеризують підвищення температури (тобто $\Delta\theta_O$ і $\Delta\theta_{HSO}$) залежить від перепадів температур в перехідних теплових процесах і змін навантаження). Більш детально методика їх розрахунку представлена нижче.

Зміни температури масла і обмотки можна оцінити за допомогою двоступеневого прямокутного графіку навантаження трансформатора, як це показано на рисунку 13, згідно з методологією [45], [46].

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		30

У формулі (2.4) τ_w – теплова стала часу обмотки в годинах.

Температуру найбільш гарячої точки обмотки в перехідному тепловому режимі зниження температури з тривалістю зниження $4\tau_w \leq (t_3 - t_2) < 4\tau$ розраховують за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \Theta_{HS,t} &= \Theta_A + \Delta\theta_{O,t} + \Delta\theta_{HSO,K_1}, \\ \text{де} \\ \Delta\theta_{O,t} &= \Delta\theta_{O,K_1} + (\Delta\theta_{O,h} - \Delta\theta_{O,K_1})e^{-\frac{t}{\tau}}, \\ \Delta\theta_{HSO,K_1} &= \Delta\theta_{HSO,rat} \cdot K_1^y \end{aligned} \right\}, 4\tau_w \leq (t_3 - t_2) < 4\tau \quad (2.5)$$

Температуру найбільш гарячої точки обмотки в перехідному тепловому режимі зниження температури з тривалістю зниження $(t_3 - t_2) < 4\tau_w$, визначають як:

$$\left. \begin{aligned} \Theta_{HS,t} &= \Theta_A + \Delta\theta_{O,t} + \Delta\theta_{HSO,t}, \\ \text{де} \\ \Delta\theta_{O,t} &\text{ – за (A.11),} \\ \Delta\theta_{HSO,t} &= \Delta\theta_{HSO,K_1} + (\Delta\theta_{HSO,h} - \Delta\theta_{HSO,K_1})e^{-\frac{t}{\tau_w}} \end{aligned} \right\}, (t_3 - t_2) < 4\tau_w \quad (2.6)$$

Відносне «старіння» трансформатора оцінюється за допомогою Θ_{HS} шляхом обчислення коефіцієнта прискорення зносу [19]:

$$F_{AA} = e^{\left(\frac{15000}{110+273} - \frac{15000}{\Theta_{HS}+273} \right)} \quad (2.7)$$

Сукупний відносний знос за загальний період часу для даного температурного циклу можна оцінити за допомогою еквівалентного коефіцієнта

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						34
Зм.	Арк			Дата		

знос, що дорівнює сумі відносного зносу для всіх часових інтервалів Δt_i ($i = 1, 2 \dots M$), розділеного на суму часових інтервалів:

$$F_{EqA} = \frac{\sum_{i=1}^M F_{AA,i} \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^M \Delta t_i}, \quad (2.8)$$

де $F_{AA,i}$ – коефіцієнт прискорення зносу для температури, яка діє протягом часового проміжку Δt_i ;

M – загальна кількість часових інтервалів.

Річний знос може бути визначений на основі F_{EqA} шляхом урахування загальних часових інтервалів, кількість яких має дорівнювати кількості годин у році.

$$LoL_y \% = \frac{F_{EqA} \cdot T}{L_N} \cdot 100, \quad (2.9)$$

де L_N – нормальний термін служби ізоляції, який дорівнює 180000 год, згідно до [19],

T – період часу ($T = 8760$ годин на рік).

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						35
Зм.	Арк			Дата		

2.4 Моделювання сценаріїв розвитку РЕМ

В даному розділі ми проводимо аналіз розроблених сценаріїв розвитку РЕМ, що мають в собі різний ступінь відсотку кількості електромобілей та варіанти використання сонячних панелей та конденсаторних батарей для покращення якості електроенергії та стану електромережі.

Використовуючи формулу 6.1 можемо розрахувати коефіцієнти для графіків навантаження електромобілей на мережу при заданих рівнях проникнення

$$k_{evi} = \frac{w_i}{P_{буд} \cdot 100\%} \quad (2.10)$$

Тоді для 30% проникнення

$$k_{evi30\%} = \frac{w_i}{P_{буд} \cdot 100\%} = \frac{30\%}{5 \cdot 100\%} = \mathbf{0.06} \quad (2.11)$$

Тоді для 50% проникнення

$$k_{evi50\%} = \frac{w_i}{P_{буд} \cdot 100\%} = \frac{50\%}{5 \cdot 100\%} = \mathbf{0.1} \quad (2.12)$$

Тоді для 70% проникнення

$$k_{evi70\%} = \frac{w_i}{P_{буд} \cdot 100\%} = \frac{70\%}{5 \cdot 100\%} = \mathbf{0.14} \quad (2.13)$$

2.4.1 Моделювання першого сценарію розвитку РЕМ

В даному сценарії РЕМ містить тільки житлові та виробничі навантаження і ЕМ без використання конденсаторних батарей та фотоелементів. Рівень насичення електромобілями досягає 30%, 50%, 70 %

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		36

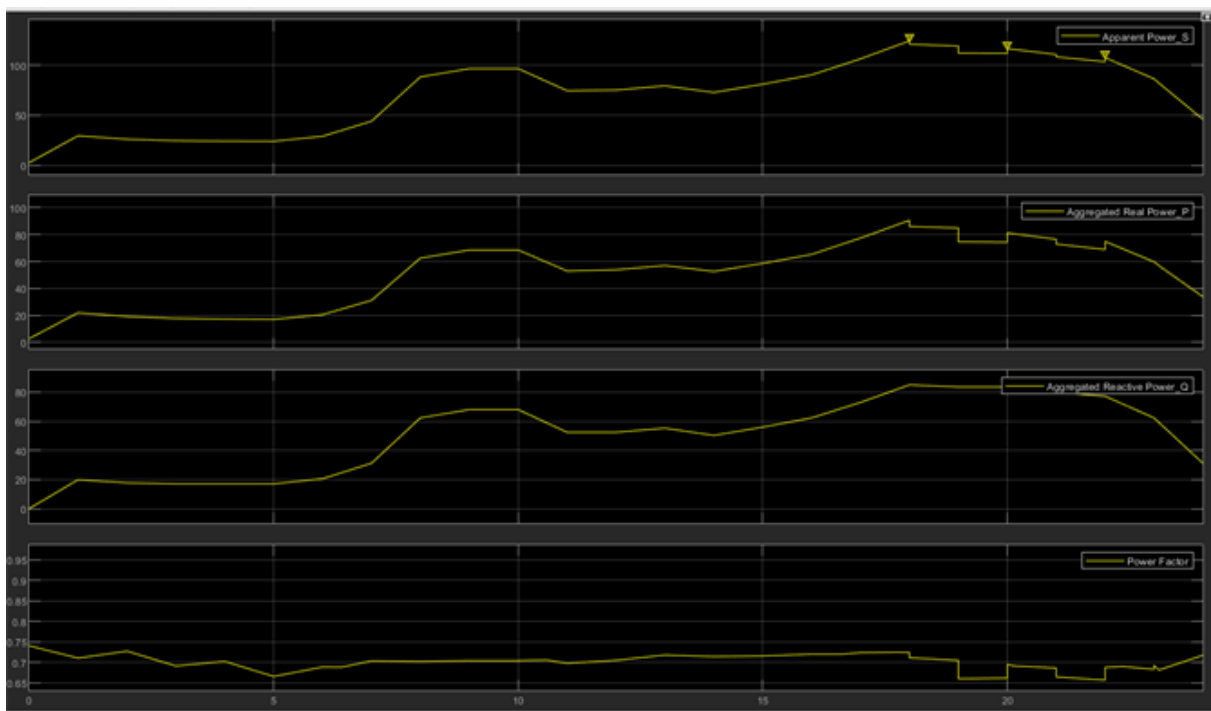


Рисунок 14.- Вхідні дані системи при 30% проникнення електромобілей

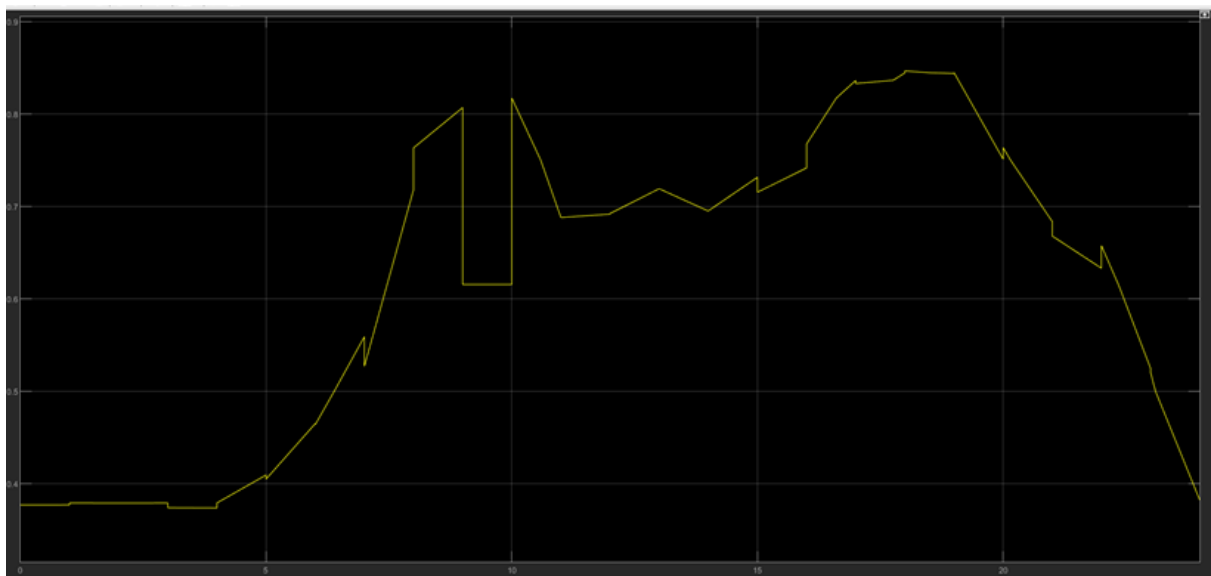


Рисунок 15.- Графік стану системи після розрахунку нечіткою логікою при 30% проникнення електромобілей для першого сценарію

Зм.	Арк			Дата

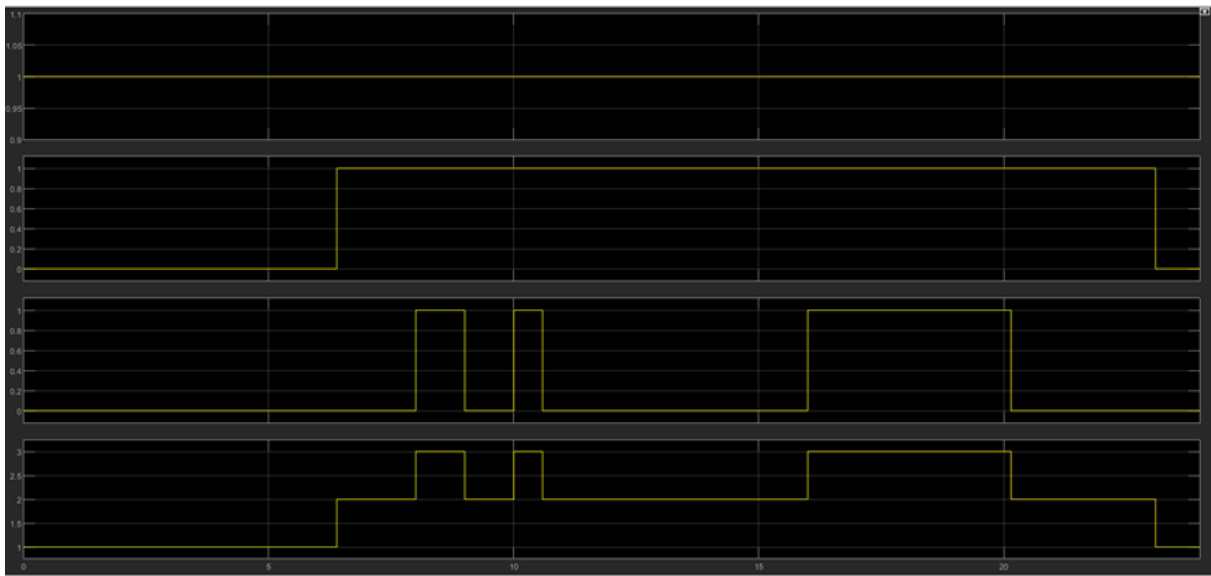


Рисунок 16.- Графік станів попередження системи при 30% проникнення електромобілей для першого сценарію

