

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Рожанський Максим Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента(ки)

На здобуття другого (магістерського) ступеня вищої освіти

Проект мережі електропостачання для побутових та господарських потреб
приватного підприємства

Назва теми

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електропобутова техніка

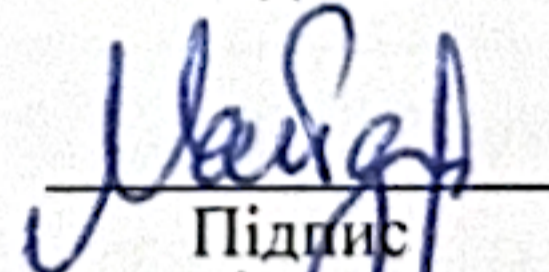
Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент(ка) 2 курсу група ЕТМ-23-1
Шифр


Підпис

Максим РОЖАНСЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доцент
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

Павло МАЙДАН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер ст. викладач
Посада


Підпис

Сергій ПУНДИК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри МАЕЕС

Назва


Підпис

Віталій НЕЙМАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

17.12.2024
Дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

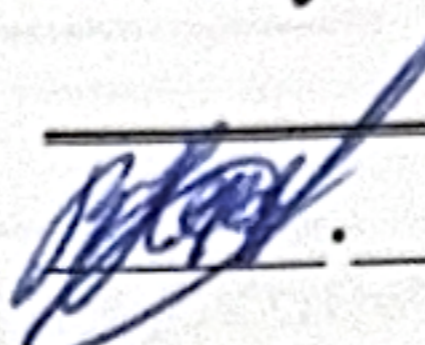
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

Неймак В.С.

 12 .20 24 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Рожанський Максим Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Проект мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства

Керівник роботи Майдан Павло Сергійович, канд. техн. наук, доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи електричні та енергетичні характеристики обладнання

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

Вступ. Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Розроблення проєкту мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Розрахунки, що підтверджують працездатність мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Лічильник прямого ввімкнення марки E230 конфігурація ZMR110CRefRS (ДІ, А1). Визначення струмів короткого замикання (РР, А1). 3. Захисне обладнання для підстанції (С5, А1). 4. Розташування цехів приватного підприємства (С7, А1) 5. Розташування обладнання на приватному підприємстві (С5, А1) 6. Проект мережі для приватного підприємства (Е5, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

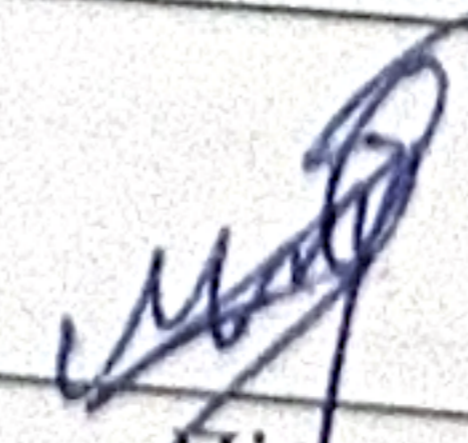
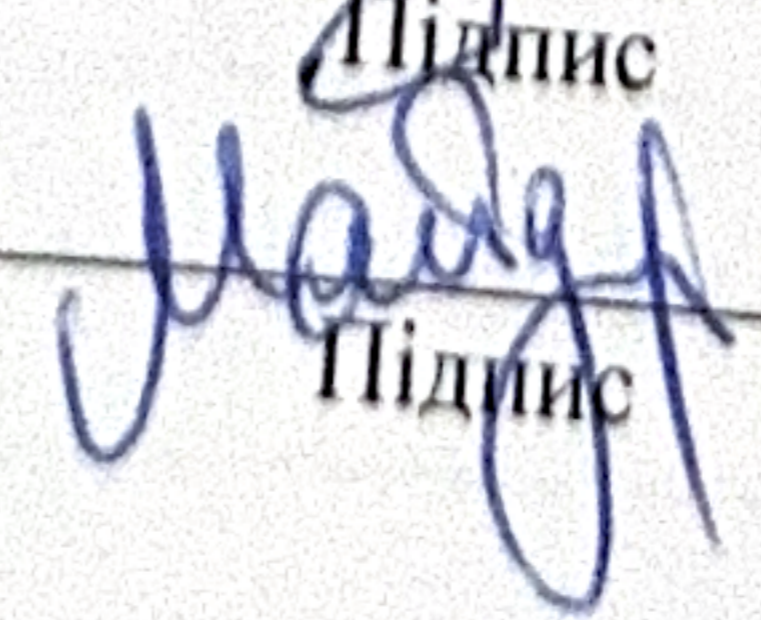
7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства		
2. Розроблення проекту мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства		
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства		
4. Оформлення пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи		
5. Оформлення графічного матеріалу		

Студент(ка)

Керівник роботи


Підпис

Підпис

Максим РОЖАНСЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Павло МАЙДАН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електропобутова техніка

АНОТАЦІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Рожанський Максим Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

Тема роботи Проект мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства


1. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____

2. Обсяг магістерської роботи: креслень 6 арк, сторінок записки 74

3. Характеристика розділів пояснювальної записки:

В першому розділі виконано огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Проведено визначення електричних навантажень цехів та приватного підприємства. В другому розділі розроблено проект мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Визначена селективність релейного захисту мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Виконано проектування релейного захисту кабельної лінії 10 кВ та захисту силового трансформатора. В третьому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Розраховано електропостачання інструментального цеху, сили струмів виникаючого короткого замикання, установку компенсації реактивної потужності та захисну і комутаційну апаратуру для електропостачання приватного підприємства.

Підпис студента _____

" 17 " 12 20 24 р. 

Р І Ш Е Н Н Я Е К ЗА М Е Н А Ц І Й Н О Ї К О М І С І І:

Протокол 3 від 25 12 20 24 р.

Оцінка роботи ЕК добре/с

Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____


Підпис

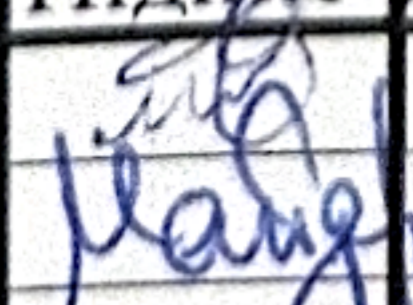
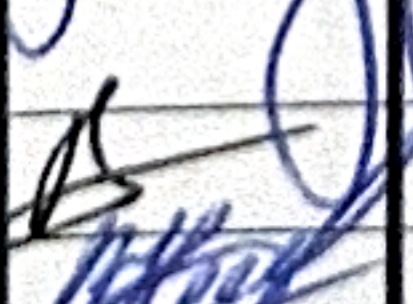


Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

" 25 " 12 20 24 р.

Зміст

	с.
Вступ	6
1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства	8
1.1 Огляд та аналіз проєкту приватного підприємства	8
1.2 Визначення електричних навантажень цехів та приватного підприємства	11
Висновки до розділу	27
2 Розроблення проєкту мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства	28
2.1 Визначення селективності релейного захисту мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства	28
2.2 Проєктування релейного захисту кабельної лінії 10 кВ	31
2.3 Проєктування системи захисту силового трансформатора	37
Висновки до розділу	49
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства	50
3.1 Розрахунок електропостачання інструментального цеху	50
3.2 Розрахунок сил струмів виникаючого короткого замикання	57
3.3 Розрахунок компенсації реактивної потужності	61

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Рожанський М			Проект мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Майдан П.С.				М	4	74
Н.контр.		Пундик С.І.			ХНУ гр. ЕТМ-23-1			
Затвер.		Неймак В.С.						

3.4 Розрахунок захисної та комутаційної апаратури	66
Висновки до розділу	72
Висновки	73
Перелік джерел посилань	74
Додатки	

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Завдання електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства виникло майже одночасно із широким упровадженням електроприводу в якості рушійної сили для різних механізмів і машин і, звичайно, із спорудженням електричних станцій.

Розвиток і ускладнення структури систем електропостачання (СЕП), зростаючі вимоги до економічності й надійності роботи встановленого обладнання в сполученні зі структурою, що змінюється, та характером споживачів електроенергії, широке впровадження спеціалізованих пристроїв керування розподілом і споживанням електроенергії на базі сучасної обчислювальної техніки диктують необхідність модернізувати промислову електроенергетику.

Виникає необхідність створення економічних, надійних СЕП для побутових та господарських потреб приватного підприємства таких як освітлення, автоматизованих систем керування електроприводами і технологічними процесами (АСУТП); впровадження мікропроцесорної техніки, електричного і вакуумного захисного електрообладнання, нових комплектних перетворювальних пристроїв.

СЕП, зазвичай, називають сукупність взаємопов'язаних електроустановок, призначених для виробництва, транспортування і розподілу виробленої електроенергії.

СЕП для побутових та господарських потреб приватного підприємства створюють для забезпечення живлення електроенергією промислових приймачів електричної енергії, до яких відносять різноманітні електродвигуни різних механізмів і машин, машини і апарати для електричного зварювання, електролізні установки, електричні печі, освітлювальні установки та інші промислові приймачі електроенергії.

У міру розвитку електроспоживання, ускладнюються і СЕП для побутових та господарських потреб приватного підприємства. До них відносять мережі

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

високого рівня напруги, розподільні мережі, а в деяких випадках і мережі промислових ТЕЦ. Нині створено методи розрахунку і проєктування цехових мереж, методику визначення електричних навантажень, вибору потужності трансформаторів, вибору рівня напруги, поперечних перетинів кабелів тощо.

Результати кваліфікаційної роботи магістра були представлені та високо оцінені на науковій студентській конференції кафедри машин та апаратів, електромеханічних та енергетичних систем у 2024 році. На основі виконаної роботи було підготовлено тези у Збірник наукових праць «Технічна творчість» №9, 2024р. (див. додаток Б).

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7

1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства

1.1 Огляд та аналіз проєкту приватного підприємства

Проєктований приватне підприємство призначене для випуску різних електродвигунів постійної і змінної сили струму, генераторів та електричного обладнання спеціального призначення.

Жодне із сучасних виробництв під час випуску будь-якої продукції не може обійтися без використання в технологічних процесах електродвигунів (обробні верстати, різного роду приводи, крани, вентилятори тощо) [1-4].

На території приватного підприємства повинні бути розташовані інструментальний корпус, адміністративні та допоміжні приміщення, і корпус для виготовлення електродвигунів спеціального призначення. Усі споживачі електроенергії проєкту приватного підприємства належать за надійністю електропостачання до II та III категорії.

СЕП проєкту приватного підприємства повинна характеризуватись достатньо рівним графіком навантаження, тобто нормальним режимом з невеликими добовими коливаннями навантаження.

Приватне підприємство є споживачем електроенергії досить середньої потужності зі встановленим рівнем потужності не більше 21 МВт. Встановлені потужності цехів приватного підприємства представлені в табл. А.1. (див. Додаток А).

Перерва в подачі електроенергії, зазвичай, призводить до недовипуску продукції без небезпеки пошкодження устаткування та безпосередньої загрози персоналу. Завданням даної кваліфікаційної роботи є розробка надійної СЕП для побутових та господарських потреб приватного підприємства.

Для нормальної роботи приватного підприємства необхідно спочатку

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

забезпечити виробництво первинною сировиною, в даному випадку, металом, комплектувальними виробами. Структура проекту приватного підприємства [5, 6]:

Комплекс управління - призначений для розміщення адміністративно-управлінського персоналу. Основне обладнання - обчислювальна техніка та кондиціонери в канцелярії, бухгалтерії тощо, розміщене заземлене обладнання. Даний споживач відноситься до II категорії.

Механічний цех – використовується для виготовлення базових вузлів для машин. Основне встановлене обладнання: металообробні верстати різної потужності універсального призначення. Навколишнє середовище в цеху нормальне, підлога бетонна, забруднена металевою стружкою. Перерва в електропостачанні механічного цеху не буде призводити до порушення виробничого процесу і до недовідпуску готової продукції, отже, відноситься до споживачів II категорії.

Ділянка кінцевої обробки валів – встановлене обладнання для виконання спеціальних процесів на валах роторів і статорів електродвигунів. Встановлені установка пікоструминного оброблення, установка плазмового напилення, обладнання для шліфування, балансування і спеціальних контролів валів. Навколишнє середовище на ділянці заповишене, підлога бетонна. Перерва в електропостачанні призведе до простою встановленого обладнання та працівників. Споживач відноситься до II категорії.

Складальний цех - виконується складання готової продукції. Основне встановлене обладнання - зварювальні апарати, кран балки, використовується заземлене обладнання. Навколишнє середовище в складальному цеху нормальне, підлога бетонна. Порушення електропостачання призводить до простою фахівців. Споживач відноситься до II категорії.

Ремонтний цех - виконується ремонт та профілактика основного та допоміжного обладнання, встановлене заземлене обладнання. Навколишнє середовище сухе в цеху, підлога бетонна. Споживач відноситься до III категорії.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Обмотувальний цех – виконується виготовлення обмотки із мідного та алюмінієвого дроту. Основне встановлене обладнання – верстати для виготовлення клинів, спеціальні намотувальні верстати, гільйотинні ножиці для різання ізоляційних матеріалів, паяльний і зварювальний інструмент для з'єднання проводів обмоток. Навколишнє середовище в обмотувальному цеху нормальне, підлога бетонна. Споживач відноситься до II категорії.

Штамповочний цех - виконується попередня обробка металевих заготовок. Основне встановлене обладнання - преси, гільйотини, установки плазмового різання, встановлене заземлене обладнання. Навколишнє середовище в цеху нормальне, підлога бетонна. Споживач відноситься до III категорії.

