

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Розробка системи зарядного пристрою для
електромобілів

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-41
спеціальнос
ті 141

електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Дублянко О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Філюк Я.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Завідувач
кафедри

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Трембач Р.Б.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 27 » січня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Дублянку Олексію Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи зарядного пристрою для електромобілів

Керівник роботи ... Філюк Ярослав Олександрович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » Січня 2025 року № 4/7-52

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Систему електропостачання для пристроїв зарядних станцій електромобілів. Схеми електропостачання зарядної станції. Електрообладнання для зовнішнього і внутрішнього електропостачання зарядної станції

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	Гурик О. Я. к.т.н., доцент кафедри МТ		
Нормоконтроль	Коваль В.П., к.т.н., зав. кафедри ЕІ		

7. Дата видачі завдання 27 січня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	30.01.2025	
2	Аналітичний розділ	26.02.2025	
3	Проектно-конструкторський розділ	29.03.2025	
4	Розрахунковий розділ	22.04.2025	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	13.05.2025	
6	Висновки	31.05.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	07.06.2025	
8	Оформлення графічної частини	10.06.2025	

Студент

(підпис)

Дублянко О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Філюк Я.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра електричної інженерії, група ЕТ–41.
- Т. : ТНТУ, 2025.

Стор.55; рис.21 ; табл.3 ; джерел 15; додатків 2.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Розробка системи зарядного пристрою для електромобілів».

Мета кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання модуля зарядної станції для електромобілів

У першому розділі розглянуто особливості заряджання акумуляторних батарей для електромобілів, визначено принципові відмінності двох способів - заряджання за допомогою змінного і постійного струмів, проаналізовано їхні переваги та недоліки.

Представлено схему зовнішнього електропостачання станції - від наявної трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ до силової шафи, від якої здійснюється безпосереднє підключення, для проєктованої станції потужністю 240 кВт.

Зроблено вибір обладнання для мережі зовнішнього електропостачання. Крім того, передбачено посилений захист силової шафи від несанкціонованого доступу. Визначено склад ключових вузлів станції, які забезпечують її ефективну і надійну роботу, це модуль управління, лічильник електричної енергії, менеджер навантаження, конектор для підключення зарядних кабелів, силові компоненти.

Також вибрано і додаткове обладнання зарядної станції: системи кондиціонування та обігріву, зарядні кабелі 3 стандартів для різноманітності можливих автомобілів, які можна підключити.

Ключові слова: акумуляторна батарея, зовнішнього електропостачання, модуль управління, лічильник електричної енергії, конектор.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	4
ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Стандарти зарядки акумуляторних батарей для електромобілів	8
1.2 Заряджання змінним струмом	9
1.3 Заряджання постійним струмом	10
1.4 Переваги та недоліки різного виду струму	13
1.5 Електричні автомобілі. Переваги та недоліки	14
1.6 Висновки до розділу	16
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Типи зарядних станцій для електромобілів	17
2.2 Зовнішнє електропостачання зарядної станції	22
2.5 Висновки до розділу	30
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	31
3.1 Обладнання та компоненти зарядної станції	31
3.2 Додаткове обладнання для зарядної станції	39
3.2.1. Система охолодження	39
3.2.2. Система обігріву	40
3.2.3. Зарядний кабель	42
3.3 Загальна сума витрат на запуск зарядної станції	45
3.4 Висновки до розділу	46

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	47
4.1 Техніка безпеки при експлуатації електрообладнання та електромереж	47
4.2 Дослідження стійкості роботи у надзвичайних ситуаціях підприємств електротехнічної та світлотехнічної галузі	49
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	54

ВСТУП

Актуальність роботи. Електроенергетика відіграє ключову роль у функціонуванні та розвитку різних сфер нашого життя, зокрема транспортної. Сьогодні електрика використовується майже у всіх видах транспорту — від велосипедів до великовантажних автомобілів. Особливої уваги набуває електрифікація міського транспорту та залізничних шляхів. Отже, зв'язок між транспортною галуззю та електроенергетикою залишається надзвичайно актуальним.

На сучасному етапі розвитку легкового автотранспорту спостерігається тенденція до переходу на електричну тягу. Замість двигунів внутрішнього згоряння все частіше використовуються електродвигуни, що живляться від акумуляторних батарей (АКБ), встановлених безпосередньо в авто.

Питання заряджання цих акумуляторів робить тему дослідження особливо важливою: зростає потреба як у створенні нових моделей, так і в модернізації існуючих технологій зарядних станцій. Швидке впровадження цифрових рішень і автоматизації процесів відіграє значну роль у розвитку електротранспорту, особливо за останнє десятиліття.

Серед основних недоліків електромобілів залишаються обмежена дальність поїздки та тривалий час заряджання. Зважаючи на кліматичні умови України, середній пробіг електрокара становить приблизно 150 км при швидкості 70 км/год. При більш високих швидкостях запас ходу значно скорочується — наприклад, при 130 км/год він зменшується до 70 км.

В цих умовах особливої актуальності набуває вдосконалення систем живлення електромобілів, зокрема впровадження інтелектуальних ("розумних") модулів. Розширення міст і збільшення кількості електротранспорту вимагають комплексного підходу до розвитку зарядної інфраструктури. На тлі глобальних екологічних проблем і постійного зростання цін на паливо, електромобілі стають важливим інструментом вирішення як екологічних, так і економічних питань.

Як уже зазначалося, популярність електромобілів у світі невпинно зростає. Проте подальший розвиток цього сегмента автомобільної індустрії неможливий без створення нових і вдосконалення наявних зарядних станцій.

Актуальність цього питання посилюється через зростання електромобільної інфраструктури, яка пропонує користувачам нові можливості. В умовах сучасного динамічного ритму життя важливо мінімізувати час на підзарядку авто, проте нинішній рівень розвитку зарядної мережі все ще не дозволяє зробити цей процес достатньо швидким і зручним, навіть у порівнянні зі звичайними АЗС.

Мета кваліфікаційної роботи є розробка системи електропостачання модуля зарядної станції для електромобілів.

Для досягнення поставленої мети в даній роботі необхідно було:

1. обрати систему електропостачання для пристроїв зарядної станції електромобілів;
2. розробити принципову схему електропостачання зарядної станції;
3. зробити вибір електрообладнання для зовнішнього і внутрішнього електропостачання зарядної станції;
4. визначити техніко-економічні показники пропонованого проєкту зарядної станції електромобілів.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Стандарти зарядки акумуляторних батарей для електромобілів

На світовій арені електромобільної індустрії існує три різні стандарти зарядки. Кожен з цих стандартів виділяється унікальною формою зарядного штекера і розетки, які призначені для використання в Північній Америці, Європі та Китаї. Але не тільки в цьому полягає відмінність - також є відмінність у конструкції штекера для заряджання змінним струмом у режимі 3, варіантах В і С, від штекера для

зарядки постійним струмом. (режим 4). Основні типи роз'ємів наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 - Основні стандарти роз'ємів зарядки електромобілів

Найпопулярніший тип роз'єму - Type 1, розроблений для японських автомобілів, але зараз застосовується і в інших. "Type 1 підтримує зарядку однофазним струмом і забезпечує потужність заряду до 7 кВт" [1-5].

Type 2 призначений для використання в Європі та підтримує як однофазну, так і трифазну зарядку. Type 2 дає змогу досягти вищих рівнів потужності, забезпечуючи швидке заряджання до 43 кВт [2].

GB/t - тип роз'єму, створений для китайських електромобілів, розрізняють GB/t AC - аналог type 1 з ідентичними характеристиками і GB/t DC - зарядка постійним струмом забезпечує високу швидкість заряду на високих потужностях (до 180 кВт).

3 CSS COMBO 1 і CSS COMBO 2 - спеціальні роз'єми зарядної інфраструктури, що розвивається в Європі, являють собою стандарт для швидкої зарядки електромобілів. CSS COMBO 1 надає можливість для зарядки постійним струмом до 200 кВт, а CSS COMBO 2 може забезпечити зарядку до 350 кВт [6].

CHAdeMO - цей роз'єм є стандартом для швидкого заряджання і дає змогу досягти високих потужностей до 62,5 кВт. Отримав широке використання по всьому світу.

Як можна помітити, зарядка електромобілів може відбуватися як від мереж змінного, так і постійного струму. Слід зазначити, що заряджання акумуляторних батарей завжди здійснюється постійним струмом, що робить заряджання постійним струмом кращим порівняно зі змінним струмом.

1.2 Заряджання змінним струмом

Електромобілі отримують змінний струм (AC) від електромережі через спеціальні зарядні станції та кабелі. Звернемо увагу, що в цьому процесі спочатку не відбувається ніякого перетворення струму. Це означає, що електромобілі приймають електрику прямо з мережі, зберігаючи її в змінному вигляді.

Щоб зарядити акумулятори електромобілів, потрібен постійний струм (DC). Саме для виконання цієї конверсії використовується вбудований в електромобіль перетворювач AC/DC, він же Onboard-Charger. Він перетворює змінний струм, що надходить від зарядної станції, на постійний струм, який вже використовується для зарядки акумуляторів електромобіля [8].

Зарядні станції змінного струму мають переваги перед зарядними пристроями постійного струму. Одна з основних переваг полягає в тому, що зарядним станціям змінного струму не потрібне додаткове перетворення струму. Це означає, що зарядні станції змінного струму є більш економічним і привабливішим варіантом для використання в домашніх умовах і в особистих автомобілях. Потужність зарядки електромобілів може досягати 22 кВт, і вона залежить від параметрів зарядної станції, використовуваного кабелю і Onboard- Charger в електромобілі. Це дає змогу

заряджати акумулятори в більш м'якому режимі, особливо тоді, коли електромобіль не використовується понад 30 хвилин. Такі випадки включають нічний час, коли електромобіль стоїть під навісом або в гаражі, а також денний час, коли електромобілі паркуються біля ресторанів і супермаркетів. У таких ситуаціях зарядка змінним струмом є найефективнішим і найделікатнішим режимом для збереження акумуляторів електромобілів [9].

1.3 Заряджання постійним струмом

У цьому випадку говорять про швидку або ультрашвидку зарядку, оскільки електромобіль може бути повністю заряджений за кілька хвилин. Однак, зарядка постійним струмом вимагає наявності спеціальної силової електроніки на зарядній станції, що робить цей тип зарядки більш складним і дорогим варіантом. Порівняно із зарядкою змінним струмом, зарядний кабель і штекер кратно дорожчі, зважаючи на більший перетин провідника і наявність систем охолодження кабелю.

Здебільшого, зарядка постійним струмом використовується в комерційних цілях, оскільки електричні станції та заправки на автомагістралях забезпечують безперервну підзарядку електромобілів на далеких дистанціях. Це особливо зручно в зонах відпочинку на автомагістралях, де водії можуть швидко підзарядити свій акумулятор під час коротких зупинок.

Ця технологія зарядки постійним струмом має високу ефективність і простоту у використанні, роблячи її привабливою для власників електромобілів. Однак, вона вимагає спеціального обладнання та інфраструктури, що може бути обмежувальним фактором для широкого поширення цього типу зарядки.

Процес заряджання може здійснюватися різними способами, способи представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Режими заряджання

Вид струму	Режим	Опис режиму	Умовне зображення
1	2	3	4
Змінний	1	Автомобіль заряджається змінним струмом від побутової розетки. Максимальний зарядний струм становить 16 А. Між автомобілем і зарядною точкою не відбувається комунікація. Захист обладнання є обов'язковим.	
	2	Відрізняється від режиму 1 більш високим зарядним струмом (32 А), зарядний кабель оснащений так званим вбудованим пристроєм контролю і захисту..	
	3	У режимі 3 автомобіль заряджається змінним струмом від зарядної станції або побутового зарядного пристрою, в якому вже вбудовано необхідний пристрій диференціального захисту. Допустима зарядка як від однофазної мережі (230 В $\pm 10\%$), так і від трифазної (400 В $\pm 10\%$). Максимальний зарядний струм - до 63 А.	