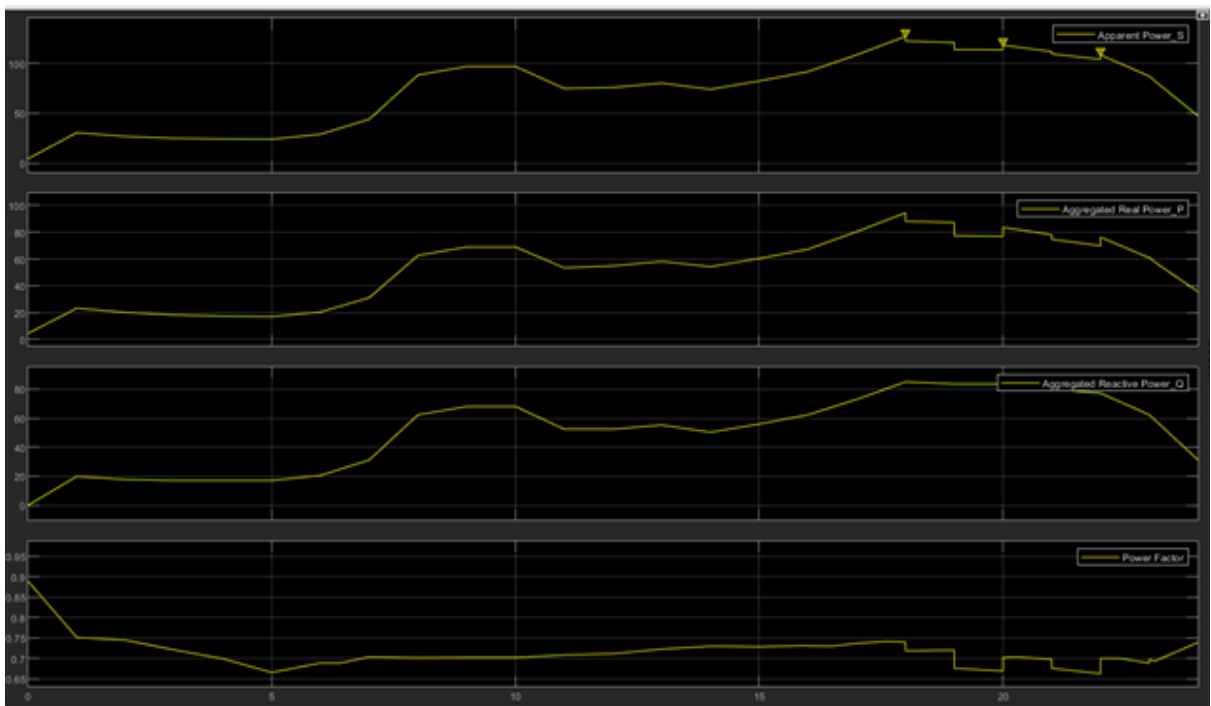


Рисунок 17.- Вхідні дані системи при 50% проникнення електромобілей для першого сценарію

Зм.	Арк			Дата

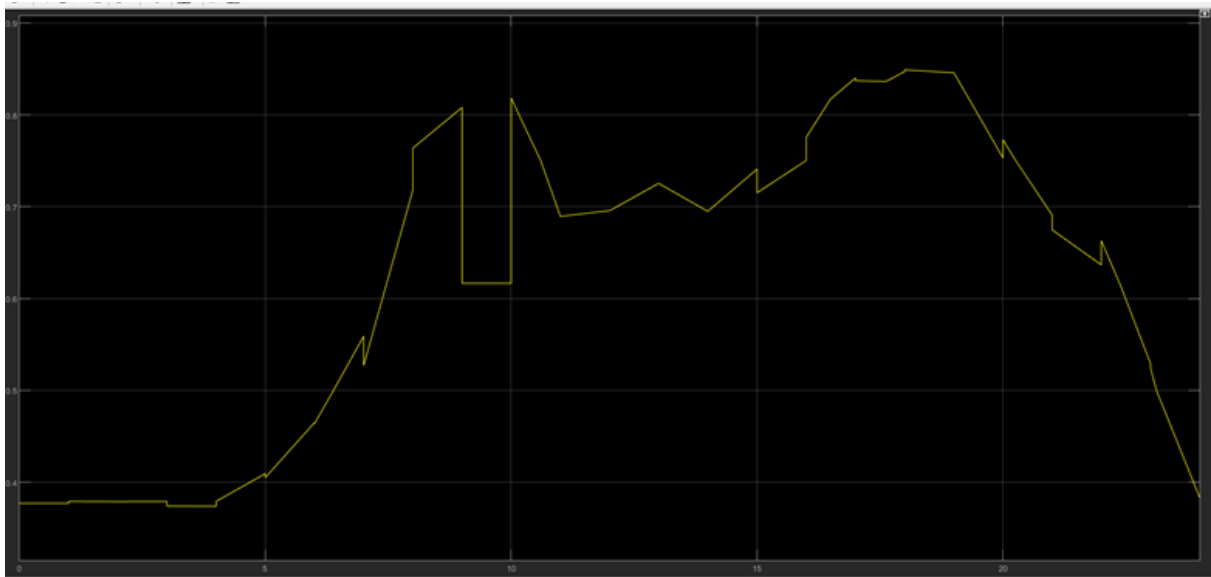


Рисунок 18.- Графік стану системи після розрахунку нечіткою логікою при 50% проникнення електромобілей для першого сценарію

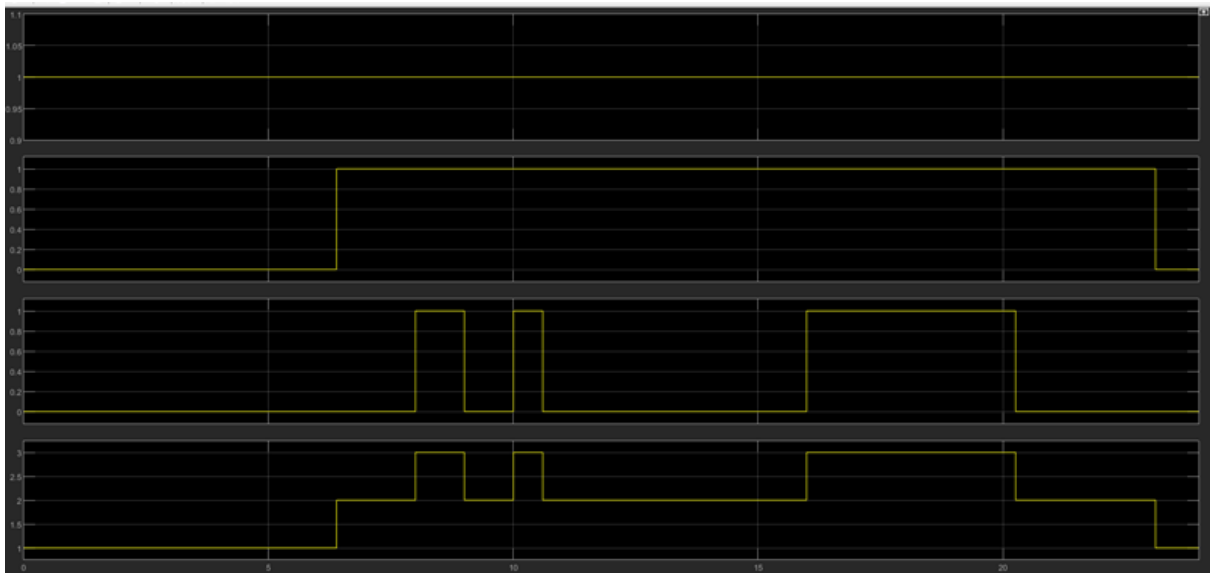


Рисунок 19.- Графік станів попередження системи при 50% проникнення електромобілей для першого сценарію

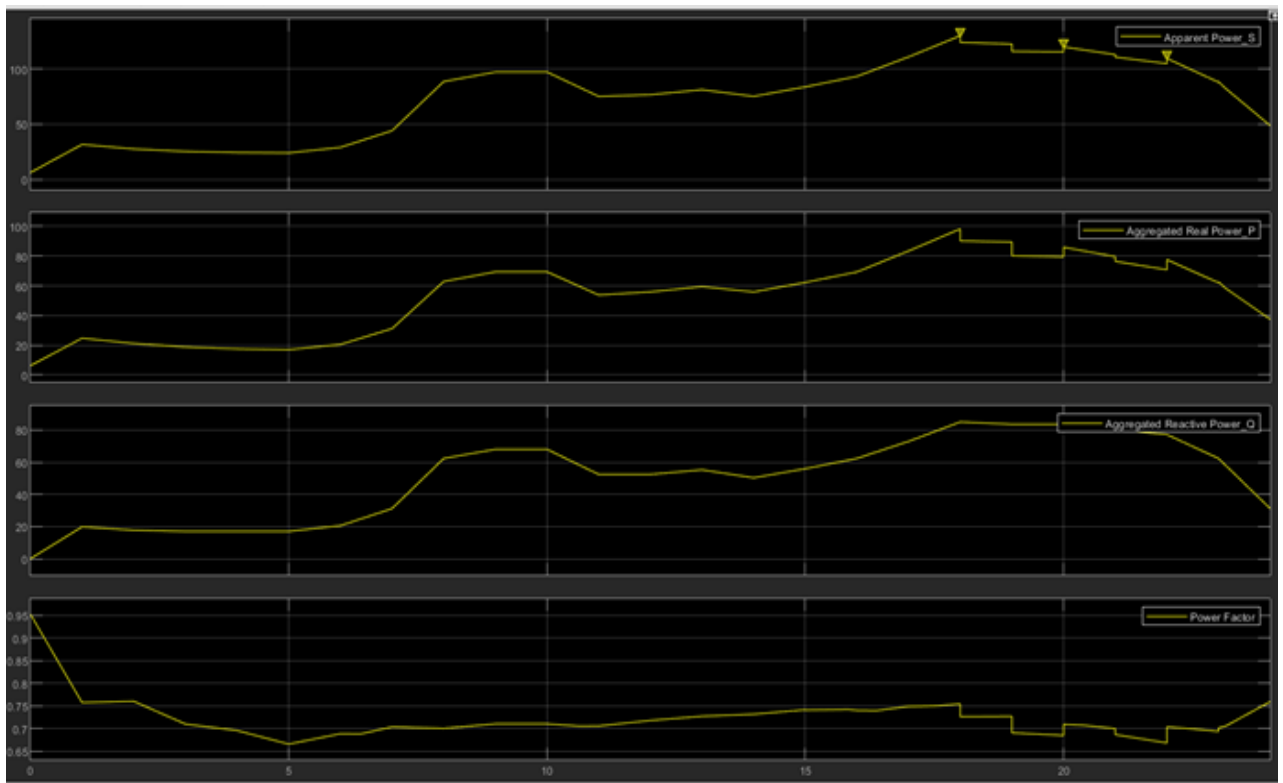


Рисунок 20.- Вхідні дані системи при 70% проникнення електромобілей для першого сценарію

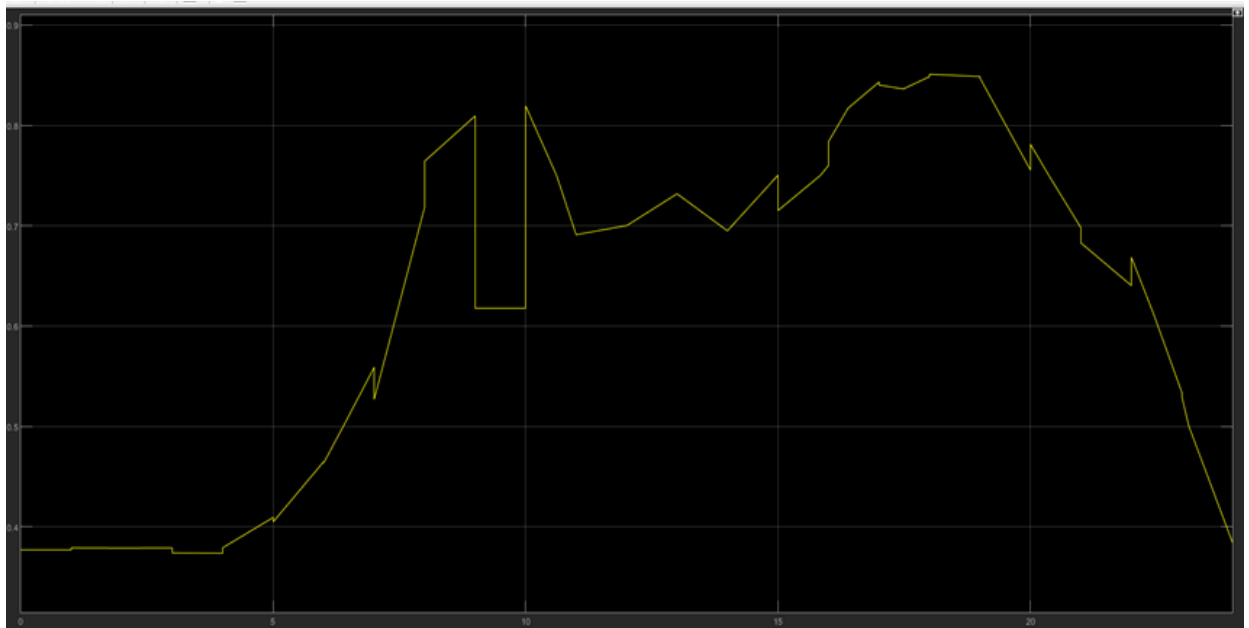


Рисунок 21.- Графік стану системи після розрахунку нечіткою логікою при 70% проникнення електромобілей для першого сценарію

