

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Електротехнічний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Електричні та електронні апарати

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка
дипломного проекту (роботи)
бакалавра

(ступінь вищої освіти)

на тему
**Комплектний розподільний пристрій 0,4 кВ цехової підстанції з технічним
обліком електроенергії**

Виконав: студент(ка) IV курсу, групи Е- 412

Спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Електричні та електронні апарати

Керівник

Рецензент

Бойко О.

(прізвище та ініціали)

Немикіна О.В.

(прізвище та ініціали)

Колпакова О.А.

(прізвище та ініціали)

2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

факультет: електротехнічний

Кафедра: Електричні та електронні апарати

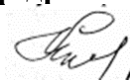
Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
 (код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Електричні та електронні апарати
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



Андрієнко П.Д.

«__01__» __квітня__ 2026__року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Бойко Олександр
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Комплектний розподільний пристрій 0,4 кВ цехової підстанції з технічним обліком електроенергії.

керівник проекту (роботи) Немикіна Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 23 квітня » 2026 року № 160

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 30 квітня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): план розташування електрообладнання механічного цеху, джерело живлення механічного цеху

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Розподільний пристрій РУ-0,4 кВ. 2 Аналіз технологічного процесу проектуваного об'єкта. 3 Розрахунок електричних навантажень. 3 Вибір напруги внутрішньцехового розподілу електроенергії. 5 Вибір кількості та потужності цехових трансформаторів. 6 Вибір варіанта схеми внутрішньцехового розподілу електроенергії. 7 Розрахунок струмів КЗ. 8 Облік електроенергії та аналіз режиму електроспоживання цехової підстанції. . Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Лист 1 Генплан цеху. Лист 2 Схема принципова електрична. Лист 3 Спрощена схема АСТУЕ.

7. Дата видачі завдання «20» березня 2026 року.

[illegible]

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	
1	Розподільний пристрій РУ-0,4 кВ	20.02.2026-11.03.2026	
2	Аналіз технологічного процесу проектуваного об'єкта	12.03.2026-22.03.2026	
3	Вибір напруги внутрішньоцехового розподілу електроенергії, кількості та потужності цехових трансформаторів	25.03.2026-12.04.2026	
4	Розрахунок струмів КЗ.	15.04.2026-26.04.2026	
5	Облік електроенергії та аналіз режиму електроспоживання цехової підстанції.	25.04.2026-05.04.2026	
6	Оформлення ПЗ та графічного матеріалу	22.04.2026-30.04.2026	
7	Аналіз результатів та висновки	25.04.2026-30.04.2026	

_____ **Бойко О.**
(підпис) (прізвище та ініціали)


(підпис)

НЕМИКІНА О.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту на тему: "Комплектний розподільний пристрій 0,4 кВ цехової підстанції з технічним обліком електроенергії" містить 67 ст., 5 табл., 14 рис., 14 використаних джерел.

У дипломному проекті розроблені наступні питання:

- призначення і область застосування розподільного пристрою - 0,4 кВ;
- характеристика технологічного процесу й споживачів;
- розрахунок силового й освітлювального навантажень;
- визначення кількості й потужності трансформаторів КТП ;
- вибір електричних апаратів і перетину КЛ у мережі $U > 1000$ В;
- розрахунок цехової мережі;
- вибір електричних апаратів і перетину КЛ у мережі U до 1000 В;
- розрахунок струмів КЗ у мережі до 1000 В;
- технічний облік електроенергії.

Об'єктом дослідження є розподільний пристрій (РП) 0,4 кВ цехової підстанції.

Предметом дослідження є технічні рішення щодо побудови, функціонування та організації технічного обліку електроенергії в РП 0,4 кВ.

Метою дипломної роботи є розробка та обґрунтування комплектного розподільного пристрою 0,4 кВ цехової підстанції з впровадженням системи технічного обліку електроенергії, що забезпечує підвищення ефективності електропостачання та контроль споживання електричної енергії.

КАТЕГОРІЯ НАДІЙНОСТІ, КОЕФІЦІЄНТ МАКСИМУМУ, КОЕФІЦІЄНТ ПОПИТУ, РОЗРАХУНКОВЕ МАКСИМАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, КОМПЛЕКТНА ТРАНСФОРМАТОРНА ПІДСТАНЦІЯ, КОМПЕНСУЮЧІ ПРИСТРОЇ.