	3-А	Інфраструктурний зарядний штекер, який вставляється в зарядну розетку зарядної станції, що має штекерне з'єднання для підключення до зарядної станції. Інший кінець кабелю постійно приєднаний до автомобіля.	
	3-В	У варіанті В на обох кінцях кабелю розташоване штекерне з'єднання Варіант В переважно зустрічається на зарядних станціях загального користування.	
	3-С	Варіант С протилежний варіанту А: постійне приєднання має кабель на зарядній станції, а штекерне - встановлюється в зарядну розетку на електромобілі.	
Постійний	4	Цей режим є єдиним із зарядкою безпосередньо постійним струмом на станціях швидкого заряджання. Зарядний кабель постійно приєднаний до зарядної колонки, а зарядні струми досягають значень у 500 А. Для такого режиму характерні підвищені вимоги до безпеки, захисних функцій, потрібен контроль температури силових контактів.	

1.4 Переваги та недоліки різного виду струму

Пристрій станції для зарядки електромобілів з використанням змінного струму гранично простий, проте важливо не забувати про системи захисту як для електромобіля, так і для електричної мережі, які допоможуть запобігти виникненню аварійних ситуацій. Ба більше, для продажу послуг зарядки потрібно встановити білінгову систему[12].

При частковому розміщенні зарядного пристрою в автомобілі, виникає проблема з обмеженням швидкості заряду акумуляторної батареї.

Збільшуючи швидкість заряду АКБ, а саме струм і напругу, збільшуються габарити і маса електронних компонентів зарядної станції, що, своєю чергою, негативно позначається на запасі автономного ходу через підвищення маси автомобіля. Також збільшуючи струм і напругу, необхідно не забувати про охолодження, що в свою чергу підвищує масу, вартість і складність автомобіля.

Грунтуючись на перерахованому вище, обмежимо граничний струм заряду акумуляторної батареї в 32 А. Це рішення популярне серед світових автовиробників з огляду на свій компроміс між швидкістю зарядки і масогабаритними характеристиками[13].

Існує ефективний спосіб прискорити процес зарядки електромобіля - пряме підключення до акумулятора на станції. Цей метод дає змогу позбутися обмежень за розмірами і масою зарядного пристрою, оскільки його компоненти знаходяться поза автомобілем. Однак слід враховувати, що можливо подавати тільки постійний струм на акумулятори.

Необхідно зазначити, що використання постійного струму має свої недоліки, включно з високою вартістю зарядної станції, включно з кабелем. Незважаючи на те, що пряме підключення до акумулятора може підвищити швидкість зарядки, воно також має додаткові переваги. Наприклад, такий підхід дає змогу використовувати компактніші та легші зарядні пристрої, адже всі його вузли знаходяться поза кузовом автомобіля. Крім того, подача постійного струму жодним чином не

обмежує можливості заряджання, на відміну від змінного струму, який може потребувати певних адаптацій та обмежень.

Однак слід зазначити, що використання постійного струму також має свої фінансові недоліки. Встановлення та обслуговування зарядної станції, що підтримує пряме під'єднання, зазвичай вимагає великих інвестицій. На противагу цьому, зарядні станції, що працюють на змінному струмі, як правило, мають більш доступні ціни і пропонують більш гнучкі варіанти підключення.

1.5 Електричні автомобілі. Переваги та недоліки

Оскільки автомобіль на даний момент є основним засобом місцевого сполучення, його порівнюють з енергоспоживанням при русі в змішаному циклі. Для всіх автомобілів були обрані мінімальні показники витрати палива.

Електроенергію для заряджання електромобілів можна отримувати на атомних електростанціях або з відновлюваних джерел енергії (за допомогою сонячної, гідро- або вітрової енергії). Однак ефективність цих методів виробництва електроенергії важко обчислити, тому для розрахунків було взято електроенергію, вироблену на теплових електростанціях шляхом спалювання природного газу.

Як було визначено, найбільш енергоефективним автомобілем є електромобіль з продуктивністю 1,84 км/МДж. Загалом, основним орієнтиром є автомобілі з високою продуктивністю, першоджерелом енергії яких є природний газ. У цю галузь було вкладено дуже великі фінансові кошти. Про це свідчать наявні інвестиційні проекти. Далі наведено порівняльну таблицю 1.2, що відображає переваги придбання електромобілів [11-14].

Загальна енергоефективність електромобіля в 2 рази вища, ніж у найближчого конкурента — гібридних автомобілів і водневих паливних елементів.

Автомобілі з водневими паливними елементами виявилися не такими хорошими, як їх рекламували і активно просували. Ефективність автомобіля на водневому паливі досить висока (0,7 км/МДж — другий результат після електромобіля). Однак недолік цієї технології полягає в загальній

енергоефективності, порівнянній з ефективністю дизельного двигуна, при незрівнянно більшій вартості і складності.

Енергоефективність електромобіля занадто висока (1,84 км/МДж), щоб звинувачувати високу ефективність установки. Розрахунки ставлять під сумнів заявлену ефективність автомобілів з двигунами внутрішнього згорання — можна зустріти твердження, що ефективність дизельного двигуна становить 40%, що дозволяє говорити про марність електромобілів. Безнадійність пов'язана з тим, що загальна потужність перевищує загальну потужність електростанцій, і заміни автомобілів на електромобілі просто недостатньо. Можливо, при оптимальній швидкості дизель має 40% ефективності, однак, якщо брати реальні умови, ефективність дизеля не перевищує 20% (інакше електромобіль мав би ефективність 160% — так званий вічний двигун). Отже, для живлення електромобілів потрібно в 4 рази менше енергії при повній заміні сучасного автопарку. Однак, оскільки маса сучасних електромобілів у місцевих громадах збільшується, то відбудеться збільшення кількості електростанцій. Навпаки, електромобілі можуть стати важливим елементом енергетичної системи світу, згладжуючи нічне падіння споживання електроенергії.

Таблиця 1.2. Розрахунки середніх витрат на електромобіль в сучасних умовах станом на 2025 рік. [5-10]

	Електромобіль	Автомобіль
Споживання при щоденному пробігу (52 км)	11 кВт·год	3,75 л
Середня вартість за день	48	206 грн
Час заряджання/заправки 115 км (максимальний пробіг електромобіля)	8 годин (шнур 220 В, 30 А)	2 хвилини
Середнє споживання на місяць	320 кВт·год	86 л
Середня вартість на місяць	1383 грн	4730 грн

Таблиця 1.2 показує, що середня добова вартість експлуатації автомобіля перевищує споживання електромобіля більш ніж у 4 рази. Однак таке надмірне порівняння не завжди приносить тільки користь, інакше слід пропустити етап

розвитку електромобілів, коли головна проблема виникає через невідповідність інфраструктури.

Тому, крім переваг, є й недоліки — проблеми. На жаль, проблеми використання електромобілів досі залишаються без вирішення [11].

Головна проблема — ємність акумулятора: одного заряду вистачає, щоб проїхати лише 100–200 км у найкращому випадку.

Як зазначалося раніше немає зарядних станцій. Теоретично, навіть поїздка по місту буде неможливою. Правда полягає в тому, що ті користувачів електромобілів знайдуть вихідну потужність у побутових стаціонарних розетках, але насправді це сумнівний варіант для електромобіля, який працює як транспортний засіб [9].

Акумулятор швидко зношується. У кращому випадку він пропрацює 5-7 років, а потім потребуватиме заміни і чималих коштів - суми, що дорівнює вартості всього автомобіля.

До проблем слід віднести питання зберігання автомобіля: в холодних умовах акумулятор зношується швидше, тому автомобілю потрібен теплий гараж [12].

Розвиток електромобілів, в принципі, неможливий без державної підтримки, що в нинішній економічній ситуації є досить дорогим. Потрібні відповідні субсидії для ринку електромобілів: це стосується питання імпорتنих мит на автомобілі та створення сприятливих умов для будівництва заводів, принаймні - для виробництва акумуляторів.

1.6 Висновки до розділу

У першому розділі детально розглянуто чинники, що призводять до зростання кількості електромобілів і, відповідно, зростання кількості інфраструктури для їх обслуговування, наприклад, зарядних станцій.

Розглянуто особливості заряджання акумуляторних батарей для електромобілів, визначено принципові відмінності двох способів - заряджання за допомогою змінного і постійного струмів, проаналізовано їхні переваги та недоліки.

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Типи зарядних станцій для електромобілів

Наразі набула широкого поширення мережа зарядних станцій для електромобілів у регіонах України. У зарядних станціях передбачено кілька типів зарядки для електромобілів:

Створення, розвиток і розширення мережі зарядних станцій для електромобілів входить до числа пріоритетних напрямків діяльності різних груп. Зарядні станції для легкового та легкого комерційного транспорту, поділяються за типами зарядних пристроїв:

- Зарядні стандартні станції (Mode 3 - повільне заряджання);
- Зарядні станції стандартів CHAdeMO та COMBO (Mode 4 - швидка зарядка) [2].

Тип mode 3 реалізовано двома способами:

- на змінному струмі, роз'єм Type 2 220V;
- на постійному струмі роз'єм CHAdeMO "A".

Система типу "A" має уставку обмеження в 500В постійного струму на виході, підходить як для заряду автомобілів, так і вантажівок. Загальна схема типу "A" показана на рисунку 2.1.

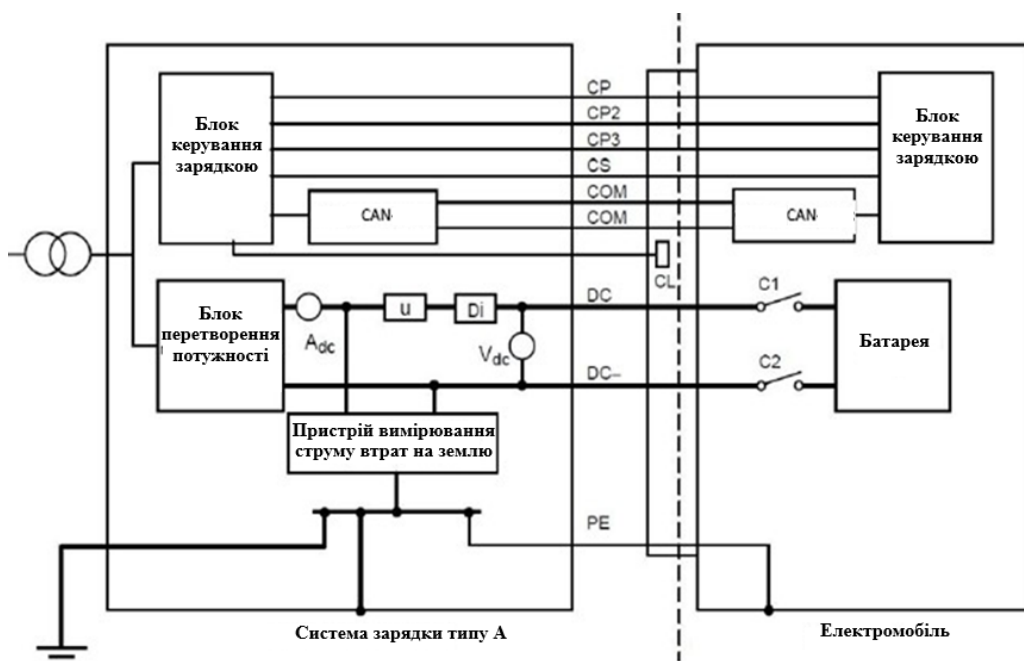


Рисунок 2.1 - Загальна схема типу "А"

Опис елементів схеми:

- Di - пристрій запобігання зворотного струму (наприклад, діод: катод на стороні електромобіля, анод на бічній стороні станції);
- Vdc - пристрій вимірювання напруги;
- Adc - пристрій вимірювання струму;
- U – пристрій захисту від короткого замикання (наприклад, запобіжник обмеження струму);
- C1, C2 – перемикач роз'єднання для електропередач постійного струму (контактори електромобіля);
- DC+, DC- - Джерело живлення постійного струму (позитивна і негативна клеми);
- PE - захисний провід між станцією та електромобілем для виявлення першого замикання на землю постійного струму;
- CL - з'єднувач-засувка - механізм блокування електромобіля. Контрольні сигнали:
 - CP, CP2 - контрольний сигнал, який показує стан заряду/зупинки станції;
 - CS – контрольний сигнал, який показує стан підключення роз'єму електромобіля;
 - CP3 – контрольний сигнал, який підтверджує, що електромобіль готовий до заряду;
 - COM1, COM2 - пара сигнальної лінії для цифрового зв'язку.