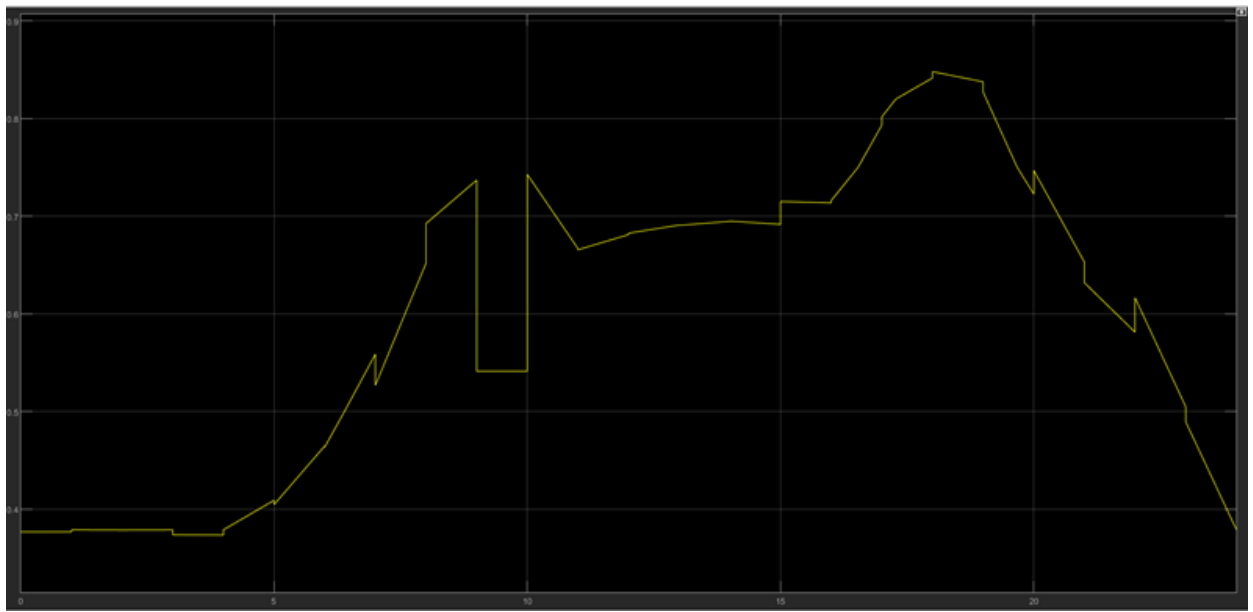


Рисунок 27.- Графік стану системи після розрахунку нечіткою логікою при 50% проникнення електромобілей для другого сценарію

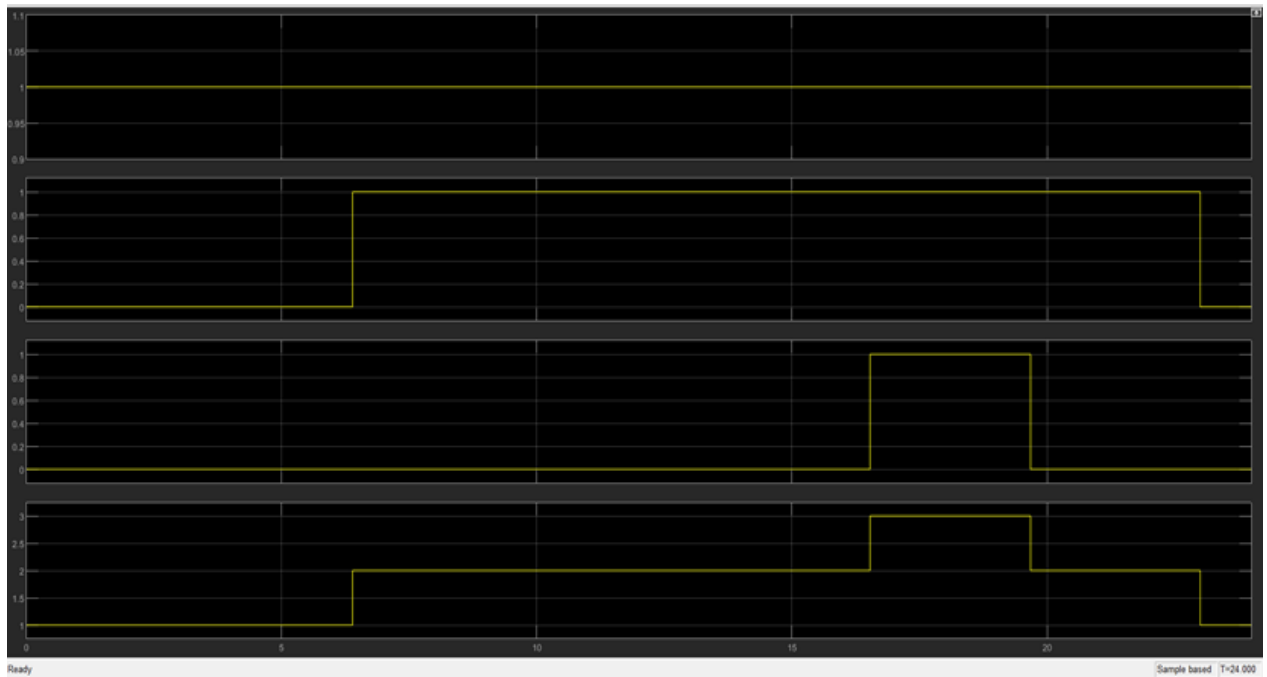


Рисунок 28.- Графік станів попередження системи при 50% проникнення електромобілей для другого сценарію

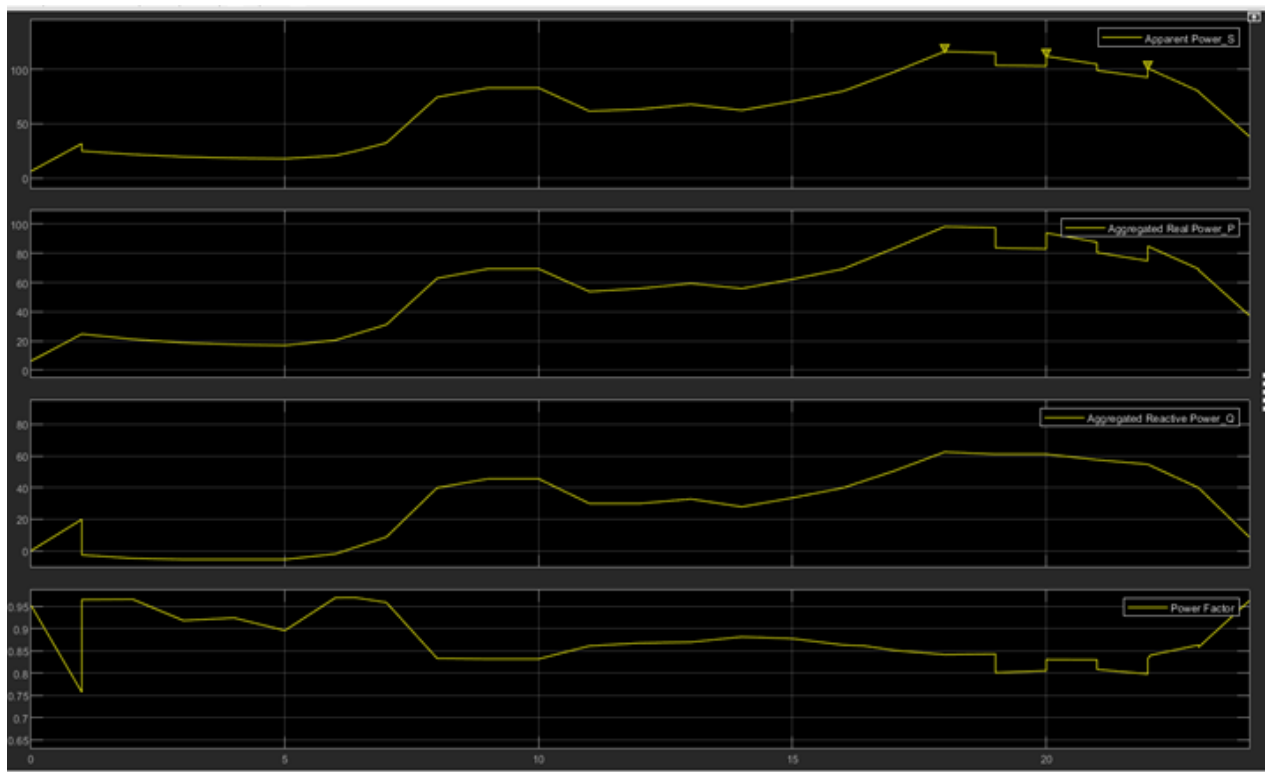


Рисунок 29.- Вхідні дані системи при 70% проникнення електромобілей для другого сценарію

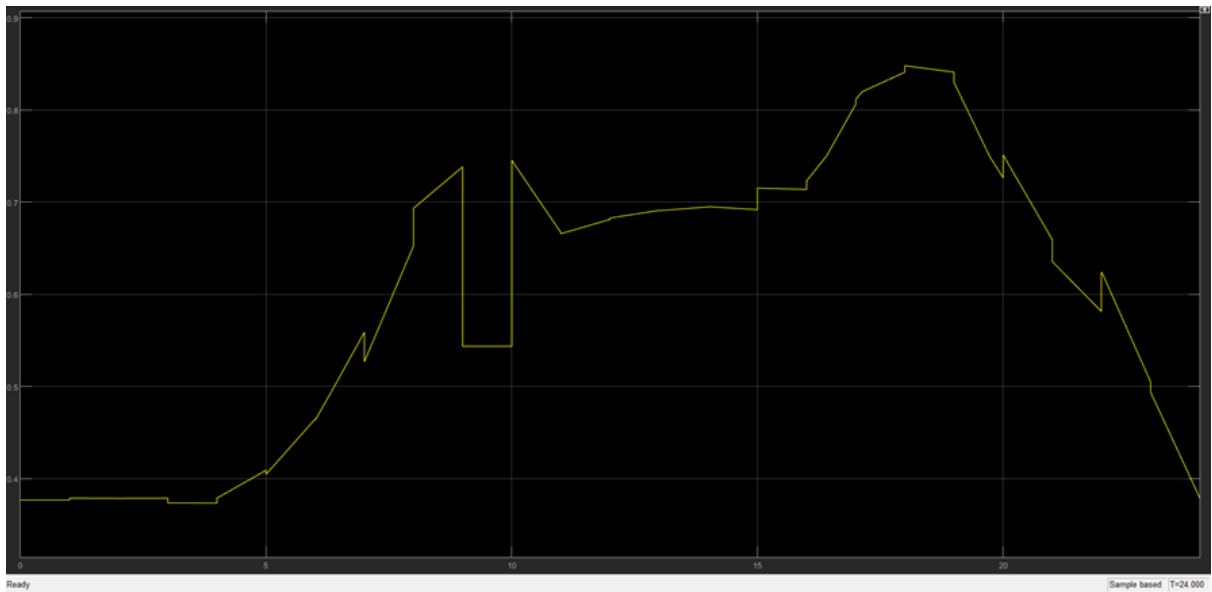


Рисунок 30.- Графік стану системи після розрахунку нечіткою логікою при 70% проникнення електромобілей для другого сценарію