Інструментальний цех - виконується виготовлення та ремонт спеціальних штампів та різних різців металорізальних верстатів. Основне встановлене обладнання - заточувальні верстати, металообробні верстати універсального призначення, встановлене заземлене обладнання. Навколишнє середовище в цеху нормальне, підлога бетонна та забруднена металевою стружкою. Перерва в електропостачанні призведе до простою встановленого обладнання та працівників. Споживач відноситься до II категорії.

Електричний цех - виконується ремонт електрообладнання, встановленого на приватному підприємстві (перемотування електродвигунів, електромагнітних муфт тощо). Навколишнє середовище в цеху нормальне, підлога бетонна. Споживач відноситься до II категорії.

Заготівельний цех - виконується попередня обробка готових металевих заготовок. Основне встановлене обладнання - преси, гільйотини, установки плазмового різання, фрезерні та свердлильні верстати. Навколишнє середовище в цеху нормальне, підлога бетонна. Споживач відноситься до II категорії.

Склади - використовуються для зберігання матеріалів та комплектуючих виробів для продукції, що випускається приватним підприємством. Основне встановлене обладнання - мостові крани, кран-балки, встановлене заземлене обладнання. Споживач відноситься до II категорії.

					<i>MPMA 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Виробничий корпус - складається, як правило, з трьох основних ділянок: діагностування, технічного обслуговування та виконання ремонтів. На ділянці діагностування визначається технічний стан складальних одиниць систем і машин. Ділянка технічного обслуговування складається з універсальних або спеціалізованих постів, де виконуються контрольні-регулювальні роботи з обладнанням. Ділянка виконання ремонту охоплює: спеціалізовані або універсальні пости, де проводиться заміна несправних складальних одиниць та цілих агрегатів. Навколишнє середовище в корпусі нормальне, підлога бетонна. Споживач відноситься до II категорії [5, 6].

Характеристика цехів приватного підприємства представлена в табличному вигляді у додатках.

1.2 Визначення електричних навантажень цехів та приватного підприємства

Розрахунок електричних навантажень інструментального цеху [1-4].

Цехові мережі розподілу електроенергії повинні відповідати наступним вимогам:

- мати оптимальні техніко-економічні показники;
- бути зручними та безпечними в експлуатації;
- забезпечувати необхідну надійність електропостачання встановленого обладнання в залежності від категорії;

- мати конструктивне виконання, що забезпечує використання індустріальних і швидкісних методів встановлення.

Розрахункові навантаження для інструментального цеху будуть виконуватись методом упорядкованих діаграм. Вихідні дані представлено в табличному вигляді у додатках (див. Додаток А).

Виконується розподіл електроприймачів (ЕП) по вузлах та спеціальних групах з урахуванням характеристик ЕП та розташування на приватному підприємстві. Основними ЕП інструментального цеху є встановлені трифазні

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{см}} = 12,8 \cdot 0,14 = 1,792 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо середню реактивна потужність вузла за наступною формулою:

$$Q_{\text{сп}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi; \quad (1.2)$$

$$\text{tg}\varphi_i = \frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi}}{\cos\varphi},$$

де $\cos\varphi=0,6$ - коефіцієнт потужності вузла, звідки:

$$\text{tg}\varphi_i = \frac{\sqrt{1 - 0,6^2}}{0,6} = 1,33;$$

$$Q_{\text{сп}} = 1,792 \cdot 1,33 = 2,383 \text{ кВАр.}$$

Знайдемо середньозважене значення коефіцієнта використання по вузлу згідно наступної формули:

$$K_u = \frac{P_{\text{сп}}}{P_{\text{ном}\Sigma}}; \quad (1.3)$$

$$K_u = \frac{1,792}{12,8} = 0,14.$$

Для визначення ефективної кількості ЕП $n_{\text{еп}}$, на початковій стадії розрахунків необхідно визначити величину m .

$$m = \frac{P_{\text{ном.max}}}{P_{\text{ном.min}}}, \quad (1.4)$$

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де m - відношення номінальної потужності найпотужнішого ЕП встановленого у вузлі до номінальної потужності найнепотужнішого ЕП встановленого у вузлі.

$$m = \frac{3,5}{1} = 3,5.$$

Згідно з правилами, за умови $m > 3$, і $K_u < 0,2$, $n_{еп}$ визначається з наступної формули [7-11]:

$$n_{еп} = n_{еп*} \cdot n. \quad (1.5)$$

Вводиться спеціальне поняття щодо ефективної кількості ЕП $n_{еп*}$

$$n_{еп*} = f(n_{1*} \cdot P_{1*}); \quad (1.6)$$

де n_{1*} - відносна кількість ЕП встановлених у вузлі, потужність кожного з яких не нижча за половину потужності найбільшого потужного ЕП; P_{1*} - відносна потужність n_1 найбільших потужних ЕП;

$$n_{1*} = \frac{n_1}{n}; \quad P_{1*} = \frac{P_{ном1}}{P_{ном}}; \quad (1.7)$$

де n_1 - кількість ЕП встановлених у вузлі, номінальна потужність яких складає половину або більше від номінальної потужності найпотужнішого встановленого ЕП у вузлі; n - реальна кількість встановлених ЕП; $P_{ном1}$ - сумарна номінальна потужність встановлених n_1 ЕП; P - сумарна номінальна потужність n встановлених ЕП;

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$n_{1*} = \frac{5}{6} = 0,83; P_{1*} = \frac{11,8}{12,8} = 0,92.$$

За отриманими значеннями n_{1*} та P_{1*} $n_{еп*} = 0,85$.

$$n_{еп} = 0,85 \cdot 6 \cong 5.$$

За відомою величиною $n_{еп}$ та K_B , за таблицею [7-11] вибирається коефіцієнт максимуму активної потужності $K_M = 2,87$.

З урахуванням величини K_M визначається розрахункове активне навантаження (так званий півгодинний максимум):

$$P_{розр} = K_M \cdot P_{см}; \quad (1.8)$$

$$P_{розр} = 2,87 \cdot 1,792 = 5,143 \text{кВт.}$$

Згідно з правилами, за умови, що величина $n_{еп} < 10$, розрахункова реактивна потужність вузла визначається за наступною формулою [7-11]:

$$Q_{розр} = 1,1 \cdot P_{см} \cdot \text{tg}\varphi_{ср.в}; \quad (1.9)$$

$$Q_{розр} = 1,1 \cdot 1,792 \cdot 1,33 = 2,622 \text{кВАр,}$$

де $\text{tg}\varphi_{ср.в} = \frac{Q_{см}}{P_{см}}$ - середньозважене значення, рівне $\text{tg}\varphi_{ср.в} = \frac{2,383}{1,792} = 1,33$.

Визначимо повну розрахункову потужність вузла згідно формули [7-11]:

$$S_{розр} = \sqrt{(P_{розр})^2 + Q_{розр}^2}; \quad (1.10)$$

$$S_{розр} = \sqrt{5,143^2 + 2,622^2} = 5,773 \text{кВА.}$$

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Знайдемо розрахункову силу струму у вузлі згідно формули:

$$I_{\text{розр}} = \frac{P_{\text{розр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi}; \quad (1.11)$$

$$I_{\text{розр}} = \frac{5,143}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,6} = 12,372 \text{ А.}$$

Визначимо розрахункове навантаження освітлювальної мережі цеху:

$$P_0 = P_{\text{пит.о.}} \cdot K_{\text{п.о.}} \cdot F, \quad (1.12)$$

де $P_{\text{пит.о.}}$ - питоме навантаження освітлювальної мережі, приймаємо $P_{\text{пит.о.}} = 0,016 \text{ кВт/м}^2$; $K_{\text{п.о.}}$ - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження, приймаємо $K_{\text{п.о.}} = 0,95$; F - площа цеху, приймаємо до розрахунків $F = 4160 \text{ м}^2$.

$$P_0 = 0,016 \cdot 0,95 \cdot 4160 = 63,232 \text{ кВт.}$$

Розрахункові навантаження інших вузлів розраховуються аналогічно описаному вище.

Розрахуємо повну розрахункову потужність інструментального цеху згідно формули [7-11]:

$$S_{\text{розр}} = \sqrt{(P_{\text{розр.ц}} + P_0)^2 + Q_{\text{розр}}^2}; \quad (1.13)$$

$$S_{\text{розр}} = \sqrt{(1383,77 + 63,232)^2 + 422^2} = 1447 \text{ кВА.}$$

Знайдемо розрахункових електричних навантажень приватного підприємства. Розрахунок електричних навантажень інших цехів і приватного

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

підприємства загалом виконаємо методом коефіцієнта попиту за допомогою використання ЕОМ. Вихідні дані та результати розрахунків представлено в табличному вигляді в додатках. Даний метод розрахунку вимагає знання коефіцієнта попиту, встановленої потужності цеху загалом, $\cos\varphi$ та коефіцієнта попиту на освітлення.

Приклад розрахунку електричних навантажень методом коефіцієнта попиту для механічного цеху (№1).

Знайдемо розрахункову активну потужність із наступної формули:

$$P_p = P_{уст} \cdot K_{п}; \quad (1.14)$$

де $P_{уст}$ - номінальна потужність цеху, приймаємо $P_{уст} = 1870$ кВт; $K_{п}$ - коефіцієнт попиту, приймаємо $K_{п} = 0,45$;

$$P_p = 1870 \cdot 0,45 = 841,5 \text{ кВт.}$$

Знайдемо розрахункову реактивну потужність з формули:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (1.15)$$

де $\operatorname{tg}\varphi$ - тангенс кута φ , залежить від косинуса φ наступною формулою:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi}; \quad (1.16)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1-0,85^2}}{0,85} = 0,62,$$

де $\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності вузла, приймаємо $\cos\varphi = 0,85$;

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$Q_p = 841,5 \cdot 0,62 = 521,51 \text{ кВАр.}$$

Знайдемо розрахункове активне навантаження освітлювальної мережі з наступної формули [7-11]:

$$P_o = P_{\text{пит.о.}} \cdot K_{\text{п.о.}} \cdot F; \quad (1.17)$$

де $P_{\text{пит.о.}}$ - питома потужність (або щільність) освітлювального навантаження, приймаємо $P_{\text{пит.о.}} = 0,016 \text{ кВт/м}^2$; $K_{\text{п.о.}}$ - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження, приймаємо $K_{\text{п.о.}} = 0,95$; F - площа цеху, приймаємо $F = 7330 \text{ м}^2$.

Тоді

$$P_o = 0,016 \cdot 0,95 \cdot 7330 = 111,42 \text{ кВт.}$$

Знайдемо повну розрахункову потужність цеху з наступної формули:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_o)^2 + Q_p^2}; \quad (1.18)$$

$$S_p = \sqrt{(841,5 + 111,42)^2 + 521,51^2} = 990 \text{ кВА.}$$

Розрахункові навантаження інших цехів приватного підприємства визначаються аналогічно.

Знайдемо розрахункове активне навантаження освітлювальної мережі незабудованої території згідно формули [7-11]:

$$P_{\text{о.т.}} = K_{\text{с.о.}} \cdot P_{\text{пит.о.}} \cdot F_{\text{т.}}; \quad (1.19)$$

де $P_{\text{пит.о.}}$ - питома потужність (або щільність) освітлювального

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

навантаження, приймаємо $P_{\text{пит.о}} = 0,00016 \text{ кВт/м}^2$; $K_{\text{п.о}}$ - коефіцієнт попиту освітлювального навантаження, приймаємо $K_{\text{п.о}} = 1,0$; F - площа незабудованої території приватного підприємства, приймаємо $F = 124455 \text{ м}^2$.

$$P_{\text{о.т}} = 1,0 \cdot 0,00016 \cdot 124455 = 19,91 \text{ кВт.}$$

Аналогічно виконаємо розрахунки для інших цехів і результати представимо в табличному вигляді (див. Додаток А).

Проведемо побудову картограми навантажень приватного підприємства. В якості прикладу представимо розрахунок для першого цеху.

Для побудови картограми навантажень необхідно знайти радіус кола:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m}}, \quad (1.20)$$

де m - масштаб для визначення площі кола, приймаємо $m = 1,0 \text{ кВт/мм}^2$;

$$R_1 = \sqrt{\frac{952,92}{\pi \cdot 1,0}} = 17,42 \text{ мм.}$$

Визначимо кут сектора освітлювального навантаження згідно формули:

$$\alpha = \frac{P_0 \cdot 360^\circ}{P_p}; \quad (1.21)$$

$$\alpha = \frac{111,42 \cdot 360^\circ}{952,92} = 42,09^\circ.$$

Аналогічно виконаємо розрахунки для інших цехів і представимо в табличному вигляді (див. Додаток А).