Така схема повинна мати такі захисти:

- захист від короткого замикання батареї електромобіля;
- захист контактора електромобіля;
- вимкнення пускового струму в ланцюзі електроавтомобіля;
- захист від перенапруги;
- скидання навантаження.

Тип Mode 4 роз'єм CCS "C" комбінований на вихідній напрузі до 1000В.

Загальна схема типу "C" показана на рисунку 2.2.

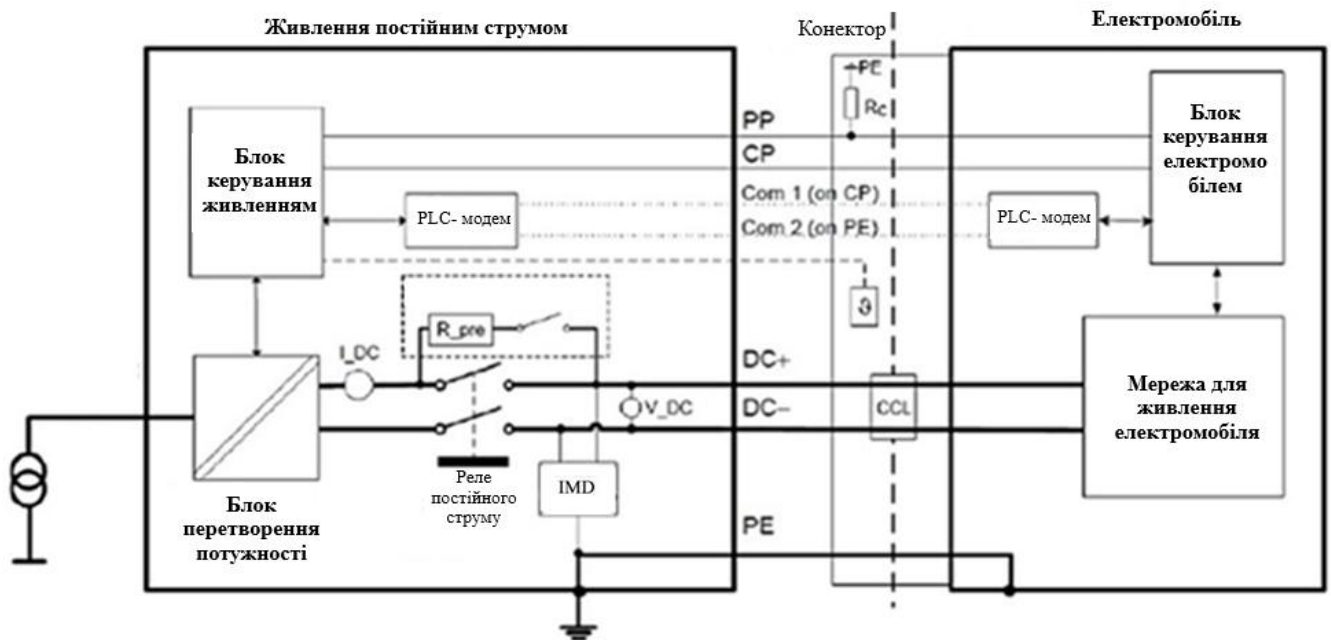


Рисунок 2.2 - Загальна схема типу "С"

Опис елементів схеми:

- V_DC - виміряна напруга на виході джерела живлення;
- I_DC - виміряний струм на виході джерела живлення (DC+/DC- або обидва залежно від налаштувань);
- Блок перетворення енергії – гальванічно ізольований силовий каскад;
- реле постійного струму - реле для підключення виходу джерела живлення постійного струму до блоку перетворення енергії;
- PLC-модем - інтерфейс обміну даними;
- блок контролю живлення - блок управління процесом заряду;
- DC+, DC- - Джерело живлення постійного струму (позитивна і негативна клема);
- PE - захисний провід між станцією та електромобілем для виявлення першого замикання на землю постійного струму.

Контрольні сигнали:

- COM1, COM2 - пара сигнальної лінії для цифрового зв'язку;
- CP – контрольний сигнал, який показує стан заряду/зупинки станції;
- CL - з'єднувач-засувка - механізм блокування електромобіля;

- контроль температури.

При використанні станцій типу "С" режим CCS (комбінована система заряду) для заряду постійним струмом має бути встановлений цифровий зв'язок (PLC), що зафіксує факт підключення електромобіля до зарядної станції.

Така схема повинна мати такі захисти:

- захист від перенапруги;
- захист від кидків постійного струму.

Для таких зарядних станцій споживана потужність у режимі заряду тип Mode 3 (повільне заряджання) становить не більше 22кВт; у режимі заряду тип Mode 4 (швидка зарядка) становить не більше 58кВт. Максимальний струм заряд становить 32А при 1 типі і 125А при 2 типі заряду.

Загальний вигляд зарядної станції показано на рисунку 2.3, а станція в розрізі - на рисунку 2.4.

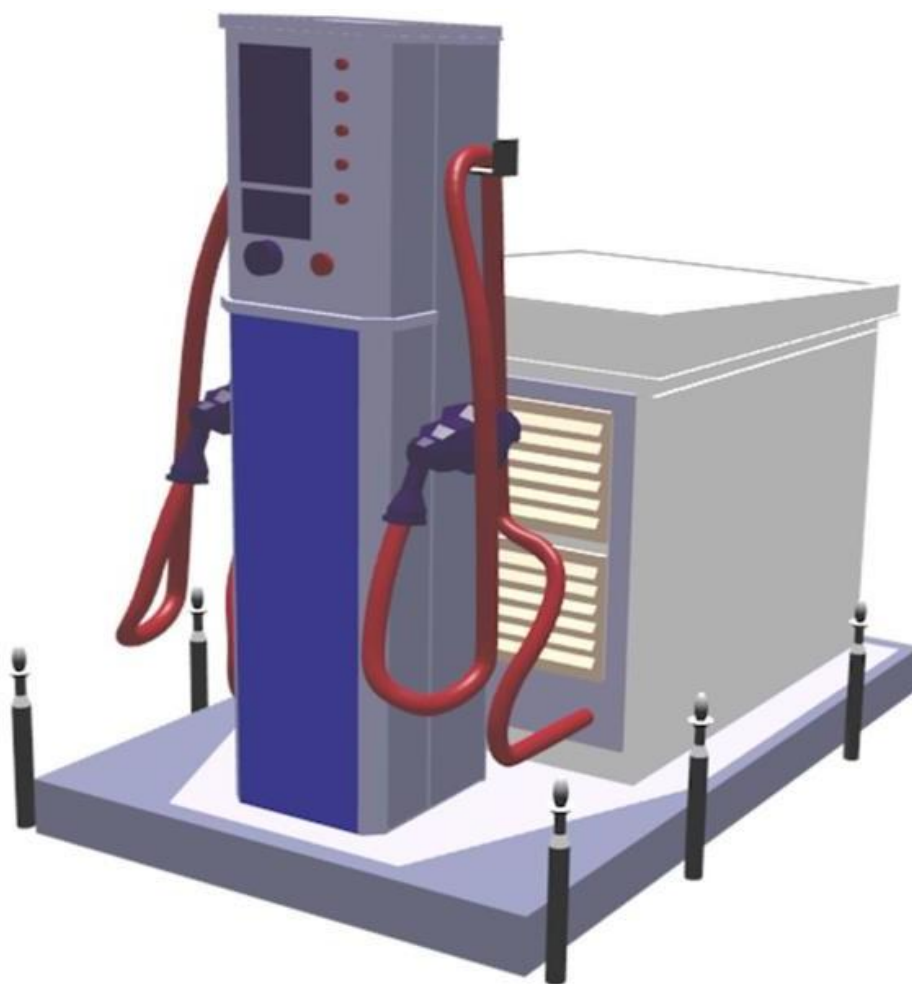


Рисунок 2.3 - Загальний вигляд зарядної станції

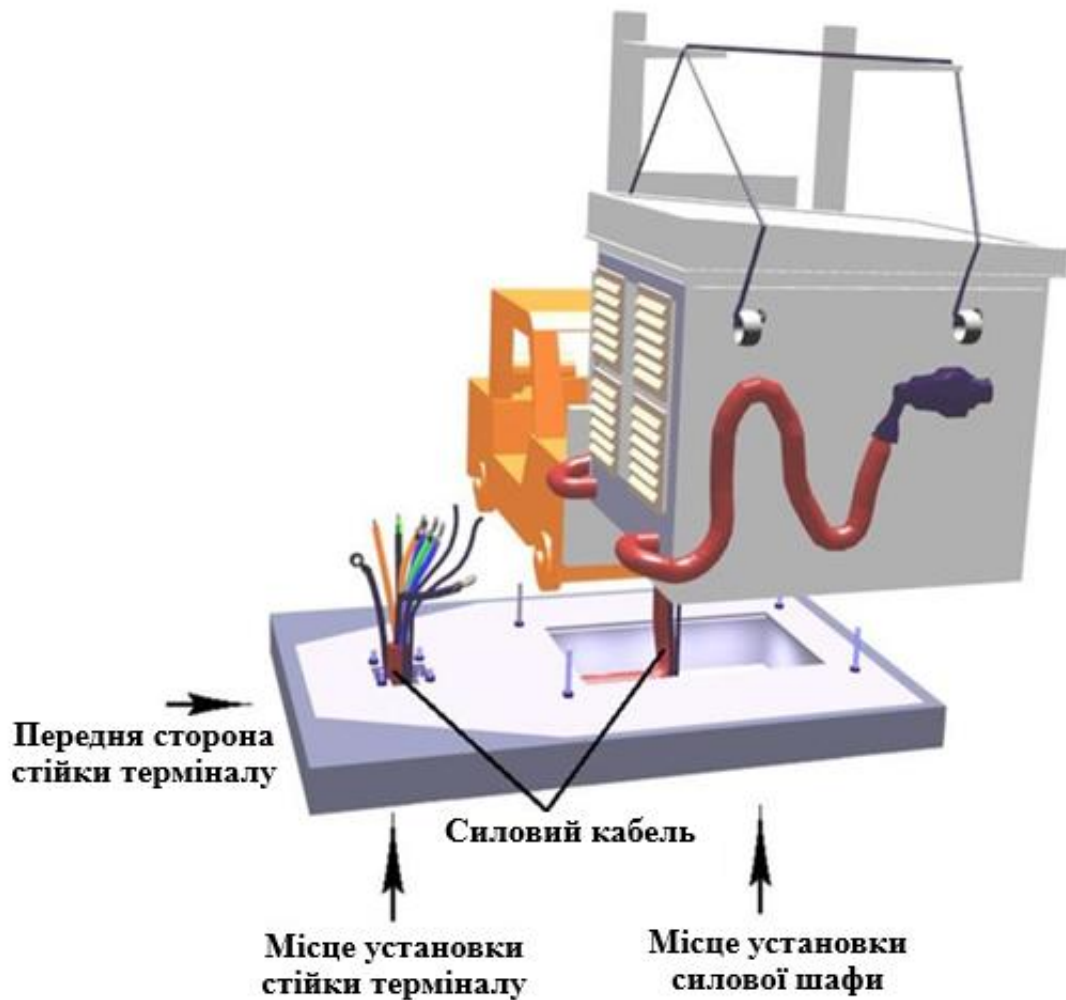


Рисунок 2.4 - Зарядна станція в розрізі

Зарядні станції постійного струму з можливістю швидкої зарядки можуть бути реалізовані або на тиристорних модулях, або на біполярних транзисторах з ізолюваним затвором (IGBT транзисторах).

Тиристори - це напівпровідникові пристрої, які забезпечують плавне керування потоком енергії та здатні працювати за високих температур. Вони також мають високу надійність і довговічність, що робить їх привабливим вибором для зарядних станцій електромобілів. Тиристори мають просту схему управління і малу кількість деталей, що полегшує їхнє технічне обслуговування.