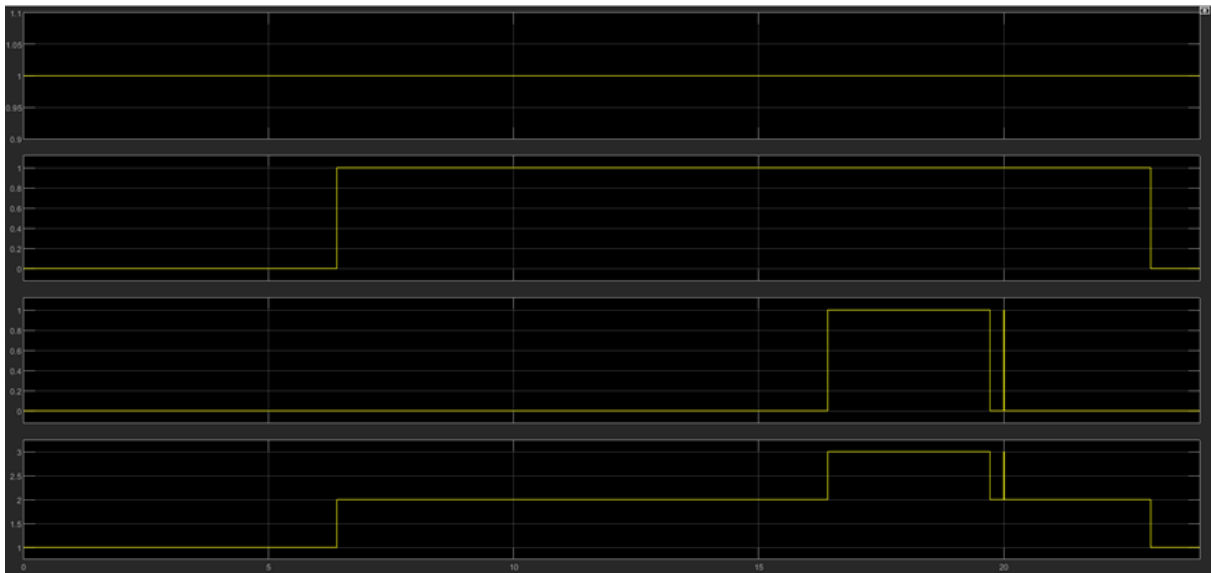


Рисунок 31.- Графік станів попередження системи при 70% проникнення електромобілей для другого сценарію

Як ми бачимо з графіків 23-31 , при 70% «проникнення» електромобілей не суттєво зростає час коли система знаходиться в стані «невідкладна проблема». При використанні ступеню «проникнення» у 50% та 30% графіки стану системи однакові та мало відрізняються від при 70%.

В даному сценарії, коли в системі РЕМ встановлені ФЕ панелі, при 70% «проникнення» коефіцієнт навантаження вище ніж в інших сценаріях. При 50% трохи вище за 30% , але не суттєво.

2.4.3 Моделювання третього сценарію розвитку РЕМ

Сценарій аналогічний попередньому, але з контролем генерації сонячних панелей і реактивної потужності конденсаторної батареї.

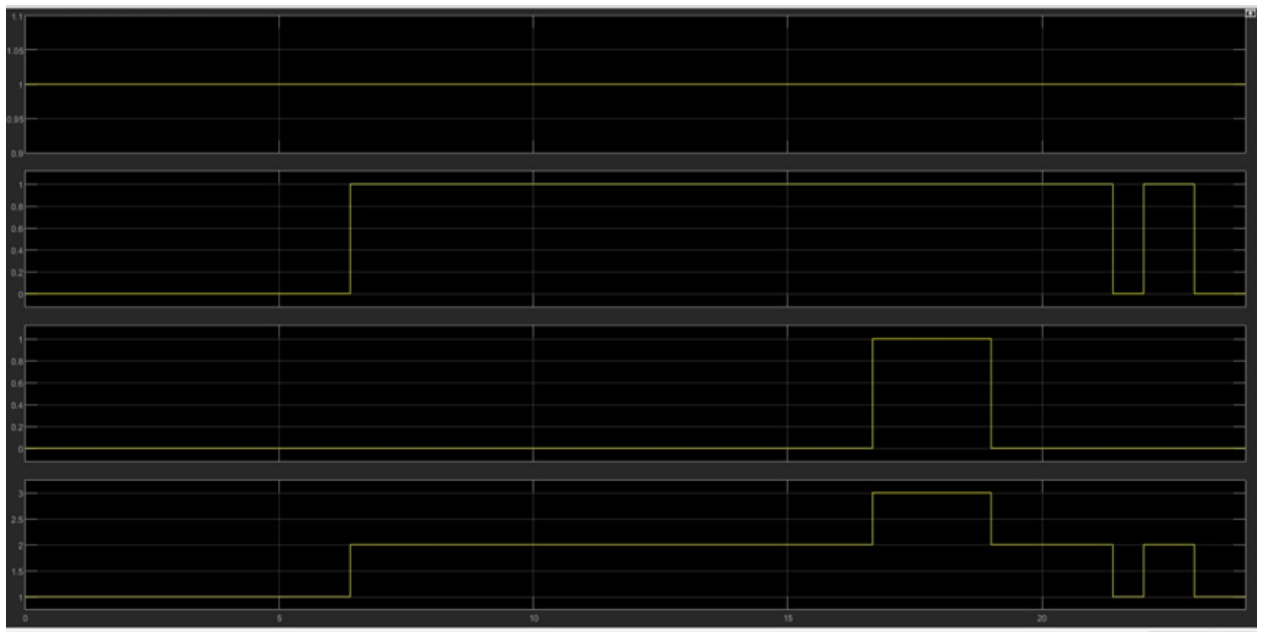


Рисунок 34.- Графік станів попередження системи при 30% проникнення електромобілей для третього сценарію

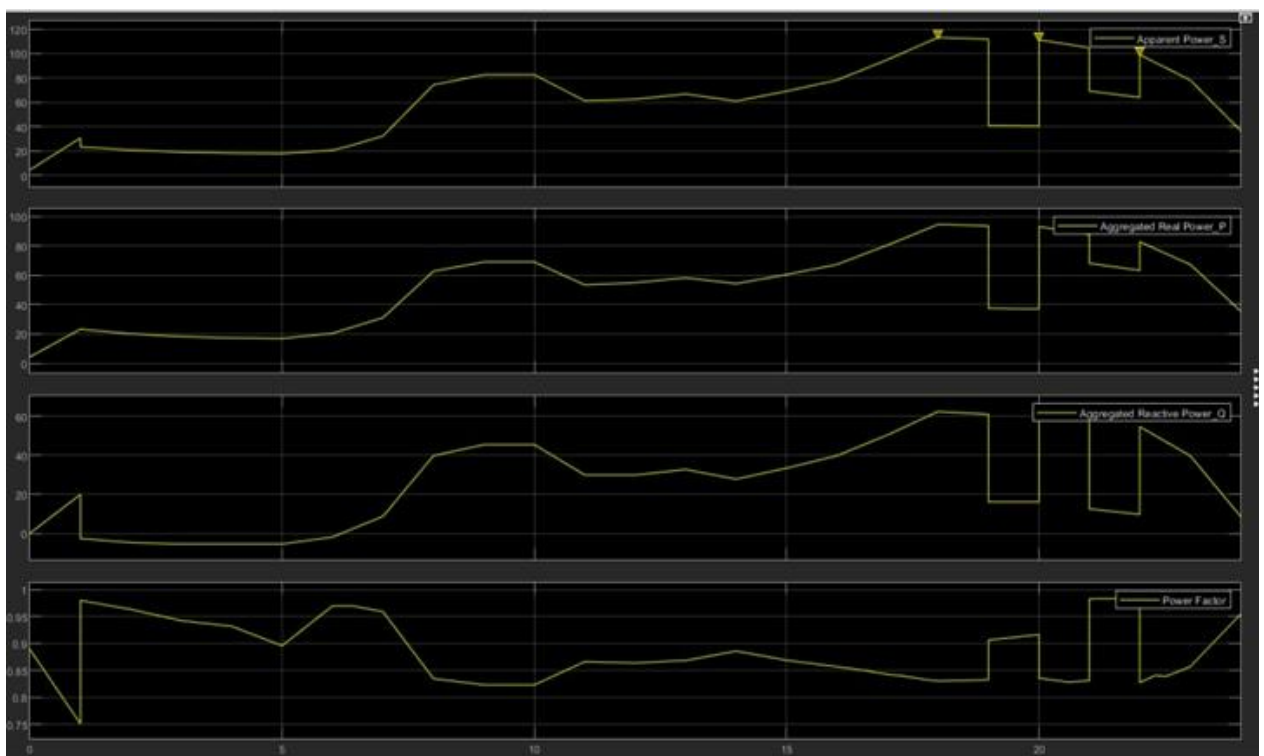


Рисунок 35.- Вхідні дані системи при 50% проникнення електромобілей для третього сценарію

Зм.	Арк			Дата

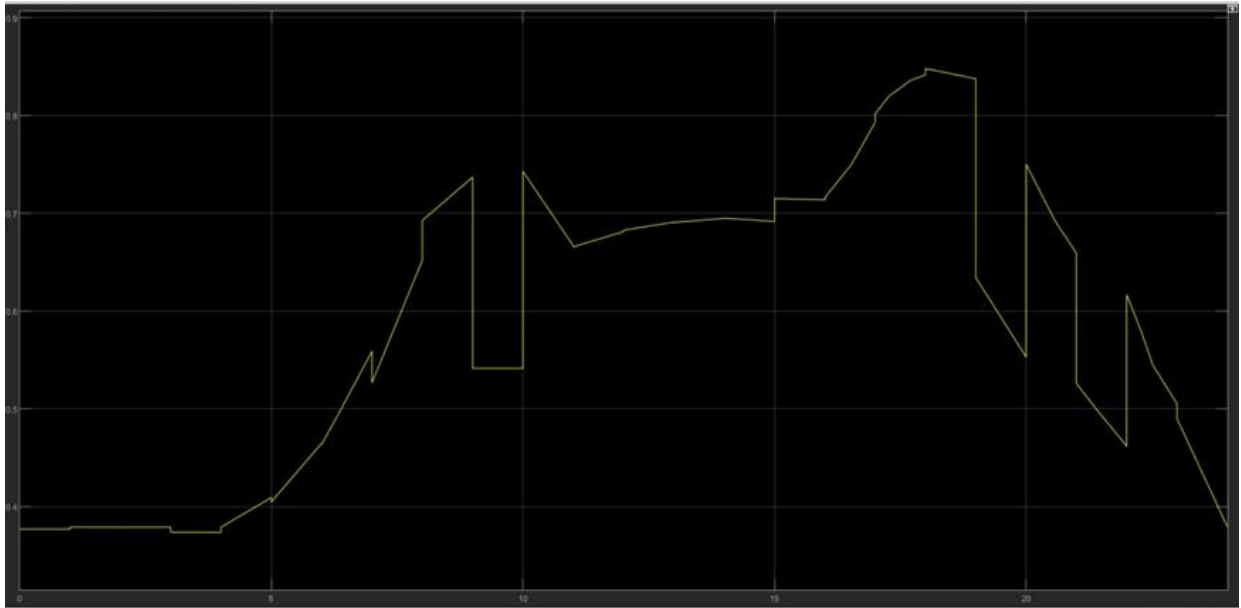


Рисунок 36.- Графік стану системи після розрахунку нечіткою логікою при 50% проникнення електромобілей для третього сценарію