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Знайдемо навантаження на шинах ВН та НН. Втрати активної потужності в встановлених в цеху трансформаторах приймаємо на рівні 2% від розрахункової повної потужності, втрати активної потужності в лініях на рівні 3% від сумарної розрахункової повної потужності, а втрати реактивної потужності в встановлених в цеху трансформаторах приймаємо не більше 1% від розрахункової повної потужності. Не будемо враховувати втрати реактивної потужності в лінії, оскільки лінія володіє істотною ємністю і генерує реактивну потужність, тобто втрати РМ у лінії будуть компенсовані.

$$\Delta P_{\text{лін}} = 0,03 \cdot S_{\text{р.НН}}; \quad (1.22)$$

$$\Delta P_{\text{лін}} = 0,03 \cdot 13765,66 = 412,97 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{ТР}} = 0,02 \cdot S_{\text{р.НН}}; \quad (1.23)$$

$$\Delta P_{\text{ТР}} = 0,02 \cdot 13765,66 = 275,31 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{ТР}} = 0,1 \cdot S_{\text{р.НН}}; \quad (1.24)$$

$$\Delta Q_{\text{ТР}} = 0,1 \cdot 13765,66 = 1376,57 \text{ кВАр.}$$

Визначимо розрахункове активне навантаження на шинах НН РП приватного підприємства [7-11]:

$$P_{\text{р.НН.ГПП}} = P_{\text{р.Σ}} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{лін}}; \quad (1.25)$$

$$P_{\text{р.НН.ГПП}} = 12348,13 + 275,31 + 412,97 = 13036,42 \text{ кВт.}$$

Знайдемо розрахункове реактивне навантаження на шинах низького рівня

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

напруги РП приватного підприємства:

$$Q_{P.HH.GPP} = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{TP}; \quad (1.26)$$

$$Q_{P.HH.GPP} = 6186,58 + 1376,57 = 7563,14 \text{ кВар.}$$

Аналогічно знайдемо повне розрахункове навантаження на шинах низького рівня напруги ГПП (РП) згідно формули:

$$S_{P.HH.GPP} = \sqrt{P_{P.HH.GPP}^2 + Q_{P.HH.GPP}^2}; \quad (1.27)$$

$$S_{P.HH.GPP} = \sqrt{13036,42^2 + 7563,14^2} = 15071,47 \text{ кВА.}$$

Визначимо розрахункове активне навантаження на шинах високого рівня напруги ГПП(РП) приватного підприємства:

$$P_{P.VH.GPP} = P_{P.HH.GPP} + 0,02 \cdot S_{P.HH.GPP}; \quad (1.28)$$

$$P_{P.VH.GPP} = 13036,42 + 0,02 \cdot 15071,47 = 13337,85 \text{ кВт.}$$

Знайдемо розрахункове реактивне навантаження на шинах високого рівня напруги ГПП(РП) приватного підприємства:

$$Q_{P.VH.GPP} = Q_{P.HH.GPP} + 0,1 \cdot S_{P.HH.GPP}; \quad (1.29)$$

$$Q_{P.VH.GPP} = 7563,14 + 0,1 \cdot 15071,47 = 7713,86 \text{ кВар.}$$

Знайдемо повне розрахункове навантаження на шинах високого рівня напруги ГПП (РП) згідно наступної формули [7-11]:

					<i>MPMA 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$S_{P.BH.GPP} = K_{PM} \sqrt{P_{P.BH.GPP}^2 + Q_{P.BH.GPP}^2}; \quad (1.30)$$

$$S_{P.BH.GPP} = 0,95 \sqrt{13337,85^2 + 7713,86^2} = 14637,45 \text{ кВА.}$$

Визначимо реактивне навантаження, що надається центральною енергосистемою згідно формули:

$$Q_C = P_{P.BH.GPP} \cdot \text{tg}_{\text{nor}}; \quad (1.31)$$

$$Q_C = 13337,85 \cdot 0,28 = 3734,60 \text{ кВАр.}$$

Підбір рівня напруги зовнішнього електропостачання приватного підприємства. Підбір рівнів напруги розподільних мереж та мереж живлення визначають за наступними параметрами такими, як: потужність, споживана приватним підприємством, віддаленість приватного підприємства від джерела живлення (особливо для невеликих і середніх приватних підприємств), кількість і одинична потужність встановлених ЕП.

У разі отримання електроенергії від джерела живлення рівень напруги слід вибирати на підставі техніко-економічного порівняння варіантів. У разі рівності витрат або невеликої переваги мережі електропостачання більш низького рівня напруги перевагу віддають мережі більш високого рівня напруги, оскільки при цьому значно будуть знижені втрати в ЛЕП.

Наближено рівень напруги можливо розрахувати за формулою Стілла [7-11]:

$$U = 4,34 \sqrt{L + 16P}; \quad (1.32)$$

де L - відстань від приватного підприємства до джерела живлення,

					<i>MPMA 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

приймаємо $L = 1$ км; P - розрахункова потужність, передана по одному ланцюгу, приймаємо $P = 13,33785$ МВт.

В залежності від конструкції ЛЕП потужність, що передається по одному ланцюгу, може варіюватись, в залежності від кількості ланцюгів, передбачених конструкцією ЛЕП.

У разі дволанцюгової ЛЕП [7-11]:

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{1 + 16 \cdot \frac{13,33785}{2}} = 45,04 \text{ кВ.}$$

Розглядаємо два можливих варіанти електропостачання приватного підприємства:

- I варіант електропостачання - напругою на рівні 35 кВ дволанцюговою повітряною ЛЕП;

- II варіант електропостачання – напругою на рівні 110 кВ дволанцюговою повітряною ЛЕП.

На підставі техніко-економічного порівняння варіантів приймаємо до використання рівень напруги зовнішнього електропостачання на рівні 110 кВ.

Проектування системи внутрішнього електропостачання приватного підприємства почнемо із підбору цехових трансформаторів.

Номінальну потужність встановлених в цеху трансформаторів вибирають, виходячи з раціонального навантаження трансформаторів, а також з умови резервування роботи трансформаторів в аварійному режимі. Кількість встановлених типорозмірів трансформаторів на приватному підприємстві не повинно перевищувати трьох штук.

Номінальна потужність трансформаторів вибирається за наступною умовою [7-11]:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$S_{\text{ном.Т}} \geq \frac{P_p}{n \cdot \beta}; \quad (1.33)$$

де P_p - розрахункова потужність групи навантажень, що отримують живлення від трансформаторної підстанції; n - кількість трансформаторів встановлених в цеху; β - коефіцієнт завантаження встановлених трансформаторів.

Аналіз розрахункових навантажень усіх можливих цехів дає можливість використовувати в проєкті трансформатори трьох відомих типорозмірів 400, 630 та 1000 кВА. При цьому деякі цехи будуть отримувати живлення від трансформаторних підстанцій інших цехів.

Наприклад, за нормативного коефіцієнта завантаження $K_3 = 0,65 \div 0,7$ для навантажень I категорії безперебійності, $K_3 = 0,7 \div 0,8$ для навантажень II категорії і $K_3 = 0,9 \div 0,95$ для навантажень III категорії, тому для живлення I і III категорії приймається до встановлення двотрансформаторна підстанція.

Підбір конструкції трансформаторів для цеху №6 (або ТП7)

Знайдемо сумарну розрахункову активну потужність трансформаторів:

$$P_p = 562,65 \text{ кВт.}$$

Тепер визначимо номінальну потужність трансформаторів згідно формули:

$$S_{\text{ном.Т}} \geq \frac{562,65}{2 \cdot 0,85} = 330,97 \text{ кВА.}$$

Отримане значення повинне бути округлене до найближчого більшого стандартного значення, таким чином приймається до монтажу на проєкті приватного підприємства два трансформатори марки ТМЗ-630 кВА.

Знайдемо фактичний коефіцієнт завантаження:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$K_{3\Phi} = \frac{P_p}{n \cdot S_{НОМ.Т}}; \quad (1.34)$$

$$K_{3\Phi} = \frac{562,65}{2 \cdot 400} = 70 \%$$

У разі виходу з ладу одного з встановлених трансформаторів, ті, що залишилися в робочому стані, матимуть коефіцієнт завантаження, що буде рівним:

$$K_{зав} = \frac{546,60}{1 \cdot 400} = 1,41.$$

У разі виходу з ладу одного трансформатора, той що залишився в робочому стані, не зможе повністю забезпечити все живлення ЕП. Тому під час виникнення аварійних ситуацій виникає необхідність у відключенні маловідповідальних ЕП.

Знайдемо величину потужності, що буде відключатись під час аварії:

$$S_{ав} = 562,65 - 1,4 \cdot 400 = 2,65 \text{ кВА.}$$

Розрахунки для решти цехових трансформаторних підстанцій виконуються аналогічно, результати розрахунків представлено в табличному вигляді в додатках.

Підбір місця для встановлення цехових трансформаторних підстанцій приватного підприємства.

Трансформаторні підстанції максимально, наскільки дають можливість виробничі умови підприємства, монтуємо поближче до центру енергетичних навантажень, що дає можливість побудувати економічну та надійну СЕП, тому що скорочується протяжність мереж вторинного рівня напруги, зменшуються втрати енергії та відхилення рівня напруги, знижується зона аварій, полегшується та здешевлюється розвиток електропостачання, тому що трансформаторні підстанції

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

будуть будуватись чергами в міру розширення виробництва підприємства.

Трансформаторні підстанції на рівень напруги в 10 кВ з метою найбільшого наближення до ЕП будуть виконуватись внутрішньоцеховими, якщо дають можливість габарити будівель і умови внутрішнього середовища. У цехах з декількома трансформаторними підстанціями, розмістимо ТП рівномірно по площі цеху. Трансформаторні підстанції в цехах розмістимо відповідно до встановленого обладнання та з урахуванням розташування джерела живлення і з урахуванням характеристик і визначеної картограми навантажень.

Розроблення схем внутрішнього електропостачання проєкту приватного підприємства. З метою розроблення адекватної раціональної схеми розподілу електроенергії потрібне всебічне врахування досить великої кількості чинників, таких як спосіб проведення електроенергії, конструктивне виконання мережевих вузлів схеми, величини сил струму КЗ в різних варіантах тощо.

У загальному випадку схеми внутрішнього розподілу електроенергії мають ступінчасту побудову. Вважається недоцільним використання схем із числом приєднань більше 3 чи 4, тому що в такому випадку ускладнюється комутація обладнання і захист загальної мережі.

Схема розподілу електроенергії повинна бути тісно пов'язана з технологічною схемою об'єкта. Живлення ЕП різних паралельних технологічних потоків повинна виконуватись від різних джерел живлення: підстанції, розподільчих пристроїв, різних секцій збірних шин однієї трансформаторної підстанції.

Під час побудови загальної схеми внутрішнього електропостачання необхідно обирати ті варіанти, що забезпечують мінімальну довжину розподільної мережі, раціональне використання комірок розподільних пристроїв, максимум економії встановленої комутаційно-захисної апаратури.

Внутрішній розподіл електроенергії виконують за магістральною, радіальною або змішаною схемами. Вибір схеми визначається категорією надійності ЕП, розміщенням, особливостями режимів роботи встановленого

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

обладнання [7-11].

Висновки до розділу

Виконано огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Проведено визначення електричних навантажень цехів та приватного підприємства

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 Розроблення проєкту мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства

2.1 Визначення селективності релейного захисту мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства

Для нормальної роботи кожного елемента СЕП, елементи повинні бути захищені від можливих пошкоджень і анормальних режимів роботи. Пристрої релейного захисту (РЗ) елементів СЕП представлено в табличному вигляді у Додатках.

Захист ЕП № 37, наприклад, інструментального цеху виконується за допомогою використання автоматичного вимикача NSXm [12]. При силі струму на рівні виникнення КЗ $I_{кз}^{(1)} = 521$ А час спрацьовування автоматичного вимикача визначається за захисними кривими:

$$t_{d(QF1)} \approx 0,005с.$$

Селективність за часом між послідовно розташованими автоматичними вимикачами виконується за наступної умови:

$$t_{d1} \geq 1,5 \cdot t_{d2}; \quad (2.1)$$

$$t_{d(QF2)} \geq 1,5 \cdot 0,005 \approx 0,007с.$$

Знайдемо час спрацьовування автоматичного вимикача EasyPact EZC100H ЗР 30 кА 125А, 400/415 В (EZC100H30125) [13] з мікропроцесорним розчеплювачем за наступною формулою:

$$T = \left(\frac{6 \cdot K}{p}\right)^2 \cdot t_r; \quad (2.2)$$

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де K - коефіцієнт спрацьовування захисту від перевантаження, приймаємо $K = 0,4$; p - коефіцієнт кратності передбачуваної фактичної сили струму під час виникнення КЗ у точці К12, згідно з табличних даних, щодо номінальної сили струму автоматичного вимикача; t_r - час затримки спрацьовування захисту, що встановлюється DIP-перемикачем на лицьовій панелі автоматичного вимикача, приймаємо $t_r = 3$ с [7-11].

$$p = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{н.р}}; \quad (2.3)$$

$$p = \frac{1306}{125} = 10,5;$$

$$T = \left(\frac{6 \cdot 0,4}{10,5}\right)^2 \cdot 3 = 0,156 \text{ с.}$$

Визначимо час спрацьовування секційного автоматичного вимикача EasyPact MVS, 50 кА, 2000 А (MVS20H3MF2L) [14] встановленого на стороні низького рівня напруги 0,4 кВ цехової трансформаторної підстанції:

$$t_{d(QF3)} \geq 1,5 \cdot 0,156 = 0,23 \text{ с.}$$

Приймаємо час спрацьовування автоматичного вимикача MVS20H3MF2L [14] на рівні:

$$t_{d(QF3)} = 0,25 \text{ с.}$$

Визначимо час спрацьовування автоматичного вимикача EasyPact MVS, 50 кА, 2500 А (MVS25N3MF2L) [14] встановленого на стороні низького рівня напруги 0,4 кВ цехової трансформаторної підстанції:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$t_{d(QF4)} \geq 1,5 \div 0,25 = 0,37 \text{ с.}$$

Приймаємо час спрацьовування автоматичного вимикача MVS25N3MF2L [14] на рівні:

$$t_{d(QF4)} = 0,4 \text{ с.}$$

Знайдемо селективність спрацьовування запобіжника на стороні напруги 10 кВ і автоматичних вимикачів на стороні 0,4 кВ цехового трансформатора з формули:

$$t_{f10} = 1,6 \cdot t_{d(QF4)}. \quad (2.4)$$

Визначаємо час перегорання плавкої вставки запобіжника (ПКТ-10-80, $I_{н.пв} = 80\text{А}$) при виникненні сили струму КЗ у точці К5 ($I_{кз}^{(3)} = 14595\text{А}$), приведену до високого рівня напруги трансформатора [7-11, 15]:

$$I_{кз(10)}^{(3)} = I_{кз(0,4)}^{(3)} \frac{U_{срнНН}}{U_{срнВН}}; \quad (2.5)$$

$$I_{кз(10)}^{(3)} = 14595 \cdot \frac{0,4}{10} = 584\text{А};$$

$$t_{f10} = f(I_{н.пв}; I_{кз}^{(3)}) = 0,8\text{с} > 1,6 \cdot 0,4 = 0,64 \text{ с.}$$

Селективність за часом між МТЗ ліній рівня напруги 10 кВ і запобіжником на стороні напруги 10 кВ цехового трансформатора [15]:

$$t_{ppQ4}^{III} = t_{f10} + \Delta t, \quad (2.6)$$

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де Δt - ступінь селективності, приймаємо $\Delta t = 0,3$ с;

$$t_{ppQ4}^{III} = 0,8 + 0,3 = 1,1 \text{ с.}$$

Визначимо селективність за часом між МТЗ секційного автоматичного вимикача і МТЗ лінії:

$$t_{ppQ3}^{III} = 1,1 + 0,3 = 1,4 \text{ с.}$$

Визначимо селективність за часом між МТЗ рівня напруги 10 кВ трансформатора і секційного автоматичного вимикача:

$$t_{ppQ2}^{III} = 1,4 + 0,3 = 1,7 \text{ с.}$$

Визначимо селективність за часом між МТЗ рівня напруги 110 кВ і МТЗ рівня напруги 10 кВ силового трансформатора:

$$t_{ppQ1}^{III} = 1,7 + 0,3 = 2,0 \text{ с.}$$

2.2 Проектування релейного захисту кабельної лінії 10 кВ

Кабельні лінії приватних підприємств захищаються від наступних видів ушкоджень і аномальних режимів роботи [16-18]:

- виникнення міжфазних КЗ;
- виникнення замикання на землю;
- можливі обриви фаз;
- виникнення перевантажень.