З іншого боку, IGBT транзистори - це потужні транзистори, які характеризуються високою швидкістю перемикання та високою енергоефективністю. Вони часто використовуються для управління потужними

електромоторами і мають широкий спектр застосування в електронних пристроях. Однак, їхня складна схема керування та більша кількість деталей можуть зробити їх менш надійними та довговічними порівняно з тиристорами.

Короткий порівняльний аналіз двох технологій дає змогу виокремити кілька ключових переваг тиристорного модуля перед IGBT транзистором у контексті зарядних станцій для електромобілів. Однією з основних переваг є висока надійність і довговічність тиристорів, що забезпечує стабільну роботу зарядної станції протягом тривалого часу без необхідності частой заміни деталей. Це також дає змогу знизити витрати на технічне обслуговування і збільшити термін служби пристрою.

Іншою важливою перевагою тиристорів є простота схеми керування, що полегшує їхню інтеграцію в систему зарядної станції та зменшує ймовірність виникнення збоїв у роботі. Це спрощує процес експлуатації зарядної станції та збільшує зручність використання для кінцевих користувачів.

Крім того, тиристорний модуль має високу енергоефективність і здатний забезпечити швидке та ефективне заряджання електромобілів, що є важливим критерієм під час вибору зарядної станції. Завдяки своїй високій продуктивності, тиристори дають змогу скоротити час заряджання і забезпечити користувачеві швидкий доступ до зарядженого автомобіля.

Таким чином, порівняльний аналіз тиристорного модуля і IGBT-транзистора дає явну перевагу на користь першого в контексті зарядних станцій для електромобілів. Висока надійність, довговічність, простота управління та енергоефективність роблять тиристори оптимальним вибором для забезпечення стабільного та ефективного заряджання електромобілів.

2.2 Зовнішнє електропостачання зарядної станції

Зовнішнє електропостачання станції здійснюється від наявної трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ до силової шафи, від якої здійснюється безпосереднє підключення станції. Точка приєднання - шини РП-0,4 кВ ТП, підключення виконується кабельною лінією, прокладеною в землі. Згідно з ПУЕ,

"При прокладанні кабельних ліній безпосередньо в землі кабелі повинні прокладатися в траншеях і мати знизу підсипання, а зверху засипання шаром дрібної землі, що не містить каміння, будівельного сміття і шлаку. Глибина закладення кабельних ліній від планувальної відмітки має бути не менше 0,7 м; при перетині вулиць і площ незалежно від напруги. Що стосується захисту проєктованих кабельних ліній - "Кабелі на всьому протязі повинні бути захищені від механічних ушкоджень шляхом покриття плитами або глиняною звичайною цеглою в один шар поперек траси кабелів; під час риття траншеї землерийним механізмом із шириною фрези менш як 250 мм, а також для одного кабелю - уздовж траси кабельної лінії. Застосування силікатної, а також глиняної пустотілої або дірчастої цегли не допускається". Варто також зазначити, що "кабелі до 1 кВ повинні мати такий захист лише на ділянках, де ймовірні механічні пошкодження. Асфальтові покриття вулиць тощо розглядаються як місця, де розриття проводяться в рідкісних випадках. Для кабельних ліній до 20 кВ, крім ліній вище 1 кВ, що живлять електроприймачі I категорії, допускається в траншеях із кількістю кабельних ліній не більше двох застосовувати замість цегли сигнальні пластмасові стрічки.

Крім того, "кабелі необхідно укласти із запасом по довжині, достатнім для компенсації температурних деформацій кабелю і конструкцій", а також можливих зсувів шарів ґрунту.

Розрахуємо приблизний запас кабелю:

5%, що враховує вигини на кутах і поворотах, перепади відміток на кабельній трасі, петлі під час перетину потоків кабелів і виходу з траси до обладнання, будівельні відхилення від проєктних відміток, обходи частин будівельних конструкцій, які виступають, санітарно-технічних пристроїв та інших комунікацій;

3% відповідно до "Електротехнічні пристрої";

2% на оброблення. Разом 10% запасу.

Для електропостачання силової шафи для зарядної станції загальною потужністю 240 кВт застосуємо кабель марки ВББШв - це силовий броньований стрічками кабель, з мідною жилою, ізоляцією і захисним шлангом із ПВХ. Перетин кабелю визначимо виходячи з таких умов:

За умовами проходження тривало-допустимого струму: Розрахуємо максимальне значення робочого струму за формулою 2.1:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{240}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,85} = 408 \text{ A} \quad (2.1)$$

де P - активна потужність, кВт;

U - напруга, кВ;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності.

За умовами проходження тривало-допустимого струму підходять кабелі перетином 4х240 ($I_d=438 \text{ A}$). Попередній вибір - ВБбШв 4х240

Виконаємо перевірку перетину кабелю за термічною стійкістю до струмів КЗ за формулою 2.2:

$$S = \frac{I_{\text{КЗ}} \cdot t}{C} = \frac{4400 \cdot 0,3}{94} = 14 \text{ мм} \quad (2.2)$$

де $I_{\text{КЗ}}$ - струм КЗ, за даними замовника $I_{\text{КЗ}}=4,4 \text{ кА}$;

t - час спрацьовування основного захисту, $t=0,3 \text{ с}$;

C - постійна часу, що залежить від виду ізоляції та матеріалу жил кабелю, для кабелю ВБбШв $C=94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{мм}^2$.

Найближчий перетин - 25 мм. Попередній вибір - ВБбШв 4х25.

Також, згідно з ПУЕ, "Перетини провідників мають бути перевірені за економічною щільністю струму. Економічно доцільний переріз S , мм^2 , визначається зі співвідношення за формулою 2.3:

$$S = \frac{I_p}{J_{\text{ек}}} = \frac{408}{2,5} = 163,2 \text{ мм}^2 \quad (2.3)$$

де $J_{\text{ек}}$ - економічна густина струму, в розглянутому випадку

$$J_{ек} = 2,5 \text{ А/мм}^2.$$

Найближчий перетин - 185 мм. Попередній вибір - ВБбШв 4х185.

Порівнявши значення, виберемо найбільше. Попередній вибір - ВБбШв 4х240.

Виконаємо перевірку на незагоряння. Необхідні розрахункові параметри:

Значення початкової температури жили до КЗ визначимо за формулою 2.4:

$$\Theta_n = \Theta_0 + (\Theta_d - \Theta_{окр}) \left(\frac{I_p}{I_d} \right)^2 = 15 + (60 - 15) \left(\frac{408}{438} \right)^2 = 54^\circ \text{C} \quad (2.4)$$

де Θ_0 - фактична температура навколишнього середовища під час КЗ $\Theta_0 = 15^\circ \text{C}$;

Θ_d - значення розрахункової тривалої допустимої температури жили кабелю, $\Theta_d = 70^\circ \text{C}$;

$\Theta_{окр}$ - значення розрахункової температури навколишнього середовища, $\Theta_{окр} = 15^\circ \text{C}$;

I_p - значення струму в кабелі перед КЗ.

Тепловий імпульс від струму КЗ визначимо за формулою 2.5:

$$B_{тер} = I_{КЗ} (t + T_{ае}) + (0,3 \cdot I_{КЗ} + I_{поч} + 0,1 \cdot I_{поч}) \cdot t = 4,4(0,3 + 0,1) + (0,3 \cdot 4,4 + 0 + 0) \cdot 0,3 = 2,056 \text{ с} \quad (2.5)$$

де $I_{КЗ}$ - струм КЗ, за даними замовника $I_{КЗ} = 4,4 \text{ кА}$;

t - час спрацьовування захисту, $t = 0,3 \text{ с}$;

$T_{ае}$ - еквівалентна постійна часу загасання аперіодичної складової струму КЗ від віддалених джерел, $T_{ае} = 0,02 \text{ с}$ для мережі 0,4 кВ.

$I_{поч}$ - початкове значення періодичної складової струму підживлення від асинхронних електродвигунів. У розглянутому випадку $I_{поч} = 0 \text{ кА}$.

Температура жили безпосередньо після КЗ визначається за формулою 2.6:

$$\Theta_k = \Theta_n \cdot e^k + a \cdot (e^k - 1) \quad (2.6)$$

де $a = 228,00 \text{ } ^\circ\text{C}$ - величина, зворотня температурному коефіцієнту електричного опору при $0 \text{ } ^\circ\text{C}$,

k - коефіцієнт теплового імпульсу,

$$k = \frac{b \cdot B_{\text{тер}}}{S}$$

де b - постійна, що характеризує теплофізичні характеристики матеріалу жили кабелю. Для міді $b = 19,58 \text{ мм}^4/(\text{кА}^2 \text{ с})$

S - перетин жили кабелю.

Виконаємо перевірку за втратами напруги за формулою 2.7.

$$\Delta U = \frac{P \cdot L}{k \cdot S} = \frac{240 \cdot 200}{72 \cdot 240} = 2,78\% \quad (2.7)$$

де L - довжина лінії, у розглянутому випадку $L = 200 \text{ м}$;

k - коефіцієнт, що враховує матеріал провідника, у випадку, що розглядається, $k=72$;

S - перетин жили кабелю, у випадку, що розглядається, $S = 240 \text{ мм}^2$.

Кабелі ВБбШв:

Придатний для прокладання без обмеження різниці рівнів по трасі прокладання, зокрема на вертикальних ділянках.

Застосовуються для експлуатації в електричних мережах змінної напруги із заземленою або ізольованою нейтраллю, у яких тривалість роботи в режимі однофазного короткого замикання на землю не перевищує 8 годин, а загальна тривалість роботи в режимі однофазного короткого замикання на землю не перевищує 125 годин на рік.

Найближчими альтернативами обраному кабелю є аналогічні кабелі з алюмінієвими жилами (АВБбШв) і кабель в ізоляції із зшитого поліетилену з мідними та алюмінієвими жилами. Вибір мідних жил зумовлений більшим

значенням тривало допустимих струмів за меншого перетину кабелю. Що стосується кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену, незважаючи на той факт, що вони володіють ще більшими значеннями тривало допустимих струмів і вищою надійністю в експлуатації, від них також вирішено відмовитися під час реалізації проєкту електропостачання зарядної станції через високу вартість будівництва, недостатній досвід в експлуатації такого типу кабелів, неготовність оперативного обслуговування в сучасних реаліях, а також через наявність струмів в екранах кабелів, які за своїми значеннями дуже близькі до струмів, що протікають в струмопровідній лінії.

З розгляду так само виключено кабелі з паперовою просоченою ізоляцією. За нижчої вартості, у них є низка істотних недоліків: висока пошкоджувальність, обмеження за навантажувальною здатністю, обмеження за різницею рівнів прокладання, низька технологічність монтажу муфт.

Перейдемо до розгляду силової шафи - вона являє собою металевий корпус в антивандальному виконанні ступенем захисту не нижче IP54.

Силова шафа обладнана апаратами захисту - автоматичними вимикачами. До встановлення прийнято вимикачі ETI EB2 630/3LF 630A 3р (36кА). У шафі також розміщуються вузли комерційного обліку електричної енергії (прилади обліку з трансформаторами струму).

Вибір часострумової характеристики типу В зумовлений тим, що в лінії немає високих пускових струмів, наявність яких призводила б до хибних спрацьовувань апаратів, водночас такі пристрої мають високу чутливість - електромагнітний розчеплювач спрацьовує під час перевищення номінального струму на 200%, а час на спрацьовування становить 0,015 сек. Спрацьовування біметалічної пластини займає 4-5 сек. Порівняння часострумових характеристик показано на рисунку 2.5.