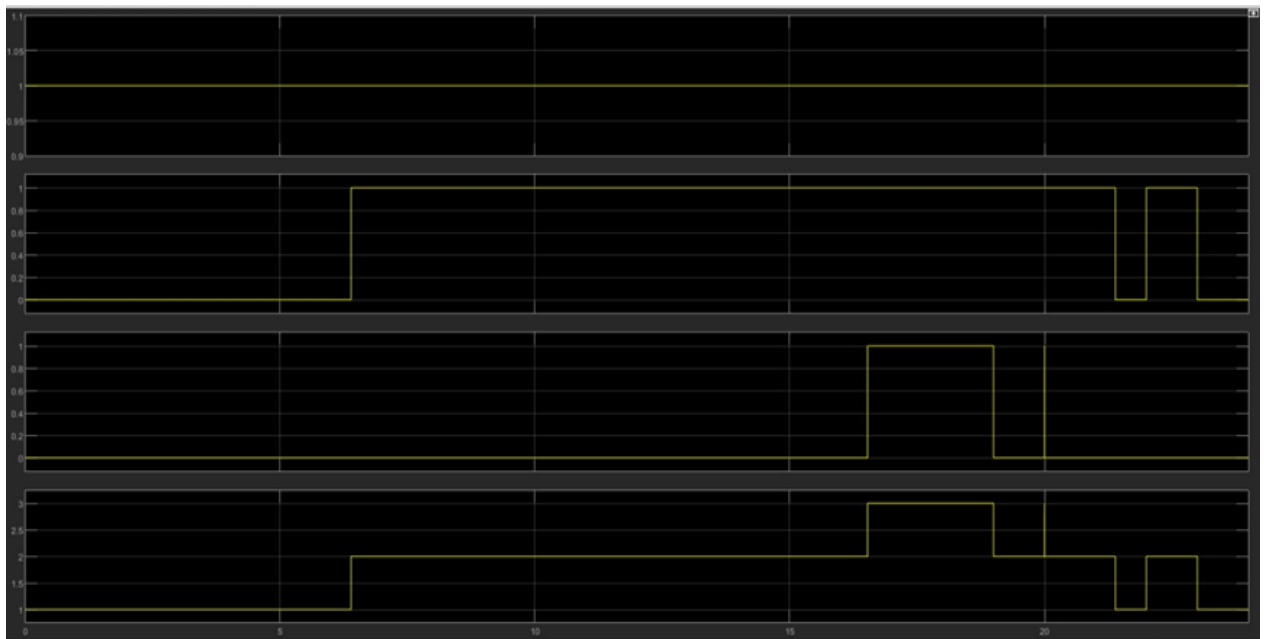


Рисунок 37.- Графік станів попередження системи при 50% проникнення електромобілей для третього сценарію

Зм.	Арк			Дата

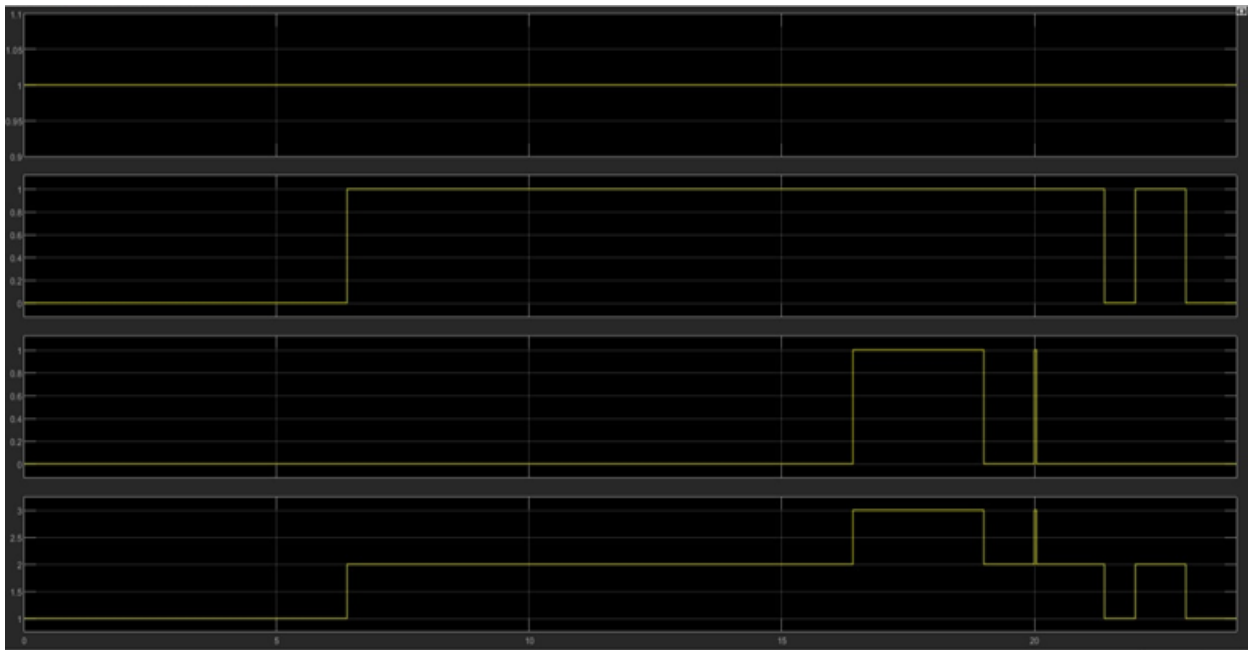


Рисунок 40.- Графік станів попередження системи при 70% проникнення електромобілей для третього сценарію

Як ми бачимо з графіків 32-40, при 30% «проникнення» електромобілей не суттєво зменшується час коли система знаходиться в стані «невідкладна проблема». При використанні ступеню «проникнення» у 50% та 70% графіки стану системи однакові та мало відрізняються від варіанту з 30% ступенем «проникнення».

В даному сценарії, в системі РЕМ з контролем генерації сонячних панелей і реактивної потужності конденсаторної батареї, при 30% «проникнення» коефіцієнт навантаження злегка менше ніж в інших сценаріях. При 50% та 70% графіки коефіцієнту потужності майже на однаковому рівні.

2.5 Визначення найбільш оптимального варіанту

Як бачимо з поданих вище графіків, при використанні сонячних панелей зменшився час системи в стані «невідкладні проблеми». Крім того, при сценарії, коли розглядається система РЕМ з контролем генерації сонячних панелей і реактивної потужності конденсаторної батареї також значно знизився час системи в стані «можливі проблеми».

Додатково можна зазначити, що щоразу при додаванні фотоелементів та конденсаторних батарей коефіцієнт потужності щоразу зростає та стає більш стабільним.

Виходячи з отриманих даних, можемо сказати, що варіант сценарію розвитку РЕМ з контролем генерації сонячних панелей і реактивної потужності конденсаторної батареї є найбільш надає можливість отримання більш якісної електроенергії споживачами та полегшує роботу оперативного персоналу що слідує за поточним станом енергосистеми.

2.6 Розробка заходів мотивації власників електромобілей для планової зарядки електромобілей

В теперішній час з повсякчасним використанням гаджетів для більш зручного доступу до інформації про можливість найбільш якісної, зручної та економічно вигідної зарядки електромобілей запропоновано як варіант використання мобільного додатку з інформацією про:

- Місце найближчих точок зарядки. Для заряджання та розряджання електромобілів потрібен зв'язок між зарядними станціями та електромобілями, щоб вирішити, чи будуть електромобілі заряджатися, розряджатися чи чекати на зарядній станції. Також передбачається, що електромобілі можуть зберігати інформацію про залишкову енергію свого акумулятора та звички водія заряджати. Крім того, зарядна ємність і відстань кожної зарядної станції повинні транслюватися із зарядних станцій.

- Кращий час зарядки . У [40] пропонується автономна система керування енергією в режимі реального часу для мікромережі на робочому місці з інтеграцією EV та ціноутворенням за часом використання (TOU). Методологія випадкового лісу була використана для прогнозування моделі подорожі EV. Електромобілі та система управління енергією на робочому місці повинні обмінюватися інформацією, щоб зменшити споживання електроенергії на робочому місці та витрати на зарядку для власників електромобілів, однак перевантаження потужності локального трансформатора не враховувалося. У

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		52

[26] вплив коаліцій між роботодавцем і працівником для ефективного планування зарядки електромобілів вивчається за допомогою теорії кооперативних ігор. Передбачалося, що під час паркування на робочому місці електромобілі можуть лише розряджатися. Результати показали, що запропонований підхід є економічно вигідним для власників електромобілів (працівників) і роботодавців. У [42] пікове зменшення споживання електроенергії в нежитловій системі досягається за допомогою відповідного розкладу зарядки/розрядки електромобілів без мінімізації вартості зарядки електромобілів.

- Змінні тарифи на зарядку (в залежності від поточного стану завантаження електромережі). Для регулювання стану локальної енергосистеми можна спонукати споживачів використовувати електроенергію в необхідний час. Так за допомогою , підвищення ціни в проміжки найбільшого навантаження системи призведе до зменшення попиту зарядки в заданий час, а зменшення тарифу в нічний час допоможе вирівняти графік добового використання електроенергії, що допоможе краще прогнозувати споживання електроенергії споживачами та полегшить контроль за станом електромережі

- Заохочувальні бонуси. Для нових та постійних клієнтів можна ввести бонуси чи акції, що призведе до збільшення кількості споживачів які більш доцільно використовують як електроенергію так і станції зарядки електромобілей, що полегшить роботу оперативному персоналу, що слідкує за станом енергосистеми так і призведе до більшої доступності та якості зарядки електромобілей споживачами.

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						53
Зм.	Арк			Дата		

РОЗДІЛ 3. Економічне обґрунтування переходу до застосування багатозонних тарифів

В даному розділі розглядається доцільність переходу підприємства до застосування багатозонних тарифів, ґрунтуючись на дослідженнях графіків добових електричних навантажень.

Розраховуємо плату за добове електроспоживання конкретним підприємством:

- для 30% електромобілей на основі одноставкого тарифу (таблиця 6);
- для 30% електромобілей на основі двозонного тарифу (таблиця 7);
- для 30% електромобілей на основі тризонного тарифу (таблиця 8);
- для 50% електромобілей на основі одноставкого тарифу (таблиця 9);
- для 50% електромобілей на основі двозонного тарифу (таблиця 10);
- для 50% електромобілей на основі тризонного тарифу (таблиця 11);
- для 70% електромобілей на основі одноставкого тарифу (таблиця 12);
- для 70% електромобілей на основі двозонного тарифу (таблиця 13);
- для 70% електромобілей на основі тризонного тарифу (таблиця 14).

Відповідний тариф за *i*-ою зоною доби ($T_{зді}$) визначається добутком тарифу з урахуванням ПДВ (T_p) та відповідного тарифного коефіцієнту зони доби ($K_{ті}$)

$$T_{зді} = T_p \cdot K_{ті} . \quad (3.1)$$

Сума оплати за спожиту електроенергію протягом доби ($\Pi_{доб}$) визначається сумою добутків тарифу за *i*-ою зоною доби ($T_{зді}$) та відповідного обсягу спожитої електроенергії у кВт·год в межах *i*-ої зони доби ($O_{спожі}$)

$$\Pi_{доб} = \sum_{i=1}^{24} \dot{O}_{заі} \cdot \dot{I}_{міі} . \quad (3.2)$$

					МР 3.6.141. 369.ПЗ		
З	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Копж П.С.				Моделювання і оцінка впливу попиту на зарядку електромобілей на режими роботи трансформаторів		
Керівник	Дяговченко І.М.						
Консульт.	Маценко О. М.						
Н. контр.	Нікіфоров М.А						
Затверд.	Лебединський І.Л						
					Піп	Дир	Активіст
					СумДУ, ЕТ.М-71		

Таблиця 6 – Розрахунок плати за добове електроспоживання будинку з 30% «проникнення» електромобілей на основі одноставкового тарифу

Час доби	Зона доби	Обсяг спожитої електроенергії, кВт·год	Тарифний коефіцієнт зони доби	Зонний тариф, кВт·год	Сума оплати за спожиту електроенергію, грн
01.00	ніч	31,5	1	144	45,36
02.00	ніч	22,5	1	144	32,40
03.00	ніч	11,7	1	144	16,85
04.00	ніч	3,6	1	144	5,18
05.00	ніч	0	1	144	0,00
06.00	ніч	0	1	144	0,00
07.00	день	0	1	144	0,00
08.00	день	3,6	1	144	5,18
09.00	день	9	1	144	12,96
10.00	день	9	1	144	12,96
11.00	день	9	1	144	12,96
12.00	день	22,5	1	144	32,40
13.00	день	27	1	144	38,88
14.00	день	36	1	144	51,84
15.00	день	40,5	1	144	58,32
16.00	день	45	1	144	64,80
17.00	день	67,5	1	144	97,20
18.00	день	85,5	1	144	123,12
19.00	день	90	1	144	129,60
20.00	день	85,5	1	144	123,12
21.00	день	67,5	1	144	97,20
22.00	день	49,5	1	144	71,28
23.00	день	45	1	144	64,80
24.00	ніч	40,5	1	144	58,32
Всього за добу		801,9	-	-	1154,74

Зм.	Арк			Дата

MP 3.6.141. 369.ПЗ

Арк

55

Таблиця 7 – Розрахунок плати за добуве електроспоживання будинку з 30% «проникнення» електромобілей на основі двозонного тарифу