Для захисту від виникнення міжфазних КЗ передбачається двоступеневий захист по силі струму:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- перша ступінь - струмове відсічення;
- друга ступінь - максимальний захист по силі струму із витримкою часу.

Захист виконується з установкою двох спеціальних трансформаторів струму (ТС) і, в залежності від вимог чутливості, захист може бути виконаний одно-, дво- або, навіть, трирелейним. ТС підключаються в одні й ті самі фази впродовж усієї мережі, у такий спосіб забезпечується вимкнення двофазного КЗ на землю тільки на пошкодженій ділянці.

Перша ступінь - струмова відсічка. Захист відбудовується наступним чином:

- від максимальної зовнішньої трифазної сили струму КЗ згідно формули:

$$I_{CЗ}^I \geq k_H^I \cdot I_{КЗ.мах.вн}^{(3)} \quad (2.7)$$

де k_H^I - коефіцієнт надійності реле АЛ – 1, приймаємо $k_H^I = 1,3$; $I_{КЗ.мах.вн}^{(3)}$ – сила струму, що проходить по ТС в разі виникнення трифазного КЗ на стороні напруги 0,4 кВ цехових трансформаторів [15-18]:

$$I_{КЗ.мах.вн}^{(3)} = I_{КЗ.мах.вн\ 0,4\ кВ}^{(3)} \cdot \frac{U_{ТНН}}{U_{ТВН}}; \quad (2.8)$$

де $I_{КЗ.мах.вн\ 0,4\ кВ}^{(3)}$ – сила струму виникаючого трифазного КЗ на стороні напруги 0,4 кВ ТП9; $U_{ТНН} = 0,4$ кВ – низький рівень напруги; $U_{ТВН} = 10$ кВ – високий рівень напруги.

$$I_{КЗ.мах.вн}^{(3)} = 14950 \cdot \frac{0,4}{10} = 0,598 \text{ кА};$$

$$I_{CЗ}^I \geq 1,3 \cdot 598 = 777 \text{ А}.$$

- від сумарного кидка сили струму намагнічування трансформаторів:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		32

$$I_{сз}^I \geq k_H^I \cdot I_{бр.мах}; \quad (2.9)$$

$$I_{бр.мах} = 4 \cdot \sum I_{ном.м} = \frac{\sum_{i=1}^3 S_{ном.Т,i}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (2.10)$$

$$I_{бр.мах} = 4 \cdot \frac{400 + 630 + 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 520 \text{ A};$$

$$I_{сз}^I = 1,3 \cdot 520 = 676 \text{ A};$$

Визначимо силу струму спрацьовування реле за наступною формулою [16-18]:

$$I_{ср}^I = \frac{k_{сх}^{(3)}}{k_I} \cdot I_{сз}^I; \quad (2.11)$$

де $k_{сх}^{(3)}$ - коефіцієнт схеми при виникненні трифазної сили струму КЗ, приймаємо $k_{сх}^{(3)} = 1$; k_I - коефіцієнт трансформації ТС ТПЛ-10-200/5, $k_I = 200/5 = 40$, приймаємо максимальну робочу силу струму кабелю: $I_{рмах} = 154 \text{ A}$.

$$I_{ср}^I = \frac{1}{20} \cdot 777 = 38,85 \text{ A}.$$

Визначимо чутливість захисту за виникнення двофазного КЗ у кінці лінії:

$$k_{ч} = \frac{I_{кз,мін}^{(2)}}{I_{сз}}; \quad (2.12)$$

де $I_{кз,мін}^{(2)}$ - сила струму двофазного КЗ в кінці лінії, приймаємо $I_{кз,мін}^{(2)} = 4077 \text{ A}$.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$k_{\text{ч}} = \frac{4077}{777} = 5,24.$$

На основі розрахунку приймаємо до встановлення реле типу АЛ-1/100, з силою струму $I_{\text{уст}} = 40 \text{ А}$.

Друга ступінь - максимальний захист по силі струму із витримкою часу. Даний вид захисту є резервним захистом першого ступеня й основним захистом від виникнення перевантажень.

- захист відбувається від максимальної робочої сили струму кабелю:

$$I_{\text{сз}}^{\text{III}} \geq \frac{k_{\text{Н}}^{\text{III}} \cdot k_{\text{сзп}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{р max}}; \quad (2.13)$$

де $k_{\text{Н}}^{\text{III}}$ - коефіцієнт надійності реле АЛ-1, приймаємо $k_{\text{Н}}^{\text{III}} = 1,2$; $k_{\text{сзп}}$ - коефіцієнт самозапуску, що враховує можливість збільшення сили струму в лінії, що захищається, внаслідок самозапуску електродвигуна під час відновлення рівня напруги після вимкнення, приймаємо $k_{\text{сзп}} = 2 \div 3,5$; $k_{\text{в}}$ - коефіцієнт повернення струмового реле, приймаємо $k_{\text{в}} = 0,95$ [16-18].

$$I_{\text{сз}}^{\text{III}} \geq \frac{1,2 \cdot 2}{0,95} \cdot 154 = 389 \text{ А.}$$

- відстройка від виникнення надструмів унаслідок спрацьовування пристрою АПВ згідно формули:

$$I_{\text{с.з}}^{\text{III}} \geq k_{\text{Н}}^{\text{III}} \cdot k_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{р max}}; \quad (2.14)$$

$$I_{\text{с.з}}^{\text{III}} \geq 1,2 \cdot 2 \cdot 154 = 369,6 \text{ А.}$$

- відстройка від виникнення надструмів, спричинених відключенням

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

паралельної лінії та дією пристроїв автоматичного вводу резерву [16-18]:

$$I_{с.з.}^{III} \geq K_H^{III} \cdot (I_{p,max} \cdot K' + K_{сзп} \cdot I_{p,max}); \quad (2.15)$$

де K' - коефіцієнт повернення, приймаємо $K' = 1,1 \div 1,5$.

$$I_{сз}^{III} \geq 1,2 \cdot (1,3 \cdot 154 + 2 \cdot 154) = 609,8 \text{ А.}$$

Із трьох умов вибираємо найбільшу силу струму: $I_{сз}^{III} = 609,8 \text{ А}$.

Виконаємо перевірку коефіцієнту чутливості згідно формули:

$$k_{ч} = \frac{I_{кз,min}^{(2)}}{I_{сз}} > 1,5, \quad (2.16)$$

де $I_{кз,min}^{(2)}$ – сила струму виникнення двофазного КЗ в кінці лінії, приймаємо $I_{кз,min}^{(2)} = 4077 \text{ А}$ [16-18].

$$k_{ч} = \frac{4077}{609,8} = 6,68 > 1,5;$$

$$I_{ср}^{III} = \frac{k_{сх}^{(3)}}{k_I} \cdot I_{сз}^{III};$$

$$I_{ср}^{III} = \frac{1}{20} \cdot 609,8 = 30,5 \text{ А.}$$

Вибираємо реле струму АЛ-1, з силою струму $I_{уст} = 31,25 \text{ А}$ витримка часу буде забезпечена встановленням реле типу РСВ 18-11.

Умова дотримується: $I_{уст}^I = 100 > I_{уст}^{III} = 31,25$.

Витримка МТЗ визначається з наступної формули [16-18]:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$t_{сз}^{III} = t_{эл\max}^{III} + \Delta t, \quad (2.17)$$

де $t_{эл\max}$ - максимальна витримка часу нижчих захистів, приймаємо $t_{эл\max} = t_{f10} = 0,8$ с; Δt с - ступінь селективності, приймаємо $\Delta t = 0,5 \div 0,7$ с.

$$t_{pp}^{III} = 0,8 + 0,5 = 1,3 \text{ с.}$$

Обираємо до монтажу реле часу типу РСВ 18-11 із спрацьовуванням у діапазоні від 0,5 до 9 с.

Захист лінії від виникнення замикань на землю. Використовуємо спеціальний МТЗ нульової послідовності. Захист складається з фільтра сили струму нульової послідовності, до якого під'єднується спеціальне струмове реле і діє на вимкнення з витримкою часу.

$$I_{осз} \geq k_{отс} \cdot 3I_{ол}^{(1)}, \quad (2.18)$$

де $k_{отс}$ - у разі дії захисту з витримкою часу, приймаємо $k_{отс} = 2,0 \div 2,5$; $3I_{ол}^{(1)}$ – сила струму, зумовлена ємністю лінії, для кабельних ліній визначається як:

$$3I_{ол}^{(1)} = \frac{U \cdot l}{10},$$

де l - довжина лінії, що захищається, приймаємо $l = 0,47 + 0,1 + 0,08 = 0,65$ км.

$$3I_{ол}^{(1)} = \frac{10 \cdot 0,65}{10} = 0,65 \text{ А;}$$

$$I_{осз} = 2,0 \cdot 0,65 = 1,3 \text{ А.}$$

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Чутливість захисту характеризується коефіцієнтом, який визначається як:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{\text{озк}}^{(1)}}{I_{\text{ocz}}} \geq 1,5; \quad (2.19)$$

де $3I_{\text{озк}}^{(1)}$ – сила струму, що визначає ємність усіх неушкоджених ліній:

$$3I_{\text{озк}}^{(1)} = \frac{U \cdot l_{\Sigma}}{10}, \quad (2.20)$$

де l - сумарна довжина неушкоджених ліній [16-18]:

$$l = 0,38 + 0,25 + 0,06 + 0,06 + 0,155 + 0,665 + 0,1 + 0,1 + 0,165 + 0,6 \\ = 2,53 \text{ км};$$

$$3I_{\text{озк}}^{(1)} = \frac{10 \cdot 2,53}{10} = 2,53 \text{ А};$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{2,53}{1,3} = 1,94 > 1,5.$$

Вибираємо до монтажу реле струму нульової послідовності типу РТЗм-51 з силою струму в діапазоні $I_{\text{уст}} = 0,3 \div 0,6$ А. Розрахункова витримка часу захисту $t_{\text{ocz}} = 0,7$ с, тому вибираємо до монтажу реле часу типу РСВ 18-11 з уставкою в діапазоні від 0,5 до 9 с.

2.3 Проект захисту силового трансформатора

Пристрої РЗ для силових трансформаторів типу ТП9 ТМЗ-1000/10 ТМЗ-1000/10 передбачають від наступних видів можливих пошкоджень і аномальних режимів роботи [16-18]:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де $k_{cx}^{(3)}$ - коефіцієнт схеми підключення, приймаємо $k_{cx}^{(3)} = 1$; k_I - коефіцієнт трансформації ТС, рівний $k_I = 150/5 = 30$.

$$I_{cp}^I = \frac{1}{30} \cdot 581,6 = 19,4 \text{ А}$$

Вибираємо до монтажу реле типу РТ 40/50 із силою струму $I_{уст} = 20 \text{ А}$, за послідовного з'єднання котушок.

Визначимо коефіцієнт чутливості:

$$k_q = \frac{I_{кз}^{(3)}}{I_{сз}^I} = \frac{2931}{581,6} = 5 > 1,5.$$

Друга ступінь - МТЗ із витримкою часу. Схема з'єднання ТС і реле - неповна зірка. Знайдемо сили струму спрацьовування захисту і реле:

Сила струму спрацьовування захисту:

$$I_{сз}^{III} = \frac{k_n^{III} \cdot k_{сзп}}{k_B} \cdot I_{ВН ном}; \quad (2.23)$$

Сила струму спрацьовування реле:

$$I_{cp}^{III} = \frac{k_{cx}^{(3)}}{k_I} \cdot I_{сз}^{III}, \quad (2.24)$$

де k_n^{III} - коефіцієнт надійності для реле РТ-40, приймаємо $k_n^{III} = 1,2$; k_B - коефіцієнт повернення для реле РТ-40, приймаємо $k_B = 0,8$; $k_{сзп}$ - коефіцієнт самозапуску, приймаємо $k_{сзп} = 2,5 \div 3,5$; $I_{ВН ном}$ - номінальна сила струму трансформатора на стороні високого рівня напруги [16-18].