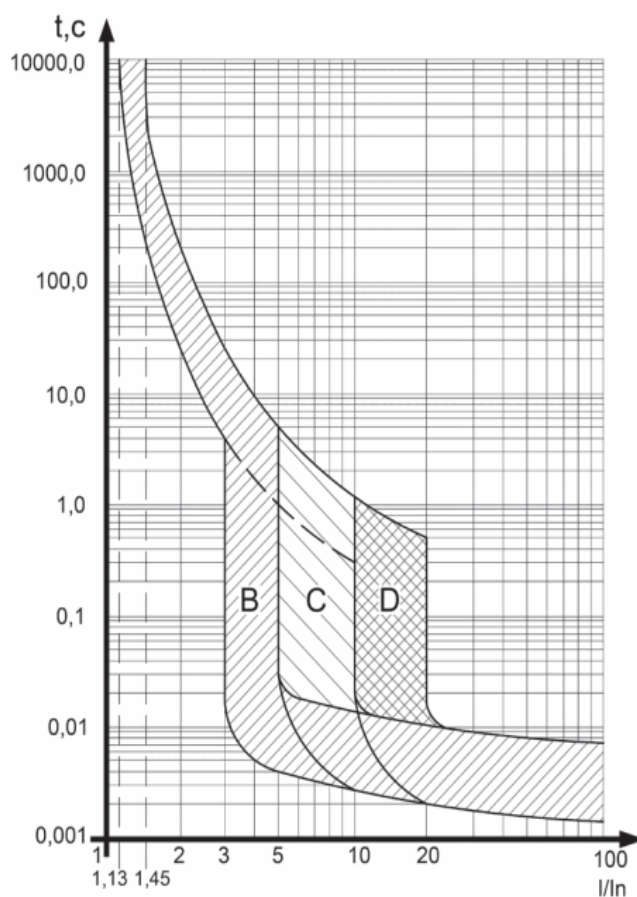


Рисунок 2.5 - Порівняння часоштових характеристик автоматичного вимикача

Для швидкого переведення навантаження на резервне живлення в разі виникнення аварійної ситуації необхідно передбачити блок автоматичного введення резерву, який обрано блок автоматичного введення резерву ETI LBS CO 4P 400.

Блок автоматичного введення резерву складається з декількох функціональних пристроїв, які здійснюють вимір параметрів мережі, порівняння їх з необхідними уставками і видачу керуючих сигналів за допомогою релейних контактів.

Як самостійний пристрій БАВР містить корпус, виготовлений із негорючого термопластичного матеріалу, розміщені всередині нього друковані плати з електронними компонентами та кріпильні елементи.

Органи управління та індикації розміщені на лицьовій панелі, а роз'єми для підключення зовнішніх пристроїв розміщені на комутаційних панелях.

Однолінійна схема електропостачання показана на рисунку 2.6.

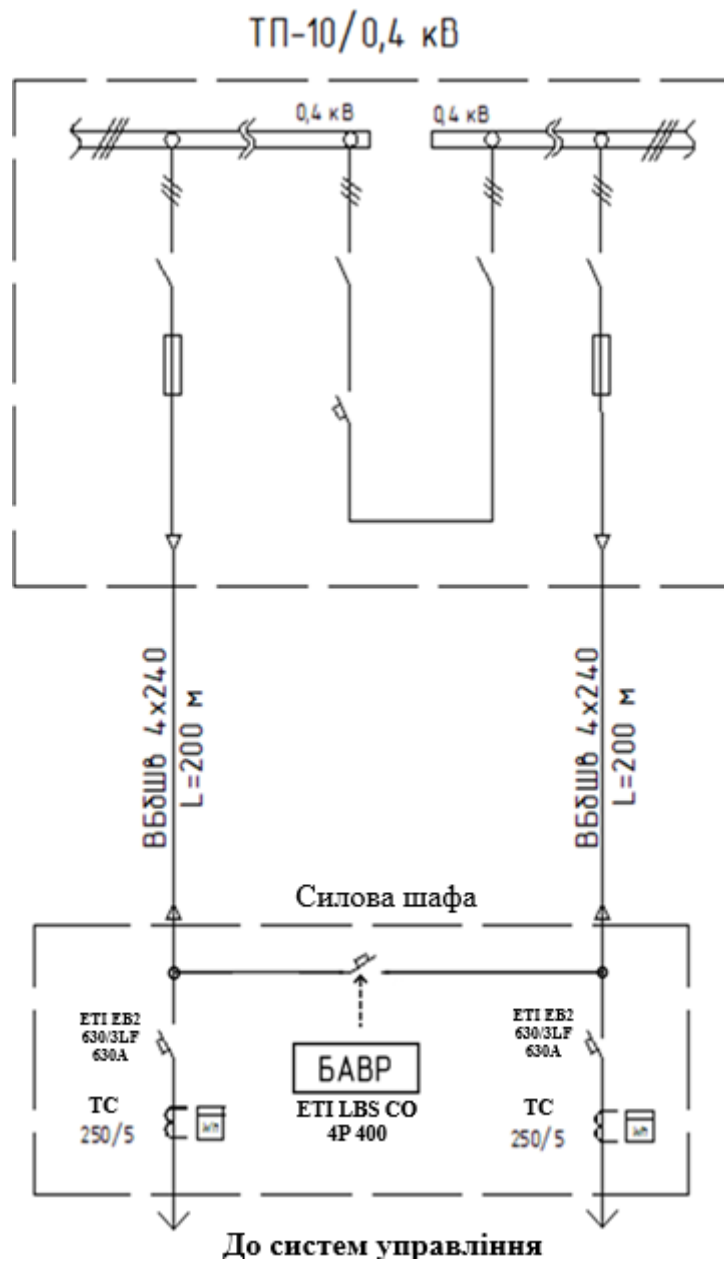


Рисунок 2.6 - Принципова однолінійна схема електропостачання

Додатково, силова шафа має бути обладнана додатковими захистами від несанкціонованого доступу.

Захисне реле PILZ PNOZ s4 24VDC, яке показано на рисунку 2.7, служить для контролю аварійної зупинки і захисних огорожень. Іншими словами, за допомогою цього пристрою відбувається аварійне вимкнення приєднань у разі несанкціонованого доступу в силову шафу.



Рисунок 2.7 - Захисне реле PILZ PNOZ s4

У парі із захисним реле працює і захисний датчик, що працює за технологією FID (англ. Radio Frequency IDentification, радіочастотна ідентифікація) - спосіб автоматичної ідентифікації об'єктів, у якому за допомогою радіосигналів зчитують або записують дані, що зберігаються в так званих транспондерах (або RFID-мітках).

2.5 Висновки до розділу

У другому розділі для проєктованої станції потужністю 240 кВт визначено схему зовнішнього електропостачання станції - від наявної трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ до силової шафи, від якої здійснюється безпосереднє підключення станції.

Зроблено вибір обладнання для мережі зовнішнього електропостачання. Все вибране обладнання відображено на принциповій однолінійній схемі електропостачання зарядної станції. Крім того, передбачено посилений захист силової шафи від несанкціонованого доступу на базі захисного реле і RFID-ключа марки PILZ.

3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обладнання та компоненти зарядної станції

Типова зарядна станція для електромобілів складається з:

- модуля управління HMI,
- RFID-зчитувача для контролю доступу,
- лічильника електричної енергії,
- менеджера навантаження,
- конектора для підключення зарядних кабелів,
- силових компонентів.

Концепція автомобільної зарядної станції показана на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 - Концепція автомобільної зарядної станції

Типова зарядна станція містить кілька ключових вузлів, які забезпечують її ефективну і надійну роботу. Розглянемо детально кожен компонент, який використовується в роботі.

Модуль управління HMI (Human-Machine Interface, людино-машинний інтерфейс) - інтерфейс між оператором і зарядною станцією. Модуль надає

оператору можливість контролювати і керувати станцією, відображаючи інформацію про зарядні процеси, поточний статус станції, доступні опції та інші параметри. НМІ забезпечує зручність використання і дає змогу оператору легко маніпулювати функціями зарядної станції, наприклад визначати необхідну кількість енергії для заряджання.

RFID-зчитувач (радіочастотна ідентифікація) є важливим компонентом зарядної станції, що використовується для контролю доступу. Він дає змогу ідентифікувати й автоматично розпізнавати користувачів, ґрунтуючись на RFID-мітках або картах, що забезпечує безпеку використання станції та запобігає несанкціонованому доступу.

Лічильник електричної енергії необхідний для вимірювання та обліку енергоспоживання зарядної станції. Він відстежує кількість споживаної енергії під час заряджання автомобілів і забезпечує точні дані про витрати електроенергії. За допомогою таких даних можна контролювати витрати на енергію, оптимізувати використання ресурсів і проводити аналіз енергоефективності зарядної станції. Також за допомогою лічильника розраховується вартість зарядки для користувача.

Наступний компонент - менеджер навантаження, він керує і балансує навантаження на зарядній станції. Також він визначає, які автомобілі мають пріоритет у заряджанні, ґрунтуючись на різних факторах, таких як доступність потужності, пріоритетні завдання та інші фактори. Менеджер навантаження гарантує оптимальне використання ресурсів і запобігає перевантаженню електромережі.

Конектор для під'єднання зарядних кабелів є фізичним інтерфейсом, який дає змогу під'єднувати електромобілі до зарядної станції. Конектори зазвичай відповідають різним стандартам зарядки, таким як CCS (Combined Charging System), CHAdeMO або Type 2. Вони забезпечують надійне та безпечне з'єднання між автомобілем і зарядною станцією.

Під час вибору виробника компонентів для розроблюваної зарядної станції обрано Siemens. Siemens відомий своєю високою якістю і надійністю продукції в галузі автоматизації та галузі автоматизації і енергетичного обладнання.

Модульність компонентів Siemens дає змогу легко розв'язувати інтеграційні питання та збирати конфігурацію точно під потреби клієнта. Завдяки високому рівню функціональності, гнучкості та надійності продукції Siemens забезпечується ефективна та безпечна робота зарядної станції.

Провівши аналіз каталогу компонентів і модулів, вирішено використовувати такі компоненти.

Як головний модуль обрано SIMATIC ET 200SP. Він зображений на рисунку 3.2. Це інтелектуальний контролер, розроблений компанією Siemens, спеціально для використання в зарядних станціях електромобілів. Він надає гнучку та ефективну платформу для програмування та автоматизації роботи зарядної станції, підтримує розробку програмного забезпечення з використанням стандартних мов програмування, таких як SCL, LAD, FBD та STL, що забезпечує гнучкість та зручність у роботі. Контролер має вбудований ECC TM (Energy Control Center Traffic Management), який забезпечує ефективне управління енергією та дає змогу балансувати навантаження зарядної станції. Він також забезпечує безпеку операцій заряджання, запобігаючи перевантаженню та невідповідності електричних параметрів.



Рисунок 3.2 - Головний модуль керування Siemens

Як модуль управління НМІ обрано SIMATIC HMI Comfort Panel. Візуально він представлений на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 - Панель керування Siemens

SIMATIC HMI Comfort Panel - це перспективна серія панелей операторів для вирішення широкого кола завдань людино-машинного інтерфейсу. Відсутність обертових частин, невелика монтажна глибина, висока стійкість до вібраційних і ударних, а також електромагнітних впливів дають змогу використовувати панелі цієї серії в жорстких промислових умовах, успішно розв'язувати задачі оперативного керування та моніторингу на рівні виробничих машин і установок. Панелі Comfort мають стандартне промислове виконання і фронтальну частину корпусу з класом захисту IP65.

Як RFID-зчитувач обрано RF1060R. RFID-зчитувач Simatic RF1060R - це високотехнологічний пристрій, призначений для читання і запису інформації з використанням технології радіочастотної ідентифікації (RFID). Цей зчитувач може працювати з RFID-мітками, заснованими на стандартах ISO 15693 та ISO 14443A/B. RF1060R має високу продуктивність і забезпечує швидку і точну ідентифікацію міток RFID. Апарат показано на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 - Зчитувач міток RF1060R

В якості лічильника електричної енергії безпосередньо зарядної станції обрано SM 1238 Energy Meter - це сучасний пристрій, призначений для точного вимірювання електроенергії у системах змінного струму. Пристрій показано на рисунку 3.5. Він пропонує широкий діапазон вимірюваних параметрів, включно з активною та реактивною потужністю, напругою, струмом, частотою та багато іншого. Цей лічильник має компактний і міцний корпус, який забезпечує захист від зовнішніх впливів і довгий термін служби пристрою.



Рисунок 3.5 - Лічильник електричної енергії SM 1238 Energy Meter

Оскільки розрахунковий (комерційний облік) лічильник встановлено на межі балансової належності та експлуатаційної відповідальності, цей лічильник вважатимемо вузлом технічного обліку електроенергії.

Як менеджер навантаження обрано SIMATIC Energy Suite - це програмне забезпечення, розроблене компанією Siemens, яке надає потужні інструменти для управління енергоспоживанням та оптимізації енергоефективності в промислових системах.