Час доби	Зона доби	Обсяг спожитої електроенергії, кВт·год	Тарифний коефіцієнт зони доби	Зонний тариф, коп/кВт·год	Сума оплати за спожитою електроенергією, грн
01.00	ніч	31,5	0,5	72	22,68
02.00	ніч	22,5	0,5	72	16,2
03.00	ніч	11,7	0,5	72	8,424
04.00	ніч	3,6	0,5	72	2,592
05.00	ніч	0	0,5	72	0
06.00	ніч	0	0,5	72	0
07.00	день	0	0,5	72	0
08.00	день	3,6	1	144	5,184
09.00	день	9	1	144	12,96
10.00	день	9	1	144	12,96
11.00	день	9	1	144	12,96
12.00	день	22,5	1	144	32,4
13.00	день	27	1	144	38,88
14.00	день	36	1	144	51,84
15.00	день	40,5	1	144	58,32
16.00	день	45	1	144	64,8
17.00	день	67,5	1	144	97,2
18.00	день	85,5	1	144	123,12
19.00	день	90	1	144	129,6
20.00	день	85,5	1	144	123,12
21.00	день	67,5	1	144	97,2
22.00	день	49,5	1	144	71,28
23.00	день	45	0,5	72	32,4
24.00	ніч	40,5	0,5	72	29,16
Всього за добу		15891	-	-	1043,28

Таблиця 8 – Розрахунок плати за добуве електроспоживання будинку з 30% «проникнення» електромобілей на основі тризонного тарифу

Час доби	Зона доби	Обсяг спожитої електроенергії, кВт·год	Тарифний коефіцієнт зони	Зонний тариф коп./кВт·год	Сума оплати за спожиту електроенергію, грн
01.00	ніч	31,5	0,4	57,6	18,144
02.00	ніч	22,5	0,4	57,6	12,96
03.00	ніч	11,7	0,4	57,6	6,7392
04.00	ніч	3,6	0,4	57,6	2,0736
05.00	ніч	0	0,4	57,6	0
06.00	ніч	0	0,4	57,6	0
07.00	день	0	1	144	0
08.00	день	3,6	1,5	216	7,776
09.00	день	9	1,5	216	19,44
10.00	день	9	1,5	216	19,44
11.00	день	9	1	144	12,96
12.00	день	22,5	1	144	32,4
13.00	день	27	1	144	38,88
14.00	день	36	1	144	51,84
15.00	день	40,5	1	144	58,32
16.00	день	45	1	144	64,8
17.00	день	67,5	1	144	97,2
18.00	день	85,5	1	144	123,12
19.00	день	90	1	144	129,6
20.00	день	85,5	1,5	216	184,68
21.00	день	67,5	1,5	216	145,8
22.00	день	49,5	1	144	71,28
23.00	день	45	0,4	57,6	25,92
24.00	ніч	40,5	0,4	57,6	23,328
Всього за добу		15891	-	-	1146,7008

Зм.	Арк			Дата

MP 3.6.141. 369.ПЗ

Арк

57

Таблиця 9 – Розрахунок плати за добуве електроспоживання будинку з 50% «проникнення» електромобілей на основі одноставкового тарифу

Час доби	Зона д	Обсяг спожитої електроенергії, кВт	Тарифний коефіцієнт зони доби	Зонний тариф коп./ кВт·год	Сума оплати за спожиту електроенергію, грн
01.00	ніч	52,5	1	144	75,60
02.00	ніч	37,5	1	144	54,00
03.00	ніч	19,5	1	144	28,08
04.00	ніч	6	1	144	8,64
05.00	ніч	0	1	144	0,00
06.00	ніч	0	1	144	0,00
07.00	день	0	1	144	0,00
08.00	день	6	1	144	8,64
09.00	день	15	1	144	21,60
10.00	день	15	1	144	21,60
11.00	день	15	1	144	21,60
12.00	день	37,5	1	144	54,00
13.00	день	45	1	144	64,80
14.00	день	60	1	144	86,40
15.00	день	67,5	1	144	97,20
16.00	день	75	1	144	108,00
17.00	день	112,5	1	144	162,00
18.00	день	142,5	1	144	205,20
19.00	день	150	1	144	216,00
20.00	день	142,5	1	144	205,20
21.00	день	112,5	1	144	162,00
22.00	день	82,5	1	144	118,80
23.00	день	75	1	144	108,00
24.00	ніч	67,5	1	144	97,20
Всього за добу		1336,5	-	-	1924,56

Таблиця 10 – Розрахунок плати за добове електроспоживання будинку з 50% «проникнення» електромобілей на основі двозонного тарифу

Час доб	Зона доб	Обсяг спожитої електроенергії, кВт·год	Тарифний коефіцієнт зони	Зонний тариф, кВт·год	Сума оплати за спожиту електроенергію, грн
01.00	ніч	52,5	0,5	72	37,8
02.00	ніч	37,5	0,5	72	27
03.00	ніч	19,5	0,5	72	14,04
04.00	ніч	6	0,5	72	4,32
05.00	ніч	0	0,5	72	0
06.00	ніч	0	0,5	72	0
07.00	день	0	0,5	72	0
08.00	день	6	1	144	8,64
09.00	день	15	1	144	21,6
10.00	день	15	1	144	21,6
11.00	день	15	1	144	21,6
12.00	день	37,5	1	144	54
13.00	день	45	1	144	64,8
14.00	день	60	1	144	86,4
15.00	день	67,5	1	144	97,2
16.00	день	75	1	144	108
17.00	день	112,5	1	144	162
18.00	день	142,5	1	144	205,2
19.00	день	150	1	144	216
20.00	день	142,5	1	144	205,2
21.00	день	112,5	1	144	162
22.00	день	82,5	1	144	118,8
23.00	день	75	0,5	72	54
24.00	ніч	67,5	0,5	72	48,6
Всього за добу		15891	-	-	1738,8

Зм.	Арк			Дата

MP 3.6.141. 369.ПЗ

Арк

59

Таблиця 11 – Розрахунок плати за добове електроспоживання будинку з 50% «проникнення» електромобілей на основі тризонного тарифу

Час доби	Зона доби	Обсяг спожитої електроенергії, кВт·год	Тарифний коефіцієнт зони доби	Зонний тариф, кВт·год	Сума оплати за спожиту електроенергію, грн
01.00	ніч	52,5	0,4	57,6	30,24
02.00	ніч	37,5	0,4	57,6	21,6
03.00	ніч	19,5	0,4	57,6	11,232
04.00	ніч	6	0,4	57,6	3,456
05.00	ніч	0	0,4	57,6	0
06.00	ніч	0	0,4	57,6	0
07.00	день	0	1	144	0
08.00	день	6	1,5	216	12,96
09.00	день	15	1,5	216	32,4
10.00	день	15	1,5	216	32,4
11.00	день	15	1	144	21,6
12.00	день	37,5	1	144	54
13.00	день	45	1	144	64,8
14.00	день	60	1	144	86,4
15.00	день	67,5	1	144	97,2
16.00	день	75	1	144	108
17.00	день	112,5	1	144	162
18.00	день	142,5	1	144	205,2
19.00	день	150	1	144	216
20.00	день	142,5	1,5	216	307,8
21.00	день	112,5	1,5	216	243
22.00	день	82,5	1	144	118,8
23.00	день	75	0,4	57,6	43,2
24.00	ніч	67,5	0,4	57,6	38,88
Всього за добу		15891	-	-	1911,168

Таблиця 12 – Розрахунок плати за добове електроспоживання будинку з 70% «проникнення» електромобілей на основі одноставкового тарифу

Час доби	Зона доби	Обсяг спожитої електроенергії, кВт·год	Тарифний коефіцієнт зони	Зонний тариф, кВт·год	Сума оплати за спожиту електроенергію, грн
01.00	ніч	73,5	1	144	105,84
02.00	ніч	52,5	1	144	75,60
03.00	ніч	27,3	1	144	39,31
04.00	ніч	8,4	1	144	12,10
05.00	ніч	0	1	144	0,00
06.00	ніч	0	1	144	0,00
07.00	день	0	1	144	0,00
08.00	день	8,4	1	144	12,10
09.00	день	21	1	144	30,24
10.00	день	21	1	144	30,24
11.00	день	21	1	144	30,24
12.00	день	52,5	1	144	75,60
13.00	день	63	1	144	90,72
14.00	день	84	1	144	120,96
15.00	день	94,5	1	144	136,08
16.00	день	105	1	144	151,20
17.00	день	157,5	1	144	226,80
18.00	день	199,5	1	144	287,28
19.00	день	210	1	144	302,40
20.00	день	199,5	1	144	287,28
21.00	день	157,5	1	144	226,80
22.00	день	115,5	1	144	166,32
23.00	день	105	1	144	151,20
24.00	ніч	94,5	1	144	136,08
Всього за добу		1871,1	-	-	2694,38

Зм.	Арк			Дата

MP 3.6.141. 369.ПЗ

Арк

61

Таблиця 13 – Розрахунок плати за добове електроспоживання будинку з 70% «проникнення» електромобілей на основі двозонного тарифу

Час доб	Зона доб	Обсяг спожитої електроенергії, кВт·год	Тарифний коефіцієнт зони	Зонний тариф, кВт·год	Сума оплати за спожиту електроенергію, грн
01.00	ніч	73,5	0,5	72	52,92
02.00	ніч	52,5	0,5	72	37,8
03.00	ніч	27,3	0,5	72	19,656
04.00	ніч	8,4	0,5	72	6,048
05.00	ніч	0	0,5	72	0
06.00	ніч	0	0,5	72	0
07.00	день	0	0,5	72	0
08.00	день	8,4	1	144	12,096
09.00	день	21	1	144	30,24
10.00	день	21	1	144	30,24
11.00	день	21	1	144	30,24
12.00	день	52,5	1	144	75,6
13.00	день	63	1	144	90,72
14.00	день	84	1	144	120,96
15.00	день	94,5	1	144	136,08
16.00	день	105	1	144	151,2
17.00	день	157,5	1	144	226,8
18.00	день	199,5	1	144	287,28
19.00	день	210	1	144	302,4
20.00	день	199,5	1	144	287,28
21.00	день	157,5	1	144	226,8
22.00	день	115,5	1	144	166,32
23.00	день	105	0,5	72	75,6
24.00	ніч	94,5	0,5	72	68,04
Всього за добу		15891	-	-	2434,32

Зм.	Арк			Дата

MP 3.6.141. 369.ПЗ

Арк

62

Таблиця 14 – Розрахунок плати за добуве електроспоживання будинку з 70% «проникнення» електромобілей на основі тризонного тарифу

Час доби	Зона доби	Обсяг спожитої електроенергії, кВт·год	Тарифний коефіцієнт зони	Зонний тариф коп./ кВт·год	Сума оплати за спожиту електроенергію, грн
01.00	ніч	73,5	0,4	144	105,84
02.00	ніч	52,5	0,4	144	75,6
03.00	ніч	27,3	0,4	144	39,312
04.00	ніч	8,4	0,4	144	12,096
05.00	ніч	0	0,4	144	0
06.00	ніч	0	0,4	144	0
07.00	день	0	1	144	0
08.00	день	8,4	1,5	144	12,096
09.00	день	21	1,5	144	30,24
10.00	день	21	1,5	144	30,24
11.00	день	21	1	144	30,24
12.00	день	52,5	1	144	75,6
13.00	день	63	1	144	90,72
14.00	день	84	1	144	120,96
15.00	день	94,5	1	144	136,08
16.00	день	105	1	144	151,2
17.00	день	157,5	1	144	226,8
18.00	день	199,5	1	144	287,28
19.00	день	210	1	144	302,4
20.00	день	199,5	1,5	144	287,28
21.00	день	157,5	1,5	144	226,8
22.00	день	115,5	1	144	166,32
23.00	день	105	0,4	144	151,2
24.00	ніч	94,5	0,4	144	136,08
Всього за добу		15891	-	-	2694,384

Розраховуємо плату за електроспоживання конкретним підприємством окремо за зимовий та літній періоди, а також річне енергоспоживання ($P_{пер}$) за різними системами тарифів, формуючи таблицю 2:

$$P_{пер} = P_{доб} \cdot Q_{пер} , \quad (3.3)$$

де $Q_{пер}$ – кількість діб у періоді.