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{ВНном}} = \frac{S_{\text{Н.Т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{H}}}; \quad (2.25)$$

$$I_{\text{ВНном}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А};$$

$$I_{\text{сз}}^{\text{III}} = \frac{1,2 \cdot 3}{0,8} \cdot 36,4 = 163,8 \text{ А};$$

$$I_{\text{ср}}^{\text{III}} = \frac{1}{20} \cdot 154,2 = 8,2 \text{ А}.$$

Вибираємо до монтажу реле РТ 40/10 з силою струму $I_{\text{уст}}=4\text{А}$, за паралельного з'єднання обмоток ТС.

Визначаємо коефіцієнт чутливості з наступної формули:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(3)}}{I_{\text{сз}}^{\text{III}}} = \frac{2931}{154,2} = 19 > 1,5.$$

Знайдемо витримку часу МТЗ:

$$t_{\text{сз}}^{\text{III}} = t_{\text{элmax}}^{\text{III}} + \Delta t,$$

де $t_{\text{элmax}}^{\text{III}}$ - максимальна витримка часу; Δt - селективність, приймаємо $\Delta t = 0,5 \div 0,7 \text{ с}$.

$$t_{\text{рр}}^{\text{III}} = 0,25 + 0,7 = 0,95 \text{ с}.$$

Вибираємо до монтажу реле часу ЕВ-245 [19] з величиною уставки в діапазоні від 0,5 до 9 с.

Захист трансформатора від можливого перевантаження. Для захисту

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		40

трансформатора від можливого перевантаження приймаємо МТЗ, встановлене з боку високого рівня напруги трансформатора, виконане за допомогою одного реле, увімкненого на фазну силу струму, що діє на сигнал із витримкою часу.

$$I_{сз}^{III} = \frac{k_H^{III}}{k_B} \cdot I_{НОМ.Т};$$

$$I_{ср}^{III} = \frac{k_{сх}^{(3)}}{k_I} \cdot I_{сз}^{III},$$

де k_H^{III} - коефіцієнт надійності, приймаємо $k_H^{III} = 1,15$; k_B - коефіцієнт повернення реле, приймаємо $k_B = 0,8$; $I_{НОМ.Т}$ - номінальна сила струму трансформатора.

$$I_{сз}^{III} = \frac{1,15}{0,8} \cdot 36,4 = 50 \text{ А};$$

$$I_{ср}^{III} = \frac{1}{30} \cdot 50 = 1,67 \text{ А}.$$

Вибираємо до монтажу реле РТ-81/2 [20], з силою струму вставки $I_y = 1,8 \text{ А}$.

Витримку часу МТЗ у даному випадку обирають на щабель селективності вище за найбільшу витримку часу захисту трансформатора від виникнення КЗ.

$$t_{МТЗ}^{III} = t_{КЗВН}^{III} + \Delta t = 0,95 + 0,7 = 1,65 \text{ с}.$$

Розрахунок захисту від виникнення однофазних КЗ на землю в обмотці та на виводах, приєднаних до мережі з глухозаземленою нейтраллю.

У трансформаторів зі з'єднанням обмоток за схемою Δ/Y_0 (або трикутник -

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

зірка із заземленою нейтраллю) опір нульової послідовності практично є рівним опору прямої послідовності, тому сили струму однофазного й трифазного КЗ в разі пошкодження біля виводів нижчого рівня напруги трансформаторів мають приблизно однакові значення. Ушкодження повинні відключатися третім ступенем струмового захисту трансформатора або захистом від замикань між витками і від зниження рівня масла.

Захист від виникнення замикань між витками однієї фази і від зниження рівня оливи для трансформатора з азотним заповнювачем типу ТМЗ виконуємо за допомогою монтажу спеціального електроконтактного манометра ЕКМ-1, що реагує на підвищення рівня тиску.

Виконаємо перевірку обраних ТС на 10% похибку.

Проаналізуємо ТС типу ТПЛ-10-200/5-0,5 [21], який використовується для захисту кабельної лінії в проєкті.

Визначимо кратність первинної сили струму згідно формули:

$$K_{10} = \frac{I_{1calc}}{K_1 \cdot I_{1n}} = \frac{K_2 \cdot I_{1max}}{K_1 \cdot I_{1n}}; \quad (2.26)$$

де K_1 - коефіцієнт, що враховує можливість погіршення характеристик намагнічування встановленого ТС, приймаємо $K_1 = 0,8$; K_2 - коефіцієнт, що враховує вплив аперіодичної складової сили струму, приймаємо $K_2 = 1,2 \div 1,3$; I_{1n} - номінальна первинна сила струму трансформатора, приймаємо $I_{1n} = 200$ А; I_{1max} - максимальне значення первинної сили струму, за якого має забезпечуватися робота ТС з похибкою що не перевищує 10%;

$$I_{1max} = 1,1 \cdot I_{pp};$$

$$I_{pp} = 777 \text{ А};$$

$$I_{1max} = 1,1 \cdot 777 = 854 \text{ А};$$

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$K_{10} = \frac{1,2 \cdot 777}{0,8 \cdot 200} = 5,82.$$

За кривою 10% похибки для ТС типу ТПЛ-10-200/5-0,5 [21] за визначеної умови $K_{10} = 5,82$ за кривими знаходимо допустимий опір навантаження $Z_{2\text{доп}} = 0,90\text{м}$.

Опір навантаження приєднаного до ТС визначається в залежності від схеми підключення ТС. У нас ТС з'єднані за схемою повної зірки у режимі виникнення трифазного КЗ опір визначається за наступною формулою [16-18]:

$$Z_2 = 0,5 \cdot Z_{2\text{calc}}; \quad (2.27)$$

$$Z_{2\text{calc}}^{(3)} = R_{\text{cond}} + Z_{\text{rf}} + R_{\text{cont}}, \quad (2.28)$$

де Z_{rf} – величина опору реле, увімкненого у одну фазу:

$$Z_{\text{rf}} = \frac{S_{\text{rf}}}{I_{\text{regminf}}^2},$$

де S_{rf} - споживана потужність реле типу АЛ-1 [22], приймаємо $S_{\text{rf}} = 1 \text{ ВА}$;
 I_{regminf} – мінімальна сила струму уставки спрацьовування реле АЛ-1, приймаємо $I_{\text{regminf}} = 5\text{А}$;

$$Z_{\text{rf}} = \frac{1}{5^2} = 0,04 \text{ Ом};$$

R_{cond} – величина опору сполучних проводів, визначається із формули:

$$R_{\text{cond}} = \rho \frac{l}{S}, \quad (2.29)$$

де ρ - питомі провідність міді, приймаємо $\rho = 0,0178 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; S - перетин з'єднувального проводу, приймаємо $S = 6 \text{ мм}^2$; l - довжина проводу від ТС до реле АЛ-1 [22], приймаємо $l = 16 \text{ м}$.

$$R_{\text{cond}} = 0,0178 \cdot \frac{16}{4} = 0,07 \text{ Ом};$$

R_{cont} - опір контактів, приймаємо $R_{\text{cont}} = 0,12 \text{ Ом}$:

$$Z_{2\text{calc}}^{(3)} = 0,07 + 0,04 + 0,12 = 0,23 \text{ Ом}.$$

$$Z_{2\text{доп}} > Z_{2\text{calc}}; \quad (2.30)$$

$$Z_{2\text{доп}} = 0,9 \text{ Ом} > Z_2 = 0,5 \cdot 0,23 = 0,11 \text{ Ом}.$$

Умова (2.30) виконується отже, ТС працює з похибкою нижче чим 10%.

Автоматичне вввод резерву на рівень напруги 0,38 кВ на трансформаторній підстанції №9.

У СЕП за наявності двох (і більше) джерел живлення часто працюють та підключають обладнання за розімкнутою схемою. При цьому всі джерела живлення увімкнені, але не підключені між собою, кожне з джерел забезпечує живлення виділених споживачів. Такий режим роботи мережі пояснюється необхідністю зменшити сили струму КЗ, спростити РЗ, створити необхідний режим за рівнем напруги, знизити втрати електроенергії тощо. Однак при цьому надійність електропостачання в розімкнутих мережах виявляється нижчою, ніж у замкнених мережах, оскільки вимкнення єдиного джерела призводить до припинення живлення всіх споживачів. Електропостачання споживачів, які втратили живлення, можна відновити автоматичним підключенням до іншого

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

джерела живлення за допомогою використання спеціального пристрою автоматичного увімкнення резервного джерела живлення (АВР) [16-18].

В якості АВР на трансформаторній підстанції №9 використовується АВР, який призначено для керування автоматичним переходом від основного джерела живлення на резервне і навпаки в випадку неприпустимих відхилень рівнів напруги у фазах, зміні порядку чергування фаз, асиметрії або перекосу фаз, обривів однієї або декількох фаз в «основній» або «резервній» мережах живлення.

Даний тип АВР може використовуватись в мережах електропостачання у складі наступних пристроїв або автоматичного увімкнення резерву (АВР), або аварійного увімкнення резерву.

Пристрої АВР забезпечує контроль стану введів, керування магнітними пускачами, автоматичними вимикачами з мотор-приводом, індикацію стану входів і виходів.

Застосовують різні схеми використання АВР, проте всі вони повинні відповідати вказаним нижче базовим вимогам.

Перебувати в стані постійної готовності до вмикання і спрацьовувати в разі зникнення живлення споживачів із будь-якої причини та наявності нормального рівня напруги на іншому, резервному для споживачів джерелі живлення. Щоб не допустити увімкнення резервного джерела живлення на КЗ, лінію робочого джерела до моменту дії пристрою АВР має бути відключено автоматичним вимикачем з боку збірних шин споживачів. Відключений стан даного автоматичного вимикача контролюється допоміжними контактами або реле положення, і такі контакти повинні бути використані в схемі увімкнення автоматичного вимикача резервного джерела. Ознакою припинення живлення є зникнення рівня напруги на збірних шинах споживачів, тому впливаючою величиною пристрою АВР зазвичай є рівень напруги. У разі зниження рівня напруги до певного значення пристрій АВР приходить у дію [16-18].

Володіти одноразовою дією, що необхідно для запобігання багаторазового вмикання резервного джерела на виникнення стійкого КЗ.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		45

Володіти мінімально можливим часом спрацьовування $t_{авр1}$ - необхідно для скорочення тривалості перерви живлення підключених споживачів і забезпечення можливості виконання самозапуску електродвигунів. Мінімальний час $t_{авр1}$ визначається необхідністю унеможливити спрацьовування пристрою АВР у випадку виникнення КЗ на елементах мережі, пов'язаних із робочим джерелом живлення, якщо в такому разі рівень напруги на резервованих збірних шинах стане нижчим за рівень напруги вмикання пристрою АВР. Дані види пошкодження відключаються швидкодіючими захистами самих пошкоджених елементів. Під час вибору величини витримки часу необхідно також узгоджувати дію пристрою АВР з дією пристрою АПВ та з діями інших пристроїв АВР, які змонтовані ближче до робочого джерела живлення.

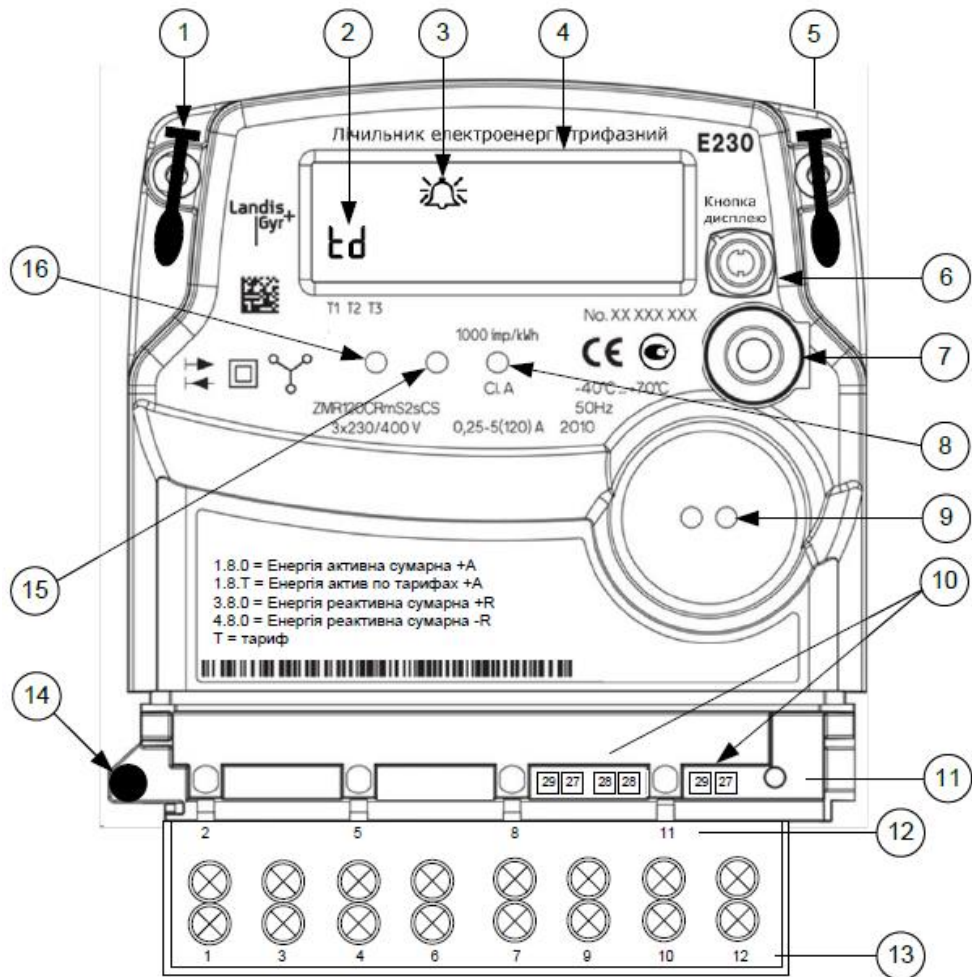
Забезпечувати разом із захистом швидке вимкнення резервного джерела живлення і споживачів від пошкодженої секції збірних шин, і тим самим зберігати нормальну роботу обладнання. Для даного випадку передбачається прискорення захисту після АВР.