ЗМІСТ

Завдання.....	2
Реферат.....	4
Зміст.....	5
Перелік умовних позначень.....	6
Вступ.....	7
1 Призначення і область застосування розподільного пристрою 0,4 кВ.....	7
2 Характеристики технологічного процесу й споживачів.....	8
3 Розрахунок електричних навантажень.....	16
3.1 Розрахунок освітлювального навантаження.....	16
3.2 Розрахунок силового навантаження.....	18
4 Вибір кількості і потужності трансформаторів КТП з урахуванням компенсації реактивної потужності.....	32
5 Вибір електричних апаратів і провідників живильної мережі.....	44
6 Розрахунок цехової мережі.....	47
6.1 Вибір схеми й конструктивного виконання цехової мережі.....	47
6.2 Вибір уставок захисних апаратів і провідників цехової мережі.....	50
6.3 Вибір тролейних ліній.....	57
7 Розрахунок струмів КЗ у мережі напругою менше 1000 В.....	51
8 Основні заходи щодо техніки безпеки.....	53
9 Облік електроенергії та аналіз режиму електроспоживання цехової підстанції	54
9.1 Призначення автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).....	55
9.2 Аналіз режиму електроспоживання цехової підстанції.....	56
Висновок.....	61
Перелік посилань.....	62

ВСТУП

Сучасний розвиток промисловості та енергетики висуває підвищені вимоги до надійності, безпеки та ефективності систем електропостачання. Особливе значення при цьому мають розподільні пристрої низької напруги, які забезпечують приймання, розподіл та облік електричної енергії на підприємствах.

У сучасних умовах розвитку промисловості, коли на перший план виходять енергоефективність, автоматизація та відповідність вимогам екологічної безпеки, важливість якісного проєктування електропостачання зростає. Особливо це стосується нових виробництв, для яких створення інженерної інфраструктури є основою подальшого функціонування. У цьому контексті велике значення має комплектна трансформаторна підстанція (КТП), яка виступає центральною ланкою в системі внутрішнього енергозабезпечення об'єкта. Одним із ключових елементів КТП є розподільні пристрої напругою 0,4 кВ, що широко застосовуються у цехових підстанціях.

Актуальність теми дипломної роботи полягає у необхідності вдосконалення конструкції та функціональних можливостей комплектних розподільних пристроїв 0,4 кВ цехових підстанцій з урахуванням сучасних вимог до надійності, безпеки, економічності та точності обліку електроенергії.

У процесі розробки також враховуються норми та вимоги чинних нормативних документів, зокрема Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), державних стандартів України, будівельних норм (ДБН) та правил охорони праці..

1. Призначення і область застосування розподільного пристрою -0,4 кВ

Комплектний розподільний пристрій (КРП) 0,4 кВ є важливою складовою внутрішньозаводських мереж електропостачання, оскільки саме на цьому рівні здійснюється розподіл електроенергії між споживачами, захист електрообладнання від аварійних режимів та контроль параметрів електричної енергії. В умовах зростання вартості енергоресурсів та необхідності підвищення енергоефективності особливої актуальності набуває питання впровадження сучасних систем технічного обліку електроенергії.

Технічний облік електроенергії дозволяє отримувати достовірну інформацію про споживання електричної енергії окремими ділянками або технологічними процесами, що є основою для аналізу енергоспоживання, оптимізації режимів роботи обладнання та зниження витрат на електроенергію. Інтеграція засобів обліку в комплектні розподільні пристрої забезпечує централізований контроль, підвищує оперативність управління та сприяє впровадженню автоматизованих систем енергоменеджменту.

Розподільний пристрій (РУ) або головний розподільний щит (ГРЩ) призначений для прийому, розподілу та обліку електричної енергії напругою 380 В трифазного змінного струму частотою 50 Гц в мережах з системою заземлення - TN-C, TN-S, TN-CS, для захисту ліній при перевантаженнях і коротких замиканнях.

РУ-0,4 кВ, як правило, розміщується на ТП 6-10 кВ або в безпосередній близькості від неї. Це перша низьковольтна точка розподілу електроенергії після понижуючих силових трансформаторів, яка може використовуватися для побудови всіх типів головних, вторинних і кінцевих низьковольтних розподільних щитів, розрахованих на струми до 4000 А, призначених для застосування в промислових, адміністративних або побутових будівлях.



Рис 1.- Розподільний пристрій (РУ) або головний розподільний щит (ГРЩ)
Основні функції та особливості РУ-0,4 кВ або головного розподільного щита (ГРЩ)

- введення і розподіл електричної енергії від ТП;
- захист від однофазних і багатofазних коротких замикань;
- комерційний облік електроенергії;
- контроль електричних параметрів на вводі (вводах);
- секціонування збірних шин для забезпечення безпеки обслуговування;
- вступні вимикачі - вимикачі навантаження або автоматичні вимикачі (стаціонарні або викатні);
- автоматичне введення резерву (АВР) для щитів з декількома вводами;

- світлова сигналізація робочого/аварійного стану системи, положення вступних і секційного автоматичних вимикачів;
- конструктивне виконання - підлогове;
- спосіб обслуговування - одностороннє або двостороннє.