Таблиця 15 – Розрахунок плати за річне електроспоживання будинку з 30%, 50%, 70% «проникнення» електромобілей

Період		Всього за рік		
Кількість діб у періоді		365		
Сума добової оплати за спожиту електроенергію, грн	Одноставковий тариф	1154,74	1924,56	2694,38
	Двоставковий тариф	1043,28	1738,8	2434,32
	Тризонний тариф	1146,7008	1911,168	2694,384
Сума оплати за спожиту електроенергію за період, грн	Одноставковий тариф	421478,64	702464,4	983450,16
	двоставковий тариф	380797,2	634662	888526,8
	Тризонний тариф	418545,792	697576,32	983450,16

Розраховуємо річну економію в оплаті за електроспоживання при переході з одноставкового до двоставкових ($\Delta P_{річ2}$) та тризонних ($\Delta P_{річ3}$) тарифів для споживача з 30% «проникнення електромобілей»

$$P_{річ30\%} = P_{річ} - P_{річ2} = 421478,64 - 380797,2 = 40681,44 \text{ грн.} , \quad (3.4)$$

$$\Delta P_{річ30\%} = P_{річ} - P_{річ3} = 421478,64 - 418545,792 = 2932,848 \text{ грн.} , \quad (3.5)$$

де $P_{річ}$, $P_{річ2}$, $P_{річ3}$ – відповідно сума річної плати за спожиту електроенергію за одноставковим, двоставковим та тризонним тарифами.

Розраховуємо річну економію в оплаті за електроспоживання при переході з одноставкового до двоставкових ($\Delta P_{річ2}$) та тризонних ($\Delta P_{річ3}$) тарифів

										Арк
										64
Зм.	Арк								Дата	

РОЗДІЛ 4. Охорона праці

4.1 Організаційні заходи у разі виконання робіт в електроустановках електростанцій, підстанцій, на кабельних лініях електропередавання та кабельних лініях зв'язку

Наряд дозволяється видавати на одне або кілька робочих місць одного приєднання.

Допускається видавати один наряд на кілька робочих місць різних приєднань:

а) для одночасної роботи на всіх приєднаннях в електроустановках, де напругу знято з усіх струмовідних частин, в тому числі з виводів ПЛ і КЛ (вторинні кола можуть залишатись під напругою), і зачинено на замок вхід до сусідніх електроустановок;

б) для роботи на всіх (або частині) електродвигунах агрегатів (котлів, турбін, генераторів) і окремих технологічних установках (систем золовидалення, мережних підігрівачів, дробильних систем та ін.) - у разі виведення в ремонт цих агрегатів (установок) і для роботи в РУ на всіх (або частині) приєднаннях, що живлять електродвигуни цих агрегатів (установок).

Видавати один наряд допускається тільки для роботи на електродвигунах однакової напруги на приєднаннях одного РУ, що знаходяться в одному приміщенні;

в) для роботи на шинах і на всіх (або частині) приєднаннях секції в РУ 6, 10, 20, 35, 110 кВ з одинарною системою шин і будь-якою кількістю секцій - у разі виведення в ремонт усієї секції повністю; у цьому разі дозволяється розосередження членів бригади по різних робочих місцях в межах секції, що виведена в ремонт;

г) для одночасного або почергового виконання робіт на різних робочих місцях одного або декількох приєднань однієї електроустановки у разі:

					МП 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		66

1) прокладання і перекладання силових та контрольних кабелів, випробування електрообладнання, перевірки приладів захисту, вимірювань, блокування, автоматики, телемеханіки, зв'язку тощо;

2) проведення ремонту комутаційних апаратів одного приєднання, в тому числі, коли їх приводи знаходяться в іншому приміщенні;

3) проведення ремонту окремого кабелю в тунелі, колекторі, колодязі, траншеї, котловані;

4) проведення ремонту кабелів (не більше двох), який здійснюється у двох котлованах або в РУ, і у розташованому поряд котловані, коли розташування робочих місць дає змогу керівнику робіт здійснювати нагляд за бригадою.

У разі проведення робіт, зазначених у підпункті "г", дозволяється розосередження членів бригади по різних робочих місцях. Оформлення в наряді переведення з одного робочого місця на інше не вимагається.

У разі виконання роботи за одним нарядом на електродвигунах та їхніх приєднаннях в РУ, укомплектованому шафами КРУ, оформлення переведення з одного робочого місця на інше не вимагається, дозволяється розосередження бригади по різних робочих місцях. В РУ іншого конструктивного виконання допуск і роботу на приєднаннях електродвигунів слід проводити з оформленням переведення з одного робочого місця на інше.

У разі проведення робіт відповідно до пунктів 6.10.1 і 6.10.2 цих Правил всі робочі місця слід підготувати до початку допуску. Забороняється підготовка до вмикання будь-якого з приєднань, у тому числі випробування електродвигунів, до повного закінчення робіт за нарядом.

У разі розосередження бригади по різних робочих місцях дозволяється перебування одного або кількох членів бригади з групою III окремо від керівника робіт.

Членів бригади, яким треба буде знаходитись окремо від керівника робіт, останній повинен привести на робочі місця та проінструктувати про заходи безпеки, яких необхідно дотримуватись під час виконання роботи.

Допускається видавати один наряд для почергового проведення однотипної роботи на кількох підстанціях або кількох приєднаннях однієї підстанції. До таких

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						67
Зм.	Арк			Дата		

робіт належать: протирання ізоляторів; підтягування затискачів; відбір проб і доливання масла; перемикання обмоток трансформаторів; перевірка пристроїв релейного захисту, автоматики, вимірювальних приладів; випробування підвищеною напругою від стороннього джерела; перевірка ізоляторів вимірювальною штангою; пошуки місця пошкодження КЛ; профілактичний ремонт однотипних КТП 6 - 10/04 кВ. Термін дії такого наряду - одна зміна (робочий день).

Допуск на кожну підстанцію і на кожне приєднання оформлюється в таблиці 4 наряду.

Кожну з підстанцій дозволяється вмикати тільки після повного закінчення роботи на ній за цим нарядом.

Допускається видавати одне розпорядження для роботи почергово на кількох електроустановках (приєднаннях).

Роботи в РП на ділянках ПЛ, КЛ та ЗДТК

Робота на ділянках ПЛ, розташованих на території РУ, повинна проводитись за нарядами, що видаються працівниками, які обслуговують ПЛ. Під час виконання роботи на кінцевій опорі в електроустановках з місцевими оперативними працівниками черговий повинен проінструктувати бригаду, провести її до цієї опори. В електроустановках без місцевих оперативних працівників керівнику робіт лінійної бригади дозволяється отримати ключ від РУ та самостійно проходити до опори.

У разі виконання робіт на порталах ВРУ та на будівлях ЗРУ допуск лінійної бригади з необхідним оформленням в наряді повинен здійснювати допускатч зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників, які обслуговують РУ.

Роботи на кінцевих муфтах і заробках КЛ, розміщених в РУ, і на КЛ, які проходять по території та в кабельних каналах РУ, слід виконувати за нарядами, що видаються працівниками, які обслуговують КЛ. Допуск до робіт на кінцевих муфтах і заробках здійснюють працівники, які обслуговують РУ, а допуск на КЛ на території і в кабельних каналах РУ - працівники, які обслуговують КЛ, з відома чергових або оперативно-виробничих працівників, які обслуговують РУ.

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		68

На кінцевих заробках РУ дозволяється виконувати роботу працівникам, які обслуговують КЛ, на правах відряджених за нарядами, що видаються працівниками, які обслуговують РУ.

Роботи на пристроях зв'язку, розміщених в РУ, повинні проводитись за нарядами, що видаються працівниками служби ЗДТК. Допуск до робіт на цих пристроях здійснюють працівники, які обслуговують РУ.

Допускається виконання робіт працівниками служби ЗДТК на вказаних пристроях за нарядами, що видаються працівниками, які обслуговують РУ.

4.2 Комутаційні апарати та розподільче устаткування

Перед допуском до роботи на комутаційних апаратах з дистанційним керуванням слід виконати такі технічні заходи:

- вимкнути допоміжні кола (керування, сигналізації, підігрівання та ін.) і силові кола приводу;

- зачинити засувки на трубопроводі подавання повітря в баки вимикачів або на пневматичні приводи та випустити в атмосферу повітря, яке в них містилось; у цьому разі спускні пробки (клапани) залишаються у відкритому положенні;

- привести в неробоче положення вмикальний вантаж або вмикальні пружини;

- вивісити плакати "Не вмикати! Працюють люди" - на ключах дистанційного керування і "Не відкривати! Працюють люди" - на закритих засувках.

Для пробних вмикань і вимикань комутаційного апарата (без подавання робочої напруги) під час його налагоджування та регулювання допускається тимчасове вмикання допоміжних і силових кіл приводу, а також подавання повітря в привод та на вимикач. У цьому разі слід зняти плакати "Не вмикати! Працюють люди" та "Не відкривати! Працюють люди".

Дистанційно вмикати та вимикати комутаційний апарат під час його випробовування дозволяється оперативним та оперативно-виробничим працівникам, якщо це обумовлено нарядом в "Окремих вказівках".

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						69
Зм.	Арк			Дата		

Підніматись на повітряний вимикач, що перебуває під робочим тиском, дозволяється тільки під час випробування та виконання налагоджувальних робіт (регулювання демпферів, знімання віброграм, під'єднання провідників до вимірювальних приладів або їх від'єднання, визначення місць витікання повітря тощо).

Забороняється підніматись на вимкнений повітряний вимикач з повітряноповненим віддільником, якщо віддільник перебуває під робочим тиском.

Перед підніманням на повітряний вимикач для проведення випробувань та налагодження необхідно:

- вимкнути кола керування;
- заблокувати кнопку місцевого керування та пускові клапани (наприклад, від'єднати повітровідні трубки, замкнути шафи тощо) або поставити біля вимикача проінструктованого члена бригади, який допустив би до оперування вимикачем (після вмикання кіл керування) за вказівкою керівника робіт тільки одного працівника.

У разі перебування працівників на повітряному вимикачі, що знаходиться під тиском, слід припинити усі роботи в шафах керування і розподільчих.

Забороняється перебування працівників біля повітряних вимикачів під час їх вимикання і вмикання, налагодження та випробування.

Команду на виконання операцій повітряним вимикачем у разі проведення випробних і налагоджувальних робіт керівник робіт (або уповноважений ним член бригади) повинен подавати тільки після того, як всі члени бригади будуть відведені від вимикача на безпечну відстань або в укриття.

У разі допуску до роботи, пов'язаної з перебуванням працівників всередині повітрозбірників, необхідно:

- закрити засувки повітропроводів, по яких може бути подано повітря, зачинити їх на замок, вивісити на засувках плакати "Не відкривати! Працюють люди";
- випустити в атмосферу повітря, що перебуває під тиском в повітрозбірнику, залишивши відкритим спускний клапан;

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						70
Зм.	Арк			Дата		

- від'єднати від повітрозбірника повітропровід подавання повітря і встановити на ньому заглушки.

Нульовий показ манометрів на баках вимикачів та повітрозбірниках не може бути вірогідною ознакою відсутності в них стисненого повітря. Для того, щоб зняти кришки лазів, безпосередньо перед відгвинчуванням болтів та гайок необхідно відкрити спускні клапани або засувки і переконатись у відсутності стисненого повітря.

Спускні клапани або засувки дозволяється закривати тільки після загвинчування всіх болтів та гайок, що кріплять кришку лазу.

У разі виконання роботи у відсіку комірки КРУ необхідно:

- викотити візок з обладнанням;
- зачинити на замок шторку відсіку, в якому струмовідні частини залишились під напругою, та вивісити плакат "Стій! Напруга";
- вивісити плакат "Працювати тут" у відсіку, де треба буде працювати.

У разі виконання роботи поза КРУ на підімкненому до нього обладнанні або на ПЛ і КЛ, що відходять, візок з вимикачем необхідно викотити з комірки; шторку або дверці зачинити на замок та вивісити на них плакат "Не вмикати! Працюють люди" або "Не вмикати! Робота на лінії".

У цьому разі допускається:

- за наявності блокіровки (блоківки) між заземлювальними ножами та візком з вимикачем - встановлювати візок в контрольне положення після вмикання цих ножів;

- за відсутності такої блокіровки або заземлювальних ножів в комірках КРУ - встановлювати візок в проміжне положення між контрольним та викоченим за умови зачинення комірки КРУ на замок. Візок може встановлюватись у проміжне положення незалежно від наявності заземлення на приєднанні.

Встановлювати в контрольне положення візок з вимикачем для випробування та роботи в колах керування і захисту дозволяється в тих випадках, коли роботи поза КРУ на ПЛ і КЛ, що відходять, або на підімкненому до них обладнанні, враховуючи механізми, з'єднані з електродвигунами, не проводяться або встановлено заземлення в комірці КРУ.