І головне, не допускати небезпечних несинхронних увімкнень синхронних електродвигунів та виникнення перевантаження включеного обладнання.

Залежно від конструкції комутаційного апарата, схеми електропостачання та номінального рівня напруги основні вимоги до пристроїв АВР виконуються по-різному (наприклад, пристрої АВР у мережах напругою до 1 кВ, мережеві пристрої АВР).

Схема обліку та вимірювань на трансформаторній підстанції №9 на рівень напруги 0,38 кВ [16-18].

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 – Гарантійна пломба; 2 - індикатор реєстрації відкриття клемної кришки - «td»; 3 - Індикатор реєстрація впливів сильним постійним магнітним полем понад 500 мТ - «дзвіночок»; 4 - РК-дисплей; 5 - Пломба повірки; 6 - Кнопка (синього кольору) ручного керування РК-дисплеєм; 7 - Кнопка (помаранчевого кольору) доступу до програмування, пломбується при встановленні; 8 - Випробувальний світлодіодний вихід активної енергії; 9 - Оптичний порт; 10 - послідовний порт RS-485; 11 - датчик відкриття клемної кришки; 12 - Виходи (№2,5,8 і 11) ланцюгів напруги лічильника для підключення повірочного обладнання; 13 - Входи (№1,3,4,6,7,9,10 і 12) підключення фаз А, В, С і нейтралі; 14 - пломба доступу до контактів подачі випробувальної напруги з випробувального стенду; 15 - світлодіод «Тривога»; 16 – спеціальний випробувальний світлодіодний вихід реактивної енергії

Рисунок 2.2 – Загальний вигляд та кнопки керування, індикатори та інтерфейси лічильника ZMR110CRefRS [23]:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
48

Для виключення можливих маніпуляцій використовуються наступні функції:

- реєстрація несанкціонованого втручання в журналі подій і спеціальних реєстрах-лічильниках (розкриття клемної кришки і корпусу чи вплив сильним магнітним полем);
- виконання вимірювання в класі точності при відключеній нейтралі;
- індикація подій маніпуляції двома індикаторами;
- вимірювання активної енергії як суми значень за модулем усіх фаз;
- профіль реєстрації записаних показань наростаючим підсумком на інтервалі: 30 хв (за замовчуванням), 1 година, 1 доба.
- вбудований журнал подій із програмованими уставками контрольованих параметрів;
- пломбована кнопка для механічного захисту від несанкціонованого програмування [23].

Висновки до розділу

В розділі розроблено проєкт мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Визначена селективність релейного захисту мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Виконано проєктування релейного захисту кабельної лінії 10 кВ та захисту силового трансформатора.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		49

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства

Цехові мережі приватного підприємства виконують на рівень напруги до 1 кВ. На вибір схеми і конструктивне виконання цехової мережі впливають наступні чинники такі, як ступінь відповідальності ЕП, режими роботи обладнання і розташування на території цеху.

Загально відомо, що цехові мережі розподілу електроенергії повинні:

- бути достатньо зручними і безпечними в експлуатації;
- забезпечувати необхідну надійність електропостачання ЕП в залежності від категорії;
- володіти оптимальними техніко-економічними показниками;
- мати конструктивне виконання, що забезпечує використання індустріальних і швидкісних методів монтажу.

В залежності від прийнятої схеми електропостачання та умов навколишнього середовища цехові електричні мережі виконуються спеціальними шинопроводами, кабельними лініями та прокладкою проводів [7-11].

3.1 Розрахунок електропостачання інструментального цеху

Електропостачання ЕП встановлених в інструментальному цеху здійснюється від трансформаторної підстанції №9. ЕП даного цеху є фрезерні та металообробні верстати, кран-балки, плавильні печі, які рівномірно розміщені по території цеху. Навколишнє середовище в цеху нормальне, підлога бетонна забруднена металевою стружкою. Усі споживачі розраховані на змінну трифазну силу струму і рівень напругу 380 В з промисловою частотою.

Здійснюється розподіл ЕП за вузлами і групами з урахуванням характеристик ЕП та розміщення в цеху. Розрахунок навантаження вузла методом упорядкованих діаграм можливий лише у тих випадках, коли відомі номінальні

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

дані всіх підключених ЕП, режим роботи та розташування на генплані цеху.

Виконаємо вибір контакторів і теплових реле для ЕП [16-18].

За номінальною силою струму і загальною потужністю ЕП, за наступною умовою: $I_{\text{ном.к}} \geq I_{\text{ном}}$, приймається до монтажу контактор фірми ІЕК типу КМІ [24]. Аналогічно приймається до монтажу теплове реле фірми ІЕК типу РТІ [25].

Таблиця 3.1 - Технічні параметри контакторів і теплових реле [24, 25]

$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{ном.к}}$, А	Тип контактору	$I_{\text{ном.р}}$, А	Тип теплового реле
3,4	11,68	12	КМІ-11260	12	РТІ-1321 (12-18 А)

Виконаємо вибір автоматичних вимикачів для захисту ЕП, вибір автоматичних вимикачів виконується за наступними умовами [16-18]:

$$U_{\text{n.a.}} \geq U_{\text{мережі}};$$

$$I_{\text{n.a.}} \geq I_{\text{max}};$$

$$I_{\text{nd}} \geq I_{\text{max}};$$

$$I_{\text{reg.ds}} \geq I_{\text{ds}};$$

$$I_{\text{reg.dt}} \geq I_{\text{dt}};$$

де $U_{\text{n.a.}}$ - номінальна напруга автоматичного вимикача; I_{max} - максимальна робоча сила струму; $I_{\text{n.a.}}$ – номінальна сила струму автоматичного вимикача; I_{nd} – номінальна сила струму розчеплювача; $I_{\text{reg.ds}}$ - величина уставки електромагнітного розчеплювача; $I_{\text{reg.dt}}$ – величина вставка теплового розчеплювача.

При захисті електродвигуна: $I_{\text{max}} = I_{\text{нд}}$.

Таблиця 3.2 - Технічні параметри автоматичних вимикачів [12]

$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$I_{\text{НОМ}}$, А	$I_{\text{пуск}}$, А	$I_{\text{уст.отс}}$, А	$I_{\text{НОМ.а}}$, А	$I_{\text{НОМ.отс}}$, А	Тип автоматичного вимикача
3,4	11,68	58,42	130	16	16	NSXm

Підбір проводу живлення - параметри для визначення розрахункової сили струму в проводі представлено в табличному вигляді (див. Додаток А).

$$I_{\text{розр(ЕП34÷38)}} = \frac{P_{\text{розр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi}; \quad (3.1)$$

$$I_{\text{розр(ЕП34÷38)}} = \frac{6,831}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,6} = 16,432\text{А};$$

$$I_{\text{розр(ЕП39)}} = \frac{1,973}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,45} = 6,327\text{А};$$

$$I_{\text{розр(ШР8)}} = I_{\text{розр(ЕП34÷38)}} + I_{\text{розр(ЕП39)}}; \quad (3.2)$$

$$I_{\text{розр(ШР8)}} = 16,432 + 6,327 = 22,759\text{А}.$$

За величиною розрахункової сили струму $I_{\text{розр(ШР8)}}$ ми обираємо провід марки АПВ $4 \times 15\text{мм}^2$ (алюмінієві жили з пластмасовою ізоляцією), для якого допустима сила струму $I_{\text{дл.доп}} = 27\text{А}$.

Підбір розподільної шафи ШР8 - параметри для визначення номінальної сили струму представлені в табличному вигляді в додатках.

$$I_{\text{НОМ(ШР8)}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi}; \quad (3.3)$$

$$I_{\text{НОМ(ШР8)}} = 11,68 \cdot 5 + 14,06 = 72,46\text{А}.$$

До монтажу в цеху приймається розподільча шафа типу ПР8053, із використанням автоматичних вимикачів змінної сили струму, підлогового виконання з числом ліній, що відходять, рівним 6-ти і номінальними силами струму автоматичних вимикачів $I_{ном} = 16A$.

Підбір проводів, що живлять ЕП ШР8

За значенням номінальної сили струму ЕП ШР8 приймається до монтажу провід типу АПВ з алюмінієвими жилами, з полівінілхлоридною ізоляцією.

Вибирається і перевіряється за наступною умовою: $I_{ном} \leq I_{дл.доп}$.

Таблиця 3.3 - Довідкові та розрахункові дані для проводу підключення

$I_{ном}, A$	$I_{дл.доп}, A$	Тип проводу	Кількість провідників	Довжина L, м	$S_{жили}, мм^2$
11,68	19	ПВ	4 (3+1)	8,6	2,5

Вибір магістральних і розподільного шинопроводів для проєкту. Магістральний шинопровід вибирають за розрахунковою силою струму з наступної умови [16-18]:

$$I_{розр} \leq I_{ном},$$

де $I_{ном}$ – номінальна сила струму шинопровода.

Вибір магістрального шинопровода типу ШМАІ, який буде живити обладнання.

Параметри для визначення розрахункової сили струму представлено в табличному вигляді в додатках.

$$I_{розр} = \frac{P_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi}, \quad (3.4)$$

де $P_{розр}$ - розрахункова активна потужність шинопровода, приймаємо

$$P_{\text{розр}} = 322,055 \text{кВт.}$$

До монтажу обирається магістральний шинопровід типу ШМА4-1250-44-У3. Довжина шинопровода - 67 м. Номінальна сила струму шинопровода - $I_{\text{ном}} = 1250\text{А}$.

Виконаємо перевірку шинопровода за втратами напруги:

Головна умова - втрати напруги $\Delta U \leq 5\%$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{розр}} \cdot l \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi), \quad (3.5)$$

де r_0 - питомий активний опір шинопровода, приймаємо $r_0 = 0,034\text{Ом/км}$;

x_0 - питомий індуктивний опір шинопровода, приймаємо $x_0 = 0,016\text{Ом/км}$.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 798,788 \cdot 0,067 \cdot 100}{400} \cdot (0,034 \cdot 0,8 + 0,1 \cdot 0,6) = 0,84\% < 5\%$$

- задовольняє вказаній умові.

Вибір магістрального шинопровода типу ШМАІІ, який буде живити обладнання.

$$I_{\text{розр}} = 1534\text{А} < I_{\text{ном}} = 1600\text{А}.$$

Вибирається до монтажу магістральний шинопровід типу ШМА4-1600-44-У3. Довжина шинопровода - 47 м. Номінальна сила струму шинопровода - $I_{\text{ном}} = 1600\text{А}$.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 1536,967 \cdot 0,047 \cdot 100}{400} \cdot (0,03 \cdot 0,8 + 0,014 \cdot 0,6) = 3,37\%$$

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- задовольняє вказаній умові.

Вибір розподільного шинопроводу типу ШРА.

Параметри розрахункової сили струму представлені в табличному вигляді в додатках.

$$I_{\text{розр}} = 157\text{А} < I_{\text{ном}} = 250\text{А}.$$

Обирається до монтажу розподільчий шинопровід типу ШРА4-250-32-1У3. Довжина шинопроводу - 47 м. Номінальна сила струму шинопровода - $I_{\text{ном}} = 250\text{А}$.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 157,235 \cdot 0,047 \cdot 100}{400} \cdot (0,21 \cdot 0,8 + 0,021 \cdot 0,6) = 0,94\% < 5\%$$

- задовольняє вказаній умові.

За величиною розрахункової сили струму вибирається кабель, що живить ШРА марки АВВГ-4×95мм².

Вибір кабелів, що відповідають за живлення ШР

Параметри розрахункової сили струму представлено в табличному вигляді в додатках.

За значенням розрахункової сили струму приймається до монтажу кабель АВВГ з алюмінієвими жилами, з полівінілхлоридною ізоляцією.

Вибирається і перевіряється за наступною умовою:

$$I_{\text{розр}} = I_{\text{дл.доп.}}$$

Довідкові та розрахункові дані для кабелів подано в табличному вигляді в додатках. Розподіл ЕП по шафах представлено в табличному вигляді в додатках.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		55

Підбір ТС на стороні низького рівня напруги 0,4 кВ.

ТС вибираємо за наступною умовою:

$$I_{ав.Т} \leq I_{1ном.}; \quad (3.6)$$

де $I_{ав.Т}$ – аварійна сила струму трансформатора:

$$I_{ав.Т} = \frac{S_{номТ} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (3.7)$$

$$I_{ав.Т} = \frac{1000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2021A.$$

Обираємо до встановлення ТС типу ТСІ-125 [26], номінальна первинна сила струму $I_{1ном} = 2500A$, номінальна вторинна сила струму $I_{2ном} = 5A$.

Вибір конструкції вступного автоматичного вимикача виконується за умовами захисту трансформатора від виникнення КЗ на стороні низького рівня напруги 0,4 кВ і можливих перевантажень.