Технічні характеристики ГРЩ

- Номінальна напруга - 0,4 кВ;
- Номінальний струм - до 4000 А;
- Стійкість до імпульсу струму I_{pk} - до 220 кА;
- Стійкість до короточасних струмів I_{cw} - до 100 кА;
- Комутаційна здатність ввідних автоматичних вимикачів I_{cu} :
 - стандартна 65 ... 100 кА
 - підвищена 80 ... 120 кА
- Система заземлення відповідно до проекту: TN-C, TN-S, TN-C-S;
- Ступінь захисту: IP31 або IP54 згідно з ГОСТ 14254-96.

Конструкція ГРЩ (головний розподільний щит)

ГРЩ РУ-0,4 кВ складається з набору шаф:

- ШНВ - шафа низьковольтна ввідна;
- ШНС - шафа низьковольтна секційна (для двотрансформаторних ТП);
- ШНЛ - шафа низьковольтна лінійна або фідерна (відходящих ліній).

Структура формування РУ-0,4 кВ:

Корпус: Металеві шафи (панелі), зазвичай встановлювані в закритих приміщеннях ТП 6-10 кВ або окремих щитових.

Ввідні панелі: Приймають енергію від силового трансформатора.

Лінійні панелі: Розподіляють енергію по споживачах.

Комутаційна апаратура: Автоматичні вимикачі, рубильники.

Шинна система: Збірні шини для розподілу струму.

Система захисту та обліку: Захист від КЗ (короткого замикання) та перевантажень, трансформатори струму, лічильники електроенергії.

Кількість шаф РУ-0,4 кВ (ввідні, секційні, фідерні) визначається проектом залежно від потужності трансформаторів, кількості споживачів та вимог щодо резервування. Автомати вибираються за номінальним струмом, согласовуються з перерізом кабелю та перевіряються за струмом КЗ. Стандартні номінали: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 100 А и т.д.

Тобто для формування розподільчого пристрою 0,4 кВ необхідно спочатку розрахувати навантаження приймачів на 0,4 кВ, сформувати електричну мережу а саме кількість ліній, що відходять і потім вибрати автомати в шафах розподільчого пристрою 0,4 кВ.

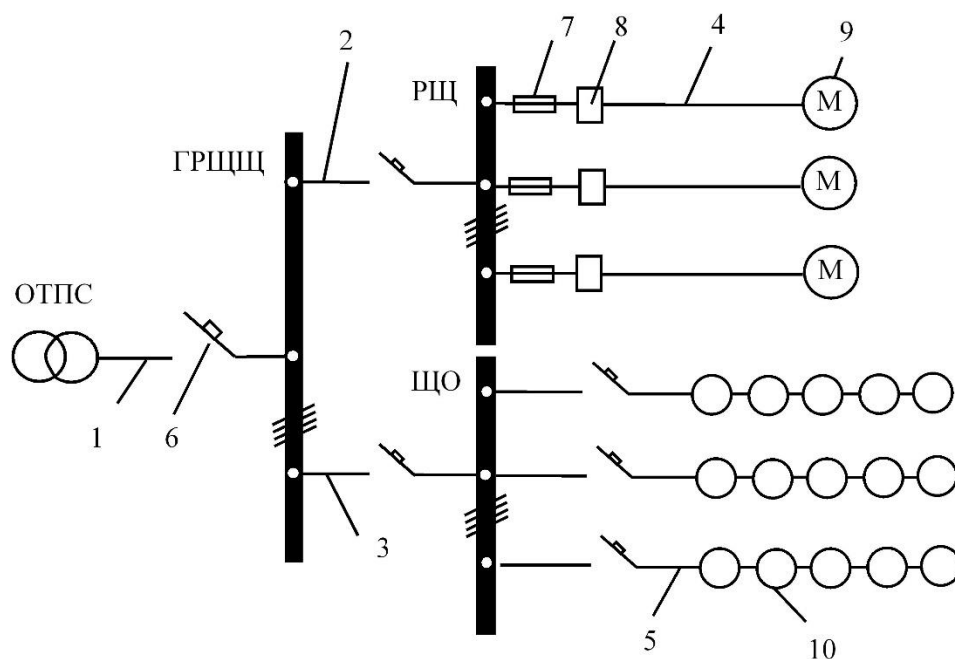


Рис.2. Приклад однолінійної схеми розподільної електричної мережі 0,4кВ від трансформаторної ПС 6-10/0,4 до приймачів електричної енергії 220/380В

ОТПС – об’єктова трансформаторна ПС, що знижує напругу; ГРЩ – головний розподільний щит; РЩ – розподільний щит; ЩО – щит освітлення; 1 – мережа живлення; 2 – розподільна силова мережа; 3 – розподільна освітлювальна мережа; 4 – відгалуження до електричних двигунів; 5 – групова лінія освітлювальної мережі; 6 – автоматичний вимикач; 7 – плавкий запобіжник; 8 – котушка магнітного пускача; 9 – електричний двигун; 10 – електричний світильник

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ І СПОЖИВАЧІВ

Механічний цех