Це програмне забезпечення дає змогу користувачам моніторити, аналізувати й обробляти дані про споживання енергії в режимі реального часу. Воно надає детальну інформацію про енергетичні потоки, а також дає змогу відстежувати параметри, як-от активна та реактивна потужність, напруга, струм і багато іншого.

SIMATIC Energy Suite забезпечує можливість створення гнучких звітів і дашбордів, а його інтерфейс показано на рисунку 3.6.

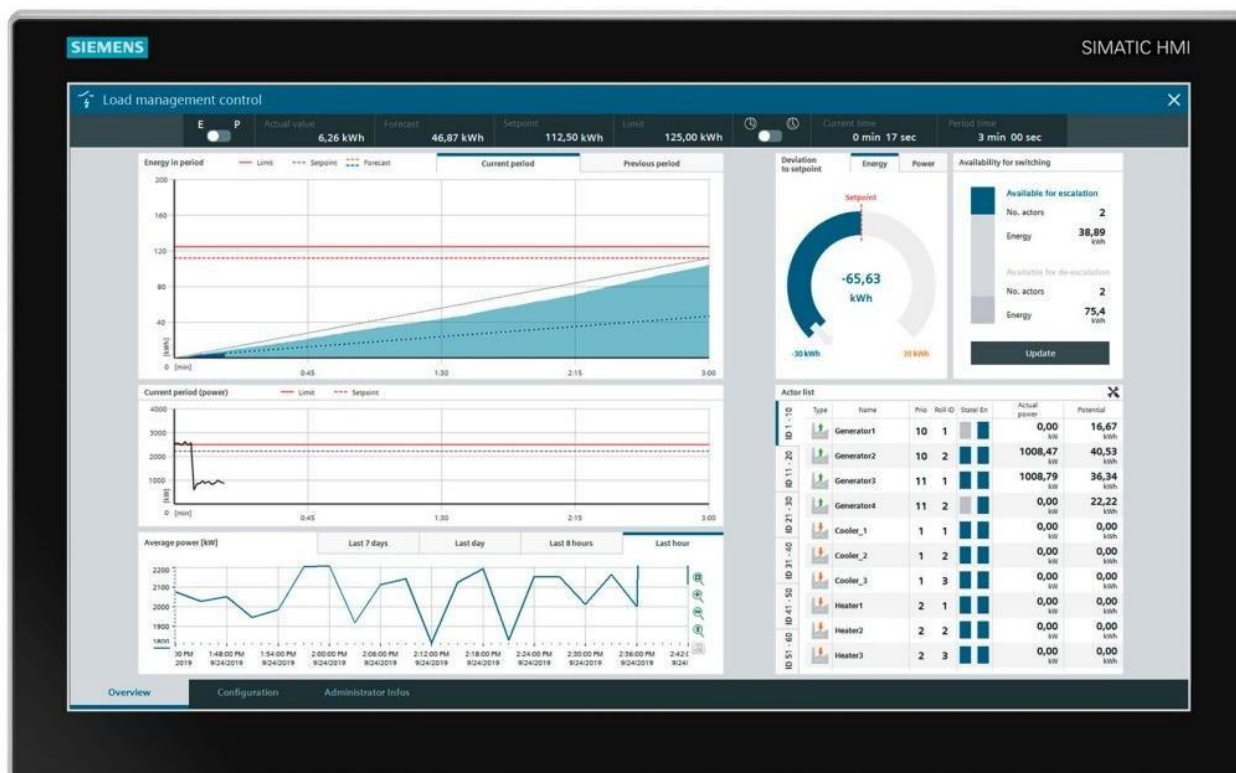


Рисунок 3.6 - Програмне забезпечення SIMATIC Energy Suite

Конектор для підключення може бути будь-яким, і його вибір залежить від автопарку використовуваних автомобілів. Крім керуючих компонентів, для роботи автомобільної зарядної станції потрібні силові компоненти - розглянемо їх докладніше. Як було сказано раніше, замість архітектури на тиристорах або біполярних транзисторах з ізольованим затвором як перетворювач розглядається двонаправлений перетворювач DC/DC. Для цих цілей обраний SINAMICS DCP - спеціальний двонаправлений перетворювач постійного струму DC/DC зі зниженням і підвищенням напруги. Призначений для систем резервного живлення з акумуляторами, систем альтернативної енергетики (наприклад, сонячних електростанцій) і систем заряду електромобілів. Він показаний на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 - Перетворювач струму Siemens

Основні характеристики: 120 кВт, 200 А при 600 В, зміна напруги від 30 В DC - 800 В DC. Для станції з номінальною потужністю 240 кВт пропонується використовувати 7 модулів DCP по 120 кВт кожен. Це пов'язано з особливостями станції, яка має більші можливості по силовій частині та може працювати на вихідну напругу до 920 В.

Модулі DCP можуть працювати паралельно на навантаження, що дає змогу гнучко підключати необхідну потужність. Однак, при підвищенні напруги вихідна потужність блоку DCP падає. Наприклад, за напруги 1000 Вольт вихідна потужність буде нульовою. Використання семи модулів DCP з потужністю 120 кВт кожен забезпечує достатню гнучкість і надійність для роботи станції з високими вимогами. Це дає змогу працювати з напругою до 920 В і забезпечує надійність роботи за різних умов мережі. Таким чином, вибір 7 модулів DCP відповідає специфікації преміум-станції з можливістю роботи на високій напрузі до 920 В і забезпечує надійність і гнучкість у роботі з потужним навантаженням.

Схематично структуру автомобільної зарядної станції зобразимо на рисунку 3.8, а базову архітектуру на рисунку 3.9.

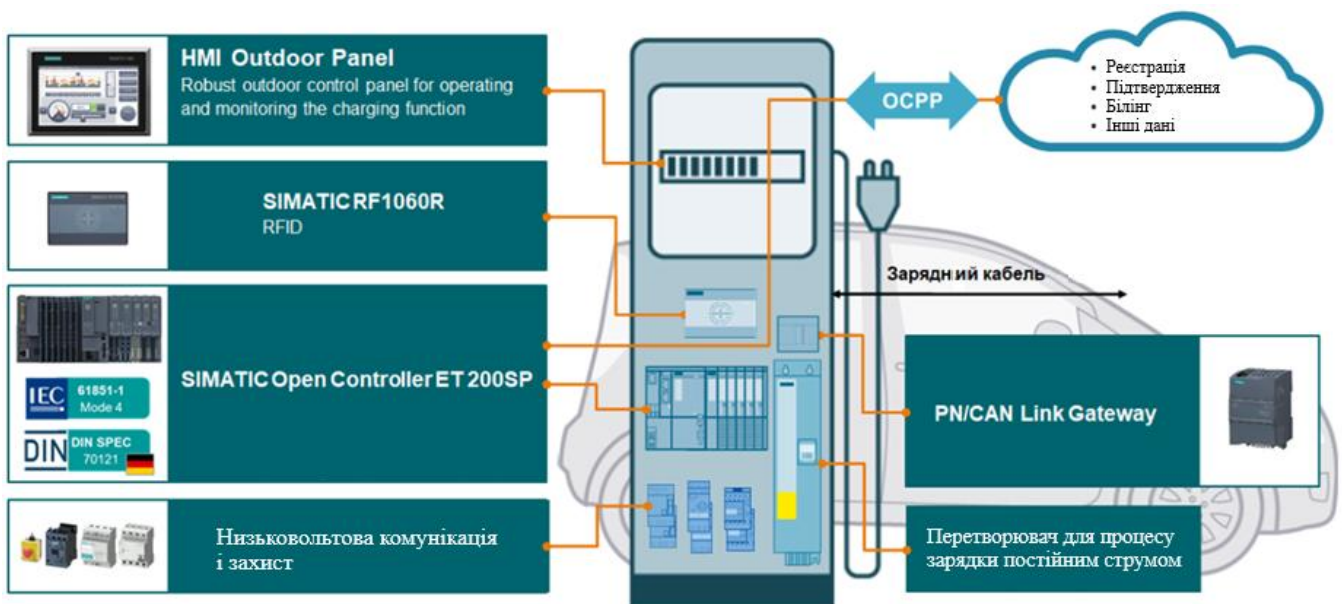


Рисунок 3.8 - Структура зарядної станції

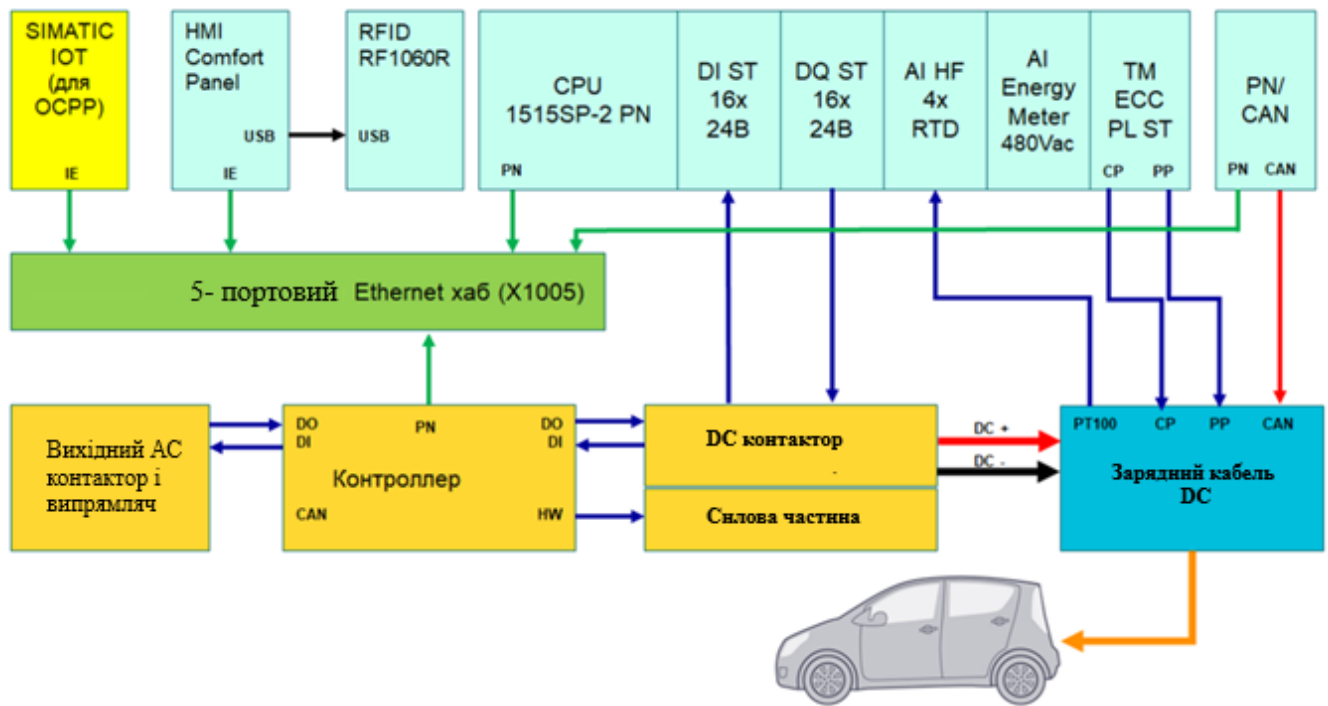


Рисунок 3.9 - Базова архітектура зарядної станції

Представлена базова архітектура зарядної станції постійного струму показує структуру основних компонентів та їхні базові взаємозв'язки для зарядної станції.

Тут необхідно зазначити, що зарядна станція може мати різні доповнення та функціональність, тому структура може бути розширена та доповнена різними іншими компонентами.

3.2 Додаткове обладнання для зарядної станції

Функціонування зарядної станції неможливе без допоміжного обладнання:

- система охолодження та обігріву;
- зарядний пістолет.

3.2.1. Система охолодження

Системи кондиціонування зарядних станцій для електромобілів відіграють важливу роль у забезпеченні надійної роботи і тривалого терміну служби зарядної інфраструктури. Одним з ефективних і надійних пристроїв для кондиціонування зарядних станцій є кондиціонер Теха EGO12BT1B.