Визначимо аварійну силу струму трансформатора з формули [16-18]:

$$I_{ав.Т} = \frac{S_{номТ} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_H},$$

де $S_{номТ}$ - номінальна потужність трансформатора, приймаємо $S_{номТ} = 1000кВА$;

$$I_{ав.Т} = \frac{1000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2021A.$$

Приймається до встановлення автоматичний вимикач типу MVS25N3MF2L

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		56

(або EasyPact MVS) [14].

$$I_{ав.Т} \leq I_{ном.а};$$

$$2021A < 2500A.$$

Знайдемо силу струму спрацьовування електромагнітного розчеплювача:

$$I_{уст.отс.р} = 1,5 \cdot I_{ав.Т}; \quad (3.8)$$

$$I_{уст.отс.р} = 1,5 \cdot 2021 = 3031,5A.$$

Знайдемо силу струму спрацьовування електромагнітного розчеплювача не нижче рівня [16-18]:

$$I_{уст.отс} = 1,5 \cdot I_{ном.а}; \quad (3.9)$$

$$I_{уст.отс} = 1,5 \cdot 2500 = 3750A.$$

Розрахуємо силу струму уставки теплового розчеплювача автоматичного вимикача:

$$I_{уст.т.р.} = 1,25 \cdot I_{ном.а}; \quad (3.10)$$

$$I_{уст.т.р.} = 1,25 \cdot 2500 = 3152A.$$

3.2 Розрахунок сил струмів виникаючого короткого замикання

Під час проектування СЕП враховують не тільки нормальні, тривалі режими

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		57

роботи електроустановок, а й можливі аварійні режими. Одним з аварійних режимів є виникнення КЗ [7-11, 16-18].

Розрахунок сил струмів КЗ виконуємо за даними схеми заміщення складеної для ланцюга «Енергосистема - ЕП №37».

У результаті розрахунків отримуємо наступні показники:

- ударна сила струму трифазного КЗ;
- надперехідна сила струму трифазного КЗ;
- початкове значення періодичної складової сили струму двофазного КЗ;
- діюче значення періодичної складової сили струму трифазного КЗ;
- потужність виникаючого КЗ у початковий момент;
- сила струму однофазного КЗ в одній точці.

Наведемо розрахунок сил струмів КЗ для окремо взятої точки (наприклад, К2).

Розрахунок опорів усіх елементів будемо виконувати у відносних одиницях за стандартної потужності $S_6 = 100$ МВА.

Визначимо опір СЕП з наступної формули [7-11, 16-18]:

$$X_{\text{сист}} = \frac{x \cdot S_6}{S_c}, \quad (3.11)$$

де S_c - потужність СЕП, приймаємо $S_c = 900$ МВА; x - опір системи, віднесений до 110 кВ, приймаємо $x = 0,6$.

$$X_{\text{сист}} = \frac{0,6 \cdot 100}{900} = 0,067.$$

Знайдемо опір реактивний лінії з формули:

$$X_{\text{лін}} = \frac{x_{\text{уд}} \cdot l \cdot S_6}{U_{\text{ср}}^2}; \quad (3.12)$$

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

$$x_{\text{лін}} = \frac{0,425 \cdot 1 \cdot 100}{115^2} = 0,0032.$$

Розрахуємо активний опір лінії з формули:

$$r_{\text{лін}} = \frac{r_{\text{уд}} \cdot l \cdot S_6}{U_{\text{ср}}^2}; \quad (3.13)$$

$$r_{\text{лін}} = \frac{0,465 \cdot 1 \cdot 100}{115^2} = 0,0035.$$

Знайдемо результуючий опір усього ланцюга з формули:

$$Z = \sqrt{r_{\text{лін}}^2 + (x_{\text{лін}} + x_{\text{сист}})^2}; \quad (3.14)$$

$$Z = \sqrt{0,0035^2 + (0,067 + 0,0032)^2} = 0,07.$$

Визначаємо початкове значення періодичної складової сили струму КЗ при виникненні трифазного КЗ [7-11, 16-18]:

$$I'' = \frac{E''_{\text{сист}} \cdot I_6}{Z}; \quad (3.15)$$

де $E''_{\text{сист}}$ - надперехідна електрорушійна сила системи, приймаємо $E''_{\text{сист}} = 1$;

I_6 – базисна сила струму, $I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{кА}$.

$$I'' = \frac{1 \cdot 0,502}{0,07} = 7,17 \text{кА}.$$

Визначаємо значення ударної сили струму за наступною формулою:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I'' \quad (3.16)$$

де k_y - ударний коефіцієнт:

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}, \quad (3.17)$$

T_a - стала часу:

$$T_a = \frac{x_\Sigma}{\omega \cdot r_\Sigma}; \quad (3.18)$$

$$T_a = \frac{0,0702}{314,159 \cdot 0,0035} = 0,00638 \text{ о. е.};$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 7,17 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,0638}}\right) = 18,81 \text{ кА.}$$

Найбільше діюче значення ударної сили струму знайдемо із наступної формули [7-11, 16-18]:

$$I_y = I'' \cdot \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2}; \quad (3.19)$$

$$I_y = 7,17 \cdot \sqrt{1 + 2(1,855 - 1)^2} = 11,25 \text{ кА.}$$

Дані з розрахунку сил струмів виникаючого КЗ для інших точок наведено в додатках. Розрахункова схема і схема заміщення для розрахунку сил струмів КЗ. Представлена в графічному матеріалі до пояснювальної записки.

3.3 Розрахунок компенсації реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності є однією із складових частин завдання електропостачання приватних підприємств.

Передавання реактивної потужності від централізованої енергосистеми до споживачів не раціональне з тієї причини, що виникають додаткові втрати активної потужності та енергії в усіх елементах СЕП, що призводить до зростання перерізу проводів і кабелів, підвищення загальної потужності встановлених трансформаторів, зумовлені завантаженням реактивною потужністю.

Компенсація реактивної потужності є одним з головних напрямків щодо зниження втрат електроенергії. Як засоби компенсації реактивної потужності у мережах загального призначення використовують високовольтні та низьковольтні конденсаторні батареї та встановлюють синхронні електродвигуни.

Пропускна здатність трансформатора встановленого у цеху за реактивною потужністю визначається за наступною формулою [16-18]:

$$Q_{Tr} = \sqrt{(n \cdot k_3 \cdot S_{номТ})^2 - P_{розр}^2}, \quad (3.20)$$

де n - кількість встановлених трансформаторів; k_3 - коефіцієнт завантаження трансформаторів; $P_{розр}$ - розрахункове активне навантаження трансформатора; $S_{ном.Т}$ - номінальна потужність встановленого трансформатора.

Виконаємо необхідний розрахунок для трансформаторної підстанції де встановлено 2 трансформатори типу ТМЗ-1000 нормативний коефіцієнт завантаження яких рівний 0,72. Сумарне розрахункове активне/реактивне навантаження всього цеху буде рівним:

$$P_{розр} / Q_{розр} = 1447,00 \text{ кВт} / 422,00 \text{ кВАр.}$$

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$Q_T = \sqrt{(0,72 \cdot 2 \cdot 1000)^2 - 1447,00^2} = \sqrt{-142,16} = 0 \text{ кВАр.}$$

Отже, реактивної потужності, що видається СЕП для даної групи цехів, буде недостатньо, оскільки $Q_{\text{розр}} > Q_T \Rightarrow 422,00 > 0$.

Таким чином, необхідна величина реактивної потужності становить:

$$Q_{\text{необх}} = Q_p - Q_T; \quad (3.21)$$

$$Q_{\text{необх}} = 422,00 - 0 = 422,00 \text{ кВАр.}$$

Приймаємо до монтажу наступну конденсаторну установку - УКМ58-0,4-500-50 УЗ [27].

Визначимо витратну частину балансу.

Сумарне споживання реактивної потужності на стороні низького рівня напруги 0,4 кВ складає:

$$Q_{0,4\text{кВ}} = 6186,58 \text{ кВАр.}$$

Приймаємо втрати в встановлених трансформаторах рівними 10% від номінальної потужності, що складає:

$$Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot 2 \cdot 10000 = 2000 \text{ кВАр.}$$

Втрати в встановлених в цеху трансформаторах приймаються рівними 10% від номінальної потужності, що складає:

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 8 \cdot (400 + 630 + 1000) = 1024 \text{ кВАр.}$$

Сумарне споживання визначимо із формули:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\Sigma} = Q_{0,4кВ} + \Delta Q_T + Q_{тр}; \quad (3.22)$$

$$Q_{\Sigma} = 6186,58 + 1024 + 2000 = 9210,58 \text{ кВАр.}$$

Резерв для післяаварійних режимів роботи трансформатора складає 10% від сумарної споживаної потужності і дорівнює:

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot Q_{\Sigma}; \quad (3.23)$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot 9210,58 = 921,058 \text{ кВАр.}$$

Знайдемо величину необхідної реактивної потужності із формули:

$$Q_{потр} = Q_{\Sigma} + Q_{рез}; \quad (3.24)$$

$$Q_{потр} = 9210,58 + 921,058 = 10131,698 \text{ кВАр.}$$

Прихідна частина балансу.

Величина реактивної потужності, одержувана від СЕП:

$$Q_{ЭН} = 3734,60 \text{ кВАр.}$$

Дані балансу зводяться до табличного вигляду.

Оскільки СЕП не може забезпечити реактивною потужністю, то встановлюємо необхідні конденсаторні батареї. Дані балансу зводяться до табличного вигляду. До встановлення на трансформаторну підстанцію приймаємо наступну конденсаторну установку - УКМ58-0,4-500-50 У3 [27]; реактивна потужність якої складає: $Q_{ку} = 500$ кВАр; 10 ступенів по 50 кВАр кожна; $I_{бк} = 723$ А.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

В якості захисного апарату встановлюємо автоматичний вимикач типу EZC100H30750 [13].

До монтажу також приймаємо ТС типу TCI-A 800/5 [26].

В якості комутаційного апарату встановлюємо контактор фірми-виробника SCHNEIDER-ELECTRIC типу TeSys LC1-BL - 3P - AC-3 [28].

Схема автоматичного регулювання реактивної потужності.

Дана схема конденсаторної установки за часом виконана на базі аналогових схем. Схема працює таким чином (рис. 3.1), годинниковий механізм замикає свої контакти для подачі сигналу на під'єднання конденсаторної установки до мережі о 7-12-17-20 год. і від'єднання від загальної мережі об 11-14-16-23 год. Сигнал на вмикання/вимикання контактів реле КМ подається з витримкою часу, що здійснюється за допомогою використання реле часу КТ1 або КТ2.

Якщо в момент вмикання конденсаторної установки в мережу рівень напруги в якій вищий за $1,1U_{ном}$, то спрацьовує реле максимальної напруги KV1, а по колу KV1.2 - блок контактів КМ.4 запускається реле часу КТ2, яке, коли замикаються контакти, вмикає реле КЛ1. Реле КЛ1, спрацювавши, розблокує обмотку контактів КМ і конденсаторна установка відключиться від центральної мережі.

Кнопки SB1, SB2 призначені для ручного керування конденсаторною установкою.

Діоди VD1, VD2 використовуються для унеможливлення ввімкнення конденсаторної установки в мережу під час спрацьовування KV1, тобто коли рівень напруги вищий або нижчий за допустимий рівень.

Захист від збільшення рівня напруги реалізовано за допомогою використання реле KV2 і реле часу КТ3, контакти реле КТ3 замикаються і вмикають реле КЛ2, яке через кнопку SB3 і власний контакт КЛ2.2 переходить в автоматичний режим. Реле КЛ2 через власні контакти КЛ2.2 подає живлення на обмотку реле КЛ1, яке розмикає власні нормально замкнені контакти, і розмикає контакт КМ. У разі спрацьовування захисту конденсаторну установку можна

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

підключити до мережі тільки в разі розблокування захисту натисканням спеціальної кнопки SB3.

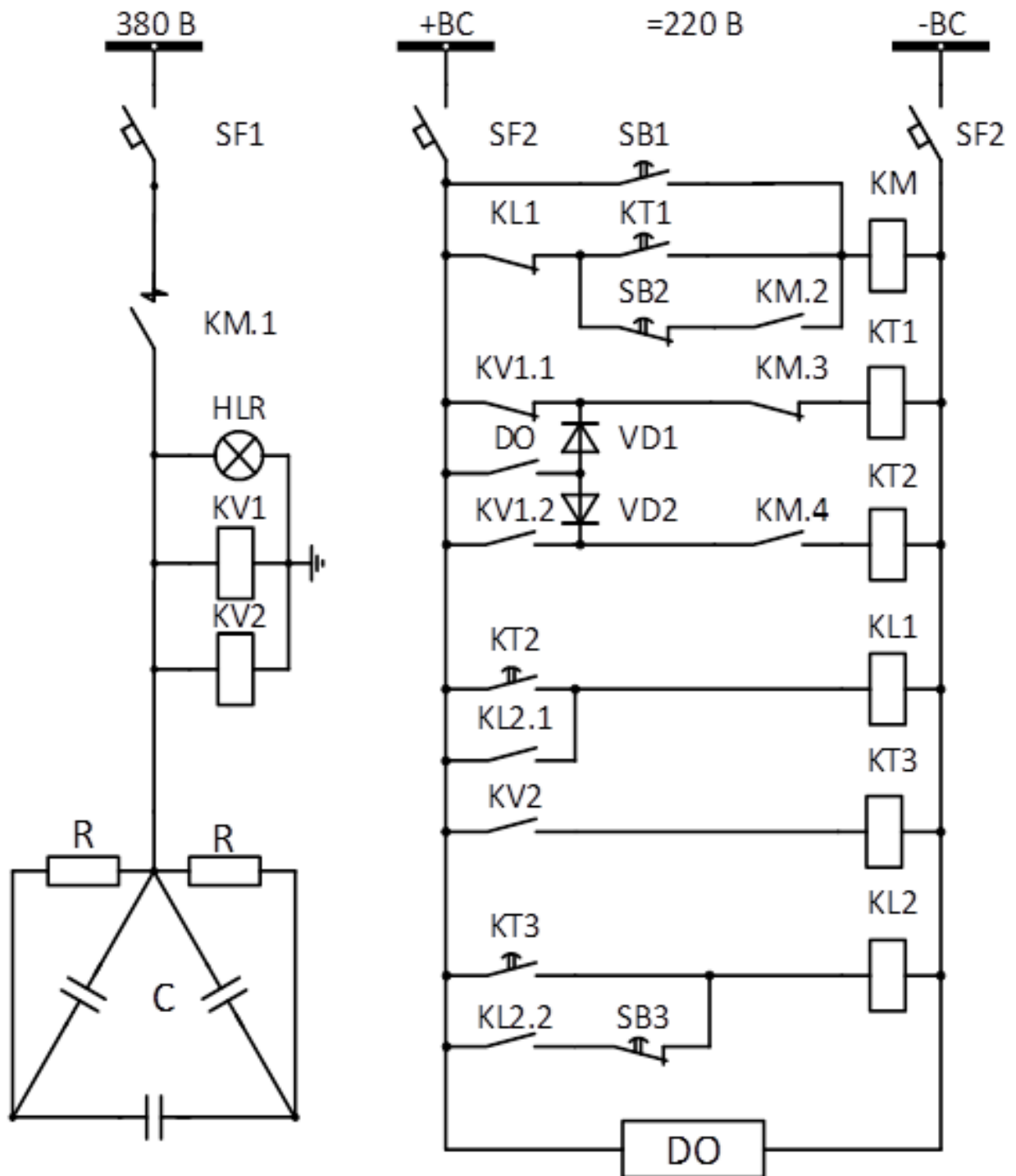


Рисунок 3.1 - Схема захисту й автоматичного керування реактивної потужністю конденсаторної установки

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

65

3.4 Розрахунок захисної та комутаційної апаратури

Апарати та провідники розподільної установки всіх рівнів напруги підстанцій вибираються за умовами тривалого режиму роботи і перевіряються за стійкістю до дії сил струмів КЗ.