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						71
Зм.	Арк			Дата		

Приміщення РУ з елегазовим обладнанням слід обладнати примусовою вентиляцією.

Забороняється виконувати будь-яку роботу доти, доки не буде забезпечено п'ятикратний обмін повітря в цьому приміщенні протягом однієї години. Наявність елегазу можна перевірити за допомогою відкритого вогню (сірник, свічка тощо) на рівні підлоги.

Розкриття полюсів елегазового вимикача необхідно проводити на відкритому повітрі. Якщо розкриття полюсів виконується в приміщенні, слід застосовувати спеціальну установку з вакуумним пристроєм, що забезпечує відсмоктування елегазу з робочого місця.

Якщо в процесі розкриття полюсів елегазового вимикача будуть виявлені продукти розпаду елегазу (білий порошок), їх необхідно зібрати пирососом, застосовуючи змінні фільтри.

					MP 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						72
Зм.	Арк			Дата		

ВИСНОВКИ

Трансформатори є одними з основних елементів систем електропостачання і при правильних умовах експлуатації можуть прослужити кілька десятиліть. Постійні перевантаження, стрибки напруги, перегрів або порушення режиму охолодження прискорюють старіння витратних матеріалів, що входять до складу трансформаторів, скорочуючи термін їхньої служби. В цій роботі представлено нечітко-логічну модель для сповільнення зносу трансформатора, що живить розподільну електромережу з великою кількістю електромобілей. Хоча перехід на електрифіковані транспортні засоби сприятиме екологічній стійкості, перед інженерами постає проблема забезпечення того, щоб енергетична інфраструктура могла задовольнити підвищений попит на електроенергію.

Розроблений алгоритм включає в себе два етапи, що контролюються нечіткою логікою. На першому етапі виконується діагностика стану трансформатора і на контрольні осцилографи виводиться ступінь застереження (тобто повідомлення) для оператора РЕМ. Діагностика стану трансформатора заснована на наборі критеріїв оцінки для виведення всіх нечітких логічних параметрів, а саме функцій приналежності і набору правил. Вихідні повідомлення можуть бути наступних чотирьох типів: «Немає проблем», «Обережно», «Можлива проблема», «Неминуча проблема». У разі «неминучої проблеми», системний оператор має вжити запобіжних заходів, щоб уникнути аварії. Другий етап – процес налаштування/оптимізації, який базується на функціях приналежності, що відображають навантаження трансформатора, коефіцієнт потужності та генерацію електроенергії від локальних джерел (сонячні генеруючі установки). Запропонований алгоритм дозволяє швидко реагувати на небезпечні режими роботи трансформатора, в той час як людина (наприклад, системний оператор) не приймає безпосередньої участі в циклі, але може контролювати всі операції, щоб уникнути будь-якої помилки зі сторони автоматики.

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		73

Розроблена модель може бути використана для аналізу зносу трансформаторів РЕМ з масляним охолодженням потужністю до 2500 кВА. Ефективність запропонованої методики була перевірена на радіальній системі розподілу електроенергії 20/0,4 кВ з трансформатором потужністю 100 кВА. РЕМ живить кілька приватних житлових будинків і невелике підприємство. Більшість будинків має електромобілі. Дослідження показало, що при рівні проникнення електромобілів понад 50 % знос трансформатора різко прискорюється. Розглянуто кілька можливих сценаріїв розвитку РЕМ, спрямованих на сповільнення зносу трансформатора. Найкращі результати спостерігалися для випадку, коли РЕМ була додатково оснащена контрольованими системами накопичення енергії, сонячними панелями і регульованими конденсаторними батареями. При цьому сценарії коефіцієнт зносу трансформатора зменшується більш ніж в 7 разів, в порівнянні з базовим сценарієм. Наявність СНЕ на рівні енергетичного кооперативу, окремих АБ і регульованих КБ повністю вирішує проблему швидкого зносу трансформатора і допомагає продовжити його термін служби.

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						74
Зм.	Арк			Дата		

Список літератури

[1]. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций 1986. — 640 с.

[2]. П. О. Василега. Електропостачання Підручник 2019. — 521 с.

[3]. А.К. Шидловский А.Ф.Жаркин. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях 2005. — 211 с

[4]. Шершень Олег Ігорович. Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціалізації Енергетичний менеджмент та енергоефективність на тему: «Вплив коливань частоти напруги в електричній мережі та точність визначення гармонічного аналізу» 2018. — 99 с

[5]. В. R. Klingenberg and P. F. Ribeiro. Fuzzy logic application for time-varying harmonics 2009. — 13 с

[6]. В. Дьяконов, В. Круглов. Математические пакеты расширения Matlab. Специальный справочник. — Санкт-Петербург: Питер, 2001 — 488 с

[7]. Сайт гідрометеорологічного центру України <https://meteo.gov.ua/ua/>

[8]. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності Київ Мінекономрозвитку України 2014. — 32 с

[9]. Лебединський І.Л. Конспект лекцій з дисципліни Теоретичні основи електротехніки м. Суми 2019

[10] Сайт виробника конденсаторних батарей: <https://www.svaltera.ua>

[11] Енергозбереження і енергоефективність - 1 конспект лекцій Київ 2014 — 107 с

[12]. Перемітько В.В. Усенко Б.О. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування зварювальних цехів» для студентів спеціальності 7.05050401 - «Технології та устаткування зварювання» 2013. — 163 с

[13]. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети 2001. — 201 с

[14]. Карамышев А.Н. Основы нечеткой логики. Учебно-методическое пособие к практическим занятиям и лабораторным работам 2018. — 43 с

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		75

[15]. Франсуа Шеври, Франсуа Гели. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 31 Нечеткая логика 2009. — 32 с

[16]. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД "Університетська книга", 2007. – 280 с.

[17] G. Falchetta and M. Noussan, Electric vehicle charging network in Europe: An accessibility and deployment trends analysis, Transp. Res. Part D: Transport and Environment, vol. 94, 102813, 2021.

[18] P. Solberg, Electric vehicles and charging stations in Europe, Nov., 2021. [Online]. Available : <https://www.pettersolberg.com/electric-vehicles-and-charging-stations-in-europe/>, 2022.

[19] IEEE Std. C57.91™-2011, “IEEE Guide for Loading Mineral- Oil- Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators,” IEEE Std C57.91™-2011(Revision C57.91-1995), 2011.

[20] А. К. Шидловский, А. Ф. Жаркин Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях, НАН Украины, Институт электродинамики, 2005.

[21] ДСТУ EN 50160:2014 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT). Інститут НАН України. Київ: МІНЕКОНОМПРОЗВИТКУ УКРАЇНИ, 2014

[22] G. P. Tal, D. P. Chakraborty, A. P. Jenn et. al., Factors Affecting Demand for Plug-in Charging Infrastructure: An Analysis of Plug-in Electric Vehicle Commuters, UC Office of the President ITS reports, University of California Institute of Transportation Studies, 2020.

[23] КОМАР В. О. Оцінювання якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії, НУ Львівська політехніка. Львів, 2019.

[24] S. Seme, N. Lukač, B. Štumberger, and M. Hadžiselimović, Power quality experimental analysis of grid-connected photovoltaic systems in urban distribution networks, Energy, Volume 139, pp. 1261-1266, 2017.

					MP 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		76

[25] Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай Перетворювальна техніка в нетрадиційній та відновлювальній електроенергетиці. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019.

[26] B. R. Klingenberg and P. F. Ribeiro, Fuzzy Logic Application for Time-Varying Harmonics, in Time-Varying Waveform Distortions in Power Systems, 2009.

[27] S. A. El-Bataway and W. G. Morsi, "Distribution Transformer's Loss of Life Considering Residential Prosumers Owning Solar Shingles, High-Power Fast Chargers and Second-Generation Battery Energy Storage," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 15, no. 3, pp. 1287-1297, 2019.

[28] А. В. Івахнов, О.П. Лазуренко, С. О. Федорчук Системи акумулювання електроенергії, аналіз можливостей та їх поєднання для застосування в енергосистем, Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика надійність та енергоефективність, № 10 (1286), 2018.

[29] M. Müller et al., Evaluation of grid-level adaptability for stationary battery energy storage system applications in Europe, J. Energy Storage Volume 9, pp. 1-11, 2017.

[30] U.S. Department of Energy, Battery Storage in the United States: An Update on Market Trends, Batter. Storage United States An Updat. Mark. Trends, 2021.

[31] A. D. Hilshey, P. D. H. Hines, P. Rezaei, and J. R. Dowds, "Estimating the impact of electric vehicle smart charging on distribution transformer aging," IEEE Transactions on Smart Grid Volume: 4, Issue: 2, pp. 905 - 913, 2013.

[32] O. Beaude, S. Lasaulce, M. Hennebel, and I. Mohand-Kaci, Reducing the Impact of EV Charging Operations on the Distribution Network, IEEE Transactions on Smart Grid Volume: 7, Issue: 6, pp. 2666 - 2679, 2016.

[33] M. Utakrue and K. Hongesombut, Impact Analysis of Electric Vehicle Quick Charging to Power Transformer Life Time in Distribution System, 2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 2018, pp. 1-5, 2018.

					MP 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		77

[34] R. Godina, E. M. G. Rodrigues, J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão, Smart electric vehicle charging scheduler for overloading prevention of an industry client power distribution transformer, Applied Energy Volume 178, pp. 29-42 2016.

[35] N. B. G. Brinkel, W. L. Schram, T. A. AlSkaif, I. Lampropoulos, and W. G. J. H. M. van Sark, Should we reinforce the grid? Cost and emission optimization of electric vehicle charging under different transformer limits, Applied Energy Volume 276, 115285, 2020.

[36] H. Nafisi, Investigation on distribution transformer loss-of-life due to plug-in hybrid electric vehicles charging, International Journal of Ambient Energy Volume 42, 2021 - Issue 7, 2021.

[37] A. Palomino and M. Parvania, Data-Driven Risk Analysis of Joint Electric Vehicle and Solar Operation in Distribution Networks, IEEE Open Access Journal of Power Energy, Volume: 7, pp. 141 - 150, 2020.

[38] C. M. Affonso and M. Kezunovic, Probabilistic assessment of electric vehicle charging demand impact on residential distribution transformer aging, 2018.

[39] S. K. Hong, S. G. Lee, and M. Kim, Assessment and mitigation of electric vehicle charging demand impact to transformer aging for an apartment complex, Energies, 2020.

[40] Y. A. Schreider, G. J. Tee, and A. G. Henney, The Monte Carlo Method: The Method of Statistical Trials, Phys. Today, 1967.

[41] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), European Commission Joint Research Centre, 2022. .

[42] N. M. Kumar, A. Ghosh, and S. S. Chopra, Power resilience enhancement of a residential electricity user using photovoltaics and a battery energy storage system under uncertainty conditions, Energies, 2020.

[43] J. Quirós-Tortós, L. (Nando) Ochoa, and T. Butler, How Electric Vehicles and the Grid Work Together : Lessons Learned from One of the Largest Electric Vehicle Trials in the World, IEEE Power Energy Magazine Volume: 16, Issue: 6, pp. 64 - 76, 2018.

[44] Bart Kosko, Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic, 1995.

					MP 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
						78
Зм.	Арк			Дата		

[45] И. Д.Воеводин, О.И .Сисуненко, Б. С.Тимченко, ГОСТ 14209-85. Трансформаторы масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. М: Стандартиформ, 2009.

[46] ДСТУ 3463-96 Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів (ГОСТ 14209-97, ІЕС 354-91). З поправкою. Держстандарт України. Київ 1999.

[47] Muhammad Usman ,Wajahat Ullah Khan Tareen ,Adil Amin ,Haider Ali A Coordinated Charging Scheduling of Electric Vehicles Considering Optimal Charging Time for Network Power Loss Minimization *Energies* 2021, 14(17), 5336

[48] Фіксовані ціни на електричну енергію для побутових споживачів з 01.10.2021 <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/naselennya/cini-ta-tarifi-na-elektroenergiyu-dlya-pobutovih-spozhyvachiv-naselennya-v-ukrayini/fiksovani-cini-na-elektrichnu-energiyu-dlya-pobutovih-spozhyvachiv-z-1-zhovtnya-2021-roku>

[49]. Сотник І.М. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Економічний механізм функціонування ринку електроенергії», на тему «Техніко-економічне обґрунтування переходу підприємства до застосування багатозонних тарифів»

					МР 3.6.141. 369.ПЗ	Арк
Зм.	Арк			Дата		79