Кондиціонер Теха EGO12BT1B являє собою високотехнологічний пристрій, спеціально розроблений для забезпечення оптимальної роботи обладнання в широкому діапазоні температурних умов. Він володіє просунутими функціями і можливостями, які роблять його ідеальним вибором для використання в зарядних станціях електромобілів.

Однією з ключових переваг кондиціонера Теха EGO12BT1B є його надійність і довговічність. Завдяки високоякісним матеріалам і компонентам, а також ретельному контролю якості виробництва, цей кондиціонер забезпечує безперервну і стабільну роботу навіть за екстремальних умов експлуатації. Це дає змогу знизити ймовірність виходу обладнання з ладу і збільшити його термін служби.

Ще одним важливим плюсом кондиціонера Теха EGO12BT1B є його ефективність. Пристрій оснащений інтелектуальною системою управління, яка автоматично регулює роботу кондиціонера залежно від змін зовнішніх умов. Це дає змогу оптимізувати енергоспоживання та знизити експлуатаційні витрати, що є важливим і практичним рішенням для власників зарядних станцій.

Крім того, кондиціонер Теха EGO12BT1B пропонує широкий спектр функцій і можливостей, які забезпечують повний захист обладнання від зовнішніх впливів. Він має захист від пилу і вологи, а також здатний працювати в умовах високої вологості і температури. Це забезпечує надійний захист від корозії та зносу, що подовжує термін служби обладнання.

Кондиціонер Теха EGO12BT1B також вирізняється простотою встановлення та обслуговування. Завдяки компактним розмірам і легкій конструкції, його можна встановити на будь-який тип зарядної станції без необхідності проведення додаткових модифікацій. Крім того, пристрій не потребує спеціальної обслуговуючої команди і може легко бути налаштований і налаштований вручну.

3.2.2. Система обігріву

Нарівні з системами кондиціонування, важлива роль відводиться і системам обігріву. Для встановлення прийнято компактний нагрівач з вентилятором PFHT 750

- це надійний і компактний пристрій, здатний забезпечити ефективний обігрів зарядних станцій навіть при екстремальних температурах.

Завдяки високій потужності і точному регулюванню температури, нагрівач PFHT 750 забезпечує швидкий і рівномірний нагрів.

зарядних пристроїв, що дає змогу обладнанню зберігати працездатність у будь-яких погодних умовах.

Однією з ключових переваг нагрівача PFHT 750 є його компактний розмір, який дає змогу встановити пристрій навіть у найобмеженіших просторах. Це особливо важливо для зарядних станцій, які часто розташовуються на відкритих майданчиках або в умовах обмеженого простору.

Нагрівач PFHT 750 має високий ступінь захисту від пилу і вологи, що робить його ідеальним вибором для використання в будь-яких кліматичних умовах. Завдяки спеціальному корпусу зі стійкого до негативних зовнішніх впливів матеріалу, нагрівач PFHT 750 надійно захищає обладнання від вологи, бруду та інших негативних впливів.

Іншою важливою перевагою нагрівача PFHT 750 є його висока енергоефективність. Пристрій споживає мінімум електроенергії, що дає змогу істотно скоротити експлуатаційні витрати зарядних станцій і підвищити загальну ефективність роботи системи.

Завдяки простий і інтуїтивно зрозумілій системі управління, нагрівач PFHT 750 легко налаштовується і змінює температурні параметри відповідно до вимог користувача. Користувацький інтерфейс обладнання інтуїтивно зрозумілий навіть для недосвідчених користувачів, що спрощує процес налаштування та обслуговування пристрою. Одним з основних варіантів застосувань нагрівача PFHT 750 є обігрів зарядних станцій, встановлених на відкритих майданчиках або в умовах низьких температур. У таких умовах зарядні пристрої можуть швидко охолоджуватися і втрачати ефективність, що може призвести до зниження швидкості заряджання електромобілів і збільшення часу їхнього простою. Нагрівач PFHT 750 допомагає уникнути подібних проблем, забезпечуючи стабільну й ефективну роботу зарядних пристроїв у будь-яких умовах.

3.2.3. Зарядний кабель

Зарядний пістолет дає змогу під'єднати електромобіль до зарядної станції. Зарядні пістолети зазвичай оснащені різними механізмами захисту від перевантажень і коротких замикань, що забезпечує безпеку під час заряджання.

Також спеціальний зарядний пістолет може мати різноманітні функції та можливості, такі як регулювання потужності зарядки, відображення рівня заряду акумулятора та інші корисні опції.

Для розглянутої станції виберемо пістолет стандарту CHAdeMO, 200 А, 4 м. Ескіз роз'єму CHAdeMO показано на рисунку 3.10.

CHAdeMO



Рисунок 3.10 - Ескіз роз'єму CHAdeMO

Крім того, необхідно обладнати її ще двома конекторами: GB/T і CCS2.

Китайський стандарт зарядки електромобілів Gb/T має такі характеристики: максимальна пропускна потужність Gb/T - 900 кВт/год при струмі 600 А і напрузі 1,4 кВ. З такими характеристиками він може за 15 хвилин підзарядити транспорт до 80%. За таким протоколом може реалізовуватися зарядка як змінним струмом (повільна зарядка), так і постійним струмом (швидка зарядка).

Для розглянутої станції виберемо пістолет стандарту GB/T, 200 А, 5 м. Ескіз роз'єму GB/T показано на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 - Ескізи роз'ємів GB/T Ліворуч - для постійного струму, праворуч - для змінного

Роз'єм оснащений потрібною системою блокування, яка запобігає випадковому відключенню від машини під час підзарядки.

З цими роз'ємами сумісні виключно електромобілі та гібриди, які зроблені для Китаю. Серед них: Tesla Model 3, S і X; Chevrolet Volt, Mitsubishi OUTLANDER PHEV, Nissan Leaf, Renault Zoe, Hyundai Kona, Chery eQ EV, Volkswagen e-Golf та інші електрокари.

Третій роз'єм проектованої станції - CSS2. Зазвичай, зарядні станції обладнані парою роз'ємів CSS2 в Gb/T, для видового розмаїття роз'ємів у розглянутій проектованій станції, що розглядається, приймемо цю пару до встановлення.

CCS2 на даний момент є найсучаснішим і найшвидшим стандартом зарядки машини. CCS2 підтримує максимальну вихідну потужність до 350 кВт. Повністю розряджену батарею електромобіля можна зарядити до 80 % ємності протягом 30 хвилин, максимальна напруга - 1000 В, струм - 250 А.

Для розглянутої станції виберемо пістолет стандарту CCS2, 200 А, 5 м. Ескіз роз'єму CCS2 показано на рисунку 3.12.

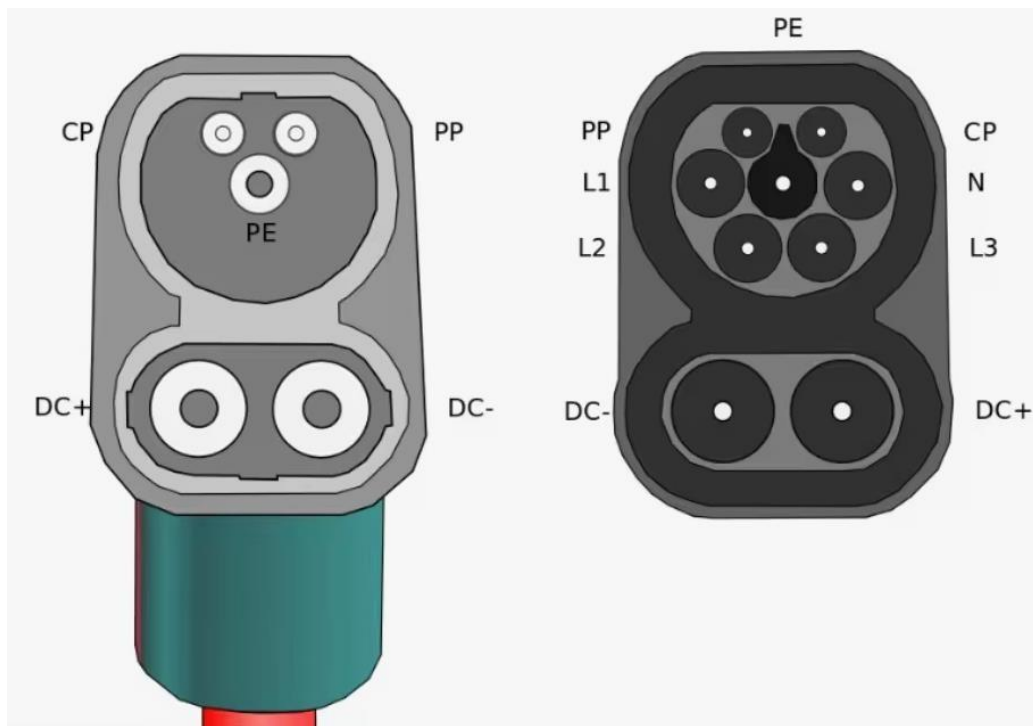


Рисунок 3.12 - Ескіз роз'єму CSS2

Вибір зарядних кабелів із такими характеристиками довжини і струму обґрунтований кількома факторами:

Це дає змогу значно скоротити час заряджання автомобіля. Що вищий струм заряду, то швидше відбувається заряд акумулятора.

Максимальний струм зарядки 200-250 А забезпечує ефективну зарядку батареї з великою ємністю. Сучасні електромобілі мають дедалі більш ємні батареї, і для швидкої та ефективної зарядки їм необхідні потужні зарядні пристрої.

Довжина кабелю 4-5 м також має значення при виборі зарядного пістолета. Вона забезпечує зручність під час під'єднання автомобіля до зарядної станції, даючи змогу водієві маневрувати біля автомобіля та обирати найзручніше положення. Крім того, достатня довжина кабелю дає змогу уникнути необхідності паркувати автомобіль занадто близько до зарядної станції, що зручно в разі обмеженого простору.

Таким чином, вибір спеціальних зарядних пістолетів зі струмом 200-250 А і довжиною кабелю 4-5 м обґрунтовано не тільки потребою у швидкому та ефективному заряджанні електромобілів, а й зручністю використання для водія. Це дає змогу скоротити час заряджання, забезпечити ефективне заповнення батареї та зручне підключення до зарядної станції.

3.3 Загальна сума витрат на запуск зарядної станції

Виходячи з вище викладеного, на фінальну вартість запуску терміналу швидкої зарядки електромобілів впливає безліч чинників.

Зведемо витрати у відомість, показану в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Зведена відомість витрат

Стаття витрат	Відсоток від вартості проекту
Обладнання для зовнішнього електропостачання	1,63
Устаткування зарядного терміналу, :	82,23
Комутаційне обладнання	0,89
Обладнання системи управління	2,53
Обладнання силової частини	73,86
Додаткове обладнання	3,31
Технологічне приєднання до електричних мережам	17,37
Проектні роботи	0,40
Разом за проектом	100

Для наочності розподілу вартості проекту наведемо діаграму на рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 - Розподіл вартості проекту зарядної станції

3.4 Висновки до розділу

У третьому розділі визначено склад ключових вузлів станції, які забезпечують її ефективну і надійну роботу, це модуль управління НМІ, лічильник електричної енергії, менеджер навантаження, конектор для підключення зарядних кабелів, силові компоненти.

Також вибрано і додаткове обладнання зарядної станції: системи кондиціонування та обігріву, зарядні кабелі 3 стандартів для різноманітності можливих автомобілів, які можна підключити.

На заключному етапі отримано структурну схему і показано базову архітектуру зарядної станції.

Розглянуто техніко-економічні показники пропонованого проекту електропостачання зарядної станції електромобілів.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Техніка безпеки при експлуатації електрообладнання та електромереж

До обслуговування електрообладнання допускаються особи не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань, що заважають виконанню робіт, що отримали вступний і первинний інструктажі на робочому місці, виробниче навчання, перевірку знань.

Електромонтер повинен знати схему електропостачання об'єктів виробництва, повинен мати навички прийомів технічних методів обслуговування електроустановок. Він забезпечується усіма засобами індивідуального захисту та спецодягом. Інструменти і засоби захисту повинні бути випробувані, справні та використовуються за призначенням [15].