Розрахунковими силами струму тривалого режиму є:

- $I_{\text{норм}}$ – найбільша сила струму нормального режиму;
- I_{max} – найбільша сила струму ремонтного або після аварійного режиму.

Виконаємо розрахунок автоматичних вимикачів на рівень напруги в 10 кВ у ланцюзі кабельних ліній живлення.

Автоматичні вимикачі високого рівня напруги служать для комутації електричних кіл у всіх експлуатаційних режимах:

- увімкнення та вимкнення сил струмів навантаження;
- сил струмів намагнічування трансформаторів і зарядних сил струмів ліній і збірних шин, вимкнення сил струмів КЗ.

Вибір автоматичних вимикачів виконується за наступними параметрами [16-18]:

- за рівнем напруги $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$;
- за тривалою силою струму $I_{\text{макс}} \leq I_{\text{ном}}$;
- за вимикальною здатністю $\sqrt{2} \cdot I_{\text{п.т}} + I_{\text{а.т}} \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{відкл.ном}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right)$;

де $\beta_{\text{н}}$ - нормоване значення вмісту аперіодичної складової, %.

Виконаємо перевірку автоматичних вимикачів на:

- електродинамічну стійкість згідно умов:

$$I_{\text{п.о}} \leq I_{\text{дин}}; i_y \leq i_{\text{дин}}; \quad (3.25)$$

де $i_{\text{дин}}$ – найбільша сила струму (або сила струму електродинамічної

стійкості) обирається за каталогом; $I_{\text{дин}}$ - діюче значення періодичної складової гранично наскрізної сили струму КЗ.

- термічну стійкість згідно умов:

$$B_k = I_{\text{п.0}}^2 (t_{\text{відкл}} + T_a) \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}, \quad (3.26)$$

де B_k - тепловий імпульс сили струму КЗ; $I_{\text{терм}}$ - середньоквадратичне значення сили струму за час його протікання; $t_{\text{терм}}$ - тривалість протікання сили струму термічної стійкості.

Вибір конструкції автоматичного вимикача

Визначаємо розрахункову силу струму для вибору захисної апаратури на стороні низького рівня напруги в 10 кВ для радіальної кабельної лінії, що живить трансформаторну підстанцію.

При аварійному режимі (відмова однієї з ліній) максимальна сила струму визначиться з формули [16-18]:

$$I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{H}}};$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1447}{\sqrt{3} \cdot 10} = 77,77 \text{ A.}$$

Розраховані раніше сили струму КЗ для автоматичного вимикача (точка КЗ) будуть рівні:

$$I_{\text{п.0}} = I'' = 4,910 \text{кА}; i_y = 12,784 \text{кА}; I_y = 7,630 \text{кА}; I^{(2)} = 4,252 \text{кА}.$$

Знайдемо аперіодичну складову сили струму виникаючого КЗ за умови максимального значення з формули:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,0} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (3.27)$$

де T_a - стала часу загасання аперіодичної складової сили струму КЗ, приймаємо $T_a = 0,01\text{с}$; $\tau = t_{c,в} + 0,01$ - розрахунковий час, для якого потрібно визначити силу струму КЗ; $t_{c,в}$ - власний час відключення автоматичного вимикача, приймаємо $t_{c,в} = 0,015\text{с}$.

$$\tau = 0,015 + 0,01 = 0,025\text{с};$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 4,910 \cdot e^{-0,025/0,01} = 0,57\text{кА}.$$

Визначаємо тепловий імпульс з наступної формули:

$$W_k = I_{п,0}^2 (t_{відкл} + T_a), \quad (3.28)$$

де $t_{відкл}$ - повний час відключення автоматичного вимикача, $t_{откл} = t_{c,в} + t_{рз} = 0,015 + 0,1 = 0,115\text{с}$; $t_{рз}$ - час спрацьовування релейного захисту, приймаємо $t_{рз} = 0,1\text{с}$.

$$W_k = 4,910^2 \cdot (0,115 + 0,01) = 3,85 \text{кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Приймаємо до встановлення автоматичний вимикач типу ВВ/TEL-10-12,5/630 У2 [29].

Розрахунок кабелю на ділянці до трансформаторної підстанції.

Кабелі широко застосовуються в електроустановках, споживачі низького рівня напруги в 10 кВ, як правило, отримують живлення саме кабельними лініями.

Виконаємо перевірку на термічну стійкість кабельних ліній за допомогою використання методу мінімального перетину провідника. Мінімальний

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		68

поперечний перетин провідника, що відповідає вимогам термічної стійкості під час виникнення КЗ, можна визначити за наступною формулою [16-18]:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \quad (3.29)$$

де C - функція, приймаємо значення $C = 100 \text{ А} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}} / \text{мм}^2$

$$B_k = 4,910^2 \cdot (0,115 + 0,01) = 3,85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{3,85 \cdot 10^6}}{100} = 19,62 \text{ мм}^2 < 240 \text{ мм}^2.$$

На ділянці до трансформаторної підстанції було обрано кабель типу ААШВУ-3х240 мм².

Розрахунок обраного ТС на низький рівень напруги в 10кВ.

ТС вибирається за наступними умовами:

- рівень напруги установки $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$;

- величина сили струму $I_{\text{мах}} \leq I_{1\text{ном}}$;

- величина електродинамічної стійкості: $i_y \leq k_{\text{ед}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1\text{ном}}$; $i_y \leq i_{\text{дин}}$;

де $k_{\text{ед}}$ - кратність електродинамічної стійкості; $I_{1\text{ном}}$ - номінальна первинна сила струму ТС; $i_{\text{дин}}$ – сила струму електродинамічної стійкості.

- величина термічної стійкості: $B_k \leq (k_T \cdot I_{\text{ном}})^2 t_{\text{тер}}$; $B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$;

де k_T - кратність термічної стійкості;

- вторинному навантаженні: $Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}$;

де Z_2 - вторинне навантаження ТС; $Z_{2\text{ном}}$ - номінальне допустиме навантаження ТС в обраному класі точності.

Розрахункові дані ТС [16-18]:

- максимальна сила струму у лінії $I_{\text{мах}} = 77,77 \text{ А}$;

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- ударна сила струму $i_y = 12,784\text{кА}$.

Вибираємо до монтажу ТС типу ТПЛ 10-1-100/5-0,5/10Р; з наступними параметрами - $i_{\text{дин}} = 52\text{кА}$; $I_{\text{тер}} = 10\text{кА}$; $t_{\text{тер}} = 3\text{с}$; номінальне навантаження в класі точності 0,5; $I_{2\text{ном}} = 5\text{А}$.

Визначимо загальний опір приладу з формули:

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{2\text{ном}}^2}; \quad (3.30)$$

$$r_{\text{прил}} = \frac{6}{5^2} = 0,240\text{Ом}.$$

Знайдемо опір з'єднувальних проводів залежить від довжини та поперечного перетину:

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}} \leq Z_{2\text{ном}}; \quad (3.31)$$

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{S_{2\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}^2}; \quad (3.32)$$

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{10}{25} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}};$$

$$r_{\text{пр}} = 0,4 - 0,24 - 0,1 = 0,06 \text{ Ом},$$

де $r_{\text{к}} = 0,1 \text{ Ом}$ – величина опору контактів.

Знаючи величину $r_{\text{пр}}$ можливо визначити поперечний переріз з'єднувальних проводів.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{r_{\text{пр}}}; \quad (3.33)$$

де $\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ - питомий опір провoda із мідними жилами; $l_{\text{розр}}$ - розрахункова довжина, що залежить від схеми з'єднання ТС.

Довжина з'єднувальних проводів від ТС до приладів (в один кінець), приймається приблизно рівною 6 м для ліній низького рівня напруги в 10кВ. Для з'єднання вторинних обмоток ТС за схемою «неповна зірка», приймається наступні значення [16-18]:

$$l_{\text{розр}} = \sqrt{3} \cdot l = \sqrt{3} \cdot 6 = 10,4 \text{ м};$$

$$q = \frac{0,0283 \cdot 10,4}{0,06} = 4,9 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо до монтажу контрольний кабель типу АКРВГ з алюмінієвими жилами перерізом 6мм².

Визначимо опір проводів з наступної формули:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{q}; \quad (3.34)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 10,4}{6} = 0,05 \text{ Ом}.$$

Тоді загальний опір вторинного навантаження визначається за наступною формулою:

$$Z_2 = r_2 = r_{\text{прил}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} = 0,24 + 0,05 + 0,1 = 0,39 \text{ Ом}.$$

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		71

Умова перевірки: $Z_2 = 0,39 \text{ Ом} \leq Z_{2\text{ном}} = 0,4 \text{ Ом}$.

Умова виконується.

Висновки до розділу

В третьому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Розраховано електропостачання інструментального цеху, сили струмів виникаючого короткого замикання, установку компенсації реактивної потужності та захисну і комутаційну апаратуру для електропостачання приватного підприємства.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		72

Висновки

Виконано огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Проведено визначення електричних навантажень цехів та приватного підприємства.

В другому розділі розроблено проєкт мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Визначена селективність релейного захисту мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Виконано проєктування релейного захисту кабельної лінії 10 кВ та захисту силового трансформатора.

В третьому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність мережі електропостачання для побутових та господарських потреб приватного підприємства. Розраховано електропостачання інструментального цеху, сили струмів виникаючого короткого замикання, установку компенсації реактивної потужності та захисну і комутаційну апаратуру для електропостачання приватного підприємства.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		73

10. Електропостачання промислових підприємств :Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с. ISBN 978-617-7474-17-2

11. Проектування систем електропостачання залізниць: Навч. посібник / М. М. Бабаєв, В. С. Блиндюк, О. Д. Супрун та ін.; за ред. М. М. Бабаєва. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – 291 с., рис. 17, табл. 81. ISBN 978-617-654-117-2

12. ComPacT NSXm, нове покоління автоматичних вимикачів. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.se.com/ua/uk/product-range/39910433-compact-nsxm-%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5-%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D1%85-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%87%D1%96%D0%B2/#products>

13. АВТ.ВИМ.EASYPACT EZC100H 3P 30кА 100А. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.se.com/ua/uk/product/EZC100H3100/%D0%B0%D0%B2%D1%82-%D0%B2%D0%B8%D0%BC-easyact-etc100h-3p-30%D0%BA%D0%B0-100%D0%B0/>

14. АВТОМАТИЧНИЙ ВИМИКАЧ MVS 2000А 65кА 3P ET2 СТАЦ РУЧ. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://www.se.com/ua/uk/product/MVS20H3MF2L/%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%87-mvs-2000%D0%B0-65%D0%BA%D0%B0-3%D1%80-%D0%B5%D1%82-%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%86-%D1%80%D1%83%D1%87/>

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		75

15. Кідиба В. П., Шелепетень Т. М. Захист трансформаторів та автотрансформаторів. Львів: Вид. нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. - 180 с.

16. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: підручник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. - 533 с.

17. Яндульський О. С., Дмитренко О. О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. - 102 с.

18. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання / Говоров П.П. та ін. – К. 1996. – 350 с.

19. Реле ЕВ 245 1-20сек, ~220В. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://epts.com.ua/ua/p1025910550-rele-245-20sek.html>

20. Реле максимального струму РТ-81/2. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://electrotochka.com.ua/rele-maksimalnogo-strumu-rt-812>

21. Трансформатори струму ТОЛ, ТПЛ, ТПОЛ - 10 кВ. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://slavgorenergo.com.ua/ua/p883131624-transformatory-toka-tol.html>

22. Реле струму АЛ-1. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://reلسis.ua/ua/products/solid-state-relays/current-relays/al-1>

23. Лічильник LANDIS & GYR ZMR110 CRefRS (E230) 230/400 В 5(100) А трифазний багатотарифний. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://elmisto.com.ua/ua/p287638826-schetchik-landis-and.html>

24. Контактір малогабаритний КМІ-22510 25 А 24 В/АС3 1НВ, ІЕК. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://001.com.ua/uk/kontaktor-malogabarytnyy-kmy-22510-25-a-24-v-ac3-Inv-iek>

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		76

Додатки

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		79

Додаток Б

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		80