При експлуатації діючих електроустановок застосовують електрозахисті засоби та запобіжні пристосування. Ручне включення і відключення устаткування напругою понад 1000 В необхідно виконувати в діелектричних рукавичках, колошах або на килимку. Відключення виконують таким чином: відключають роз'єднувачі, знімають плавкі вставки запобіжників, від'єднують привод мережі. Після вивішування плаката перевіряють відсутність напруги на відключеній ділянці мережі. В оперативному журналі роблять запис про відключення. Включення проводять тільки після відмітки в журналі про закінчення робіт із зазначенням відповідальної особи.

Безпека виконання забезпечується також організаційними заходами. До них відноситься оформлення роботи нарядів, оформлення допуску до роботи, нагляд під час виконання роботи.

Наряд є письмовим дозволом на роботу в електроустановках, що визначає місце, час, початок і закінчення робіт; умови безпечного його

проведення, склад бригади та осіб, відповідальних за безпеку. Без наряду по усному чи письмовому розпорядженню, але з обов'язковим записом в журналі можуть виконуватися такі роботи, як прибирання приміщень до огороження електрообладнання, чистка кожухів, доливка масла в підшипники, догляд за

колекторами, контактними кільцями, щітками, заміна запобіжників. При роботі з електроустановками напругою до 1000 В без зняття напруги необхідно: захистити розташовані поблизу робочого місця інші струмовідні частини, що знаходяться під напругою, до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричних калошах або стоячи на ізолюючій підставці, або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент з ізолюючими рукоятками (у викруток, крім того, повинен бути ізольований стрижень), за відсутності такого інструменту користуватися діелектричними рукавичками.

При виконанні робіт без зняття напруги на струмовідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукоятки до обмежувального кільця; розташовувати ізолюючі частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмоведучими частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

При виявленні порушення лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними має бути негайно припинене.

Щозмінні огляди електрообладнання та мереж повинен проводити черговий електрик. При огляді слід звертати увагу на наступне: відсутність змін стану електрообладнання при його функціонуванні; ступінь корозії, фарбування труб, кріпильних елементів; справність введів проводів та кабелів в електроустановку; справність заземлюючих пристроїв; наявність попереджувальних плакатів та знаків маркування на вибухонебезпечному електрообладнанні; наявність всіх передбачених конструкцією болтів, що кріплять елементи оболонки (вони повинні бути добре затягнуті); потрапляння на електрообладнання бризок, крапель і пилу.

При виявленні ненормальної роботи силового трансформатора черговий електрик повинен вивести його з роботи з обов'язковим дотриманням усіх заходів особистої безпеки, використовуючи необхідні засоби індивідуального

захисту. Таке відключення проводиться при: сильному нерівномірному шумі і потріскуванні всередині трансформатора; ненормальному і постійно зростаючому нагріванні трансформатора при номінальному навантаженні і роботі пристроїв охолодження; викид масла з розширювача або розриві діафрагми вихлопної труби; течі масла з пониженням його рівня нижче мінімально допустимого.

При цьому робиться запис в оперативному журналі і повідомляється відповідальному за електрогосподарство.

Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів і правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів вимагають проводити регулярні огляди та ремонт електромереж, а також вимірювання опору та ізоляції.

4.2 Дослідження стійкості роботи у надзвичайних ситуаціях підприємств електротехнічної та світлотехнічної галузі

Під стійкістю роботи об'єктів електротехнічної і світлотехнічної галузі розуміють його спроможність в умовах надзвичайної ситуації випускати продукцію в запланованому обсязі та номенклатурі, а при отриманні середніх руйнувань або порушенні зв'язків з кооперації та поставок відновлювати виробництво у мінімальні терміни.

Під стійкістю роботи об'єктів, які безпосередньо не виробляють матеріальні цінності розуміють їх спроможність виконувати свої функції в умовах НС.

На стійкість роботи об'єктів електротехнічної та світлотехнічної галузі в умовах НС впливають наступні фактори:

- надійність захисту робітників та службовців;
- спроможність інженерно-технічного комплексу об'єкта протистояти у визначеному ступеню уражаючих факторів стихійного лиха, аварій, катастроф та сучасних видів зброї;
- захищеність об'єкта від вторинних уражаючих факторів (пожеж, вибухів, зараження отруйними речовинами);

– надійність системи забезпечення об'єкта всім необхідним для виробництва (сировиною, паливом, комплектуючими вузлами і деталями, електроенергією, водою, газом та іншим);

– стійкість та безперервність керування виробництвом та ЦО;

– підготовленість об'єкта до ведення РіНР та робіт щодо порушеного виробництва.

Захист робітників та службовців досягається чотирма основними способами:

– укриття людей в захисних спорудах;

– проведення евакозаходів;

– радіаційно-хімічний захист;

– медичний і біологічний захист.

Надійно захистити виробничий персонал об'єкта можливо лише при комплексному використанні усіх основних способів захисту.

Захист виробничих фондів полягає у підвищенні протидії будинків, споруд і конструкції об'єкта до уражаючих факторів та захисті технологічного обладнання, верстатів, систем і комунікацій та інших засобів, що формують основу виробничого процесу.

Створення надійних систем електро-, водо- та теплозабезпечення об'єктів:

а) підвищення стійкості електрозабезпечення:

– розподіл схеми електромереж на незалежно працюючі частини;

– закілювання електромереж та підключення їх до декількох джерел енергозабезпечення;

– створення резерву дизельних електростанцій;

б) підвищення стійкості систем водопостачання:

– водопостачання від двох незалежних джерел, одне з яких підземне;

– захист вододжерел та резервуарів чистої води;

– створення обвідних (байпасних) ліній навколо водонапірних веж;

в) підвищення стійкості систем газу, тепло- та паливо- забезпечення:

– розподільні газопроводи робити підземними та передбачати їх кільцювання;

– газорозподільні станції та опорні пункти обвідних газопроводів передбачати в підземному варіанті;

– встановлювати в основних вузлових точках систем автоматичні вимикаючі пристрої, які спрацьовують при аваріях.

Підвищення протипожежної стійкості:

- максимальне скорочення запасів палива та вибухонебезпечних речовин;
- проведення профілактичних протипожежних заходів;
- підготовка сил і засобів пожежогасіння.

Створення стійкості системи матеріально-технічного постачання. На об'єктах електротехнічної і світлотехнічної галузі створюють запаси сировини, палива, комплектуючих вузлів і деталей, обладнання, які дозволяють продовжувати роботу на випадок дезорганізації постачання.

Створення стійкості системи керування:

- підготовка ПУ (захищених);
- забезпечення ПУ засобами зв'язку;
- використання автоматизованої системи керування. Підготовка до прискореного (негайного) відновлення порушеного виробництва;
- розробка необхідної технічної та технологічної документації;
- створення запасів матеріальних засобів для встановлення робіт;
- розробка розрахунків сил і засобів для відновлюючих робіт;
- визначення вірогідної черговості робіт по відновленню виробництва з урахуванням наявних ресурсів та місцевих умов.

Крім того, на стійкість роботи підприємств електротехнічної та світлотехнічної галузі буде впливати наявність підготовленої робочої сили.

Підвищення надійності та оперативності керування виробництвом:

- створення на об'єкті стійкої системи зв'язку;
- висока підготовка керівного складу;
- своєчасне прийняття вірних рішень та постановка завдань підлеглим у відповідності до обстановки, що склалася.

Підвищення стійкості роботи об'єкта електротехнічної та світлотехнічної галузі досягається завчасним проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних та організаційних заходів, які спрямовані на максимальне зниження дії уражаючих факторів і створення умов для ліквідації наслідків НС.

Інженерно-технічні заходи – це комплекс робіт, що забезпечують підвищення стійкості виробничих будинків і споруд, обладнання, комунально-енергетичних систем.

Технологічні заходи забезпечують підвищення стійкості роботи об'єкті шляхом зміни технологічного процесу, що сприяє спрощенню виробництва продукції та усуває можливість виникнення вторинних уражаючих факторів.

Організаційні заходи передбачають розробку і планування дій керівного командно-начальницького складу штабу, служб і формування ЦО при захисті робітників і службовців, проведенні РіНР, відновленні виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі детально розглянуто чинники, що призводять до зростання кількості електромобілів і, відповідно, зростання кількості інфраструктури для їх обслуговування, наприклад, зарядних станцій.

Розглянуто особливості заряджання акумуляторних батарей для електромобілів, визначено принципові відмінності двох способів - заряджання за допомогою змінного і постійного струмів, проаналізовано їхні переваги та недоліки. Отримано структурну схему і показано базову архітектуру зарядної станції.

Представлено схему зовнішнього електропостачання станції - від наявної трансформаторної підстанції ТП-10/0,4 кВ до силової шафи, від якої здійснюється безпосереднє підключення, для проєктованої станції потужністю 240 кВт.

Зроблено вибір обладнання для мережі зовнішнього електропостачання. Все вибране обладнання відображено на принциповій однолінійній схемі електропостачання зарядної станції. Крім того, передбачено посилений захист силової шафи від несанкціонованого доступу на базі захисного реле і RFID-ключа марки PILZ.

Визначено склад ключових вузлів станції, які забезпечують її ефективну і надійну роботу, це модуль управління HMI, лічильник електричної енергії, менеджер навантаження, конектор для підключення зарядних кабелів, силові компоненти.

Також вибрано і додаткове обладнання зарядної станції: системи кондиціонування та обігріву, зарядні кабелі 3 стандартів для різноманітності можливих автомобілів, які можна підключити.

На заключному етапі розглянуто техніко-економічні показники пропонованого проєкту електропостачання зарядної станції: проєктована станція - ультра-премійум класу, для швидкого заряджання електромобілів у зонах високого автомобільного трафіку. Розглянутий варіант на компонентах марки Siemens не можна назвати бюджетним, але він має високу технічну гнучкість і масштабованість, а головне - є одним із найнадійніших і довгий час буде актуальним.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mahmood, A. Ismail, A. Zaman, H. Fakhar, Z. Najam, M. S. Hassan, S. H. Ahmed. 2014. A Comparative Study of Wireless Power Transmission Technique. J. Basic and Applied Science Scientific Research, 4.321-326.
2. F. Musavi, M. Edington, W. Eberle. 2012. Wireless power transfer: A survey of EV battery charging technologies, IEEE Conf. on Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 1804-1810.
3. K. Lee, W. X. Zhong, S. Y. R Hui. 2012. Recent progress in mid-range wireless power transfer, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 3819-3824.
4. Brown, W.C. 1984. The history of power transmission by radio waves. IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 32 .1230-1242.
5. X. Wei, Z. Wang, H. Dai. 2014. A Critical Review of Wireless Power Transfer via Strong Coupled Magnetic Resonances, J. Energies, 7. 4316-4341.
6. William C. Brown. 1996. The history of wireless power transmission. Solar Energy. 56(1), 3-21.
7. S. D. Jarvis, J. Mukherjee, M. Peren, S. Sweeney, Development and characterisation of laser power converters for optical power transfer applications, 2014 IET Optoelectronics, 64-70.
8. G. A. Covic and J. T. Boys. 2013. Inductive Power Transfer, IEEE Proceeding, 101(6), 1276-1289.
9. D.M. Vilathgamuwa and J.P.K. Sampath. 2015. Wireless Power Transfer (WPT) for Electric Vehicles (EVs)-Present and Future Trends, Springer Science and Business Media, Singapore, 33-60.
10. S. Deilami, Masoum, A. S. Moses, P. S, and Masoum M. A. S. 2011. Real time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improves voltage profile, IEEE Transactions on Smart Grids, 456-467.

11. Wu. H. H., Gilchrist. A., Sealy. K., Israelsen. P., Muhs. Jeff. 2001. A Review on inductive charging for electrical vehicle. Electric Machines and Drives Conferences. IEEE International, pp. 143-147.
12. Малушенко, А. С., Горват, М. Б., & Коваль, В. П. (2023). Перспектива зарядки електромобілів від відновлювальних джерел енергії. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 225-225.
13. Левчук, П. П., & Коваль, В. П. (2020). Зарядка електричних транспортних засобів на основі безпроводної передачі енергії. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2, 117-117.
14. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.
15. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський) / укл. : О. Я. Гурик , І. Б. Окіджний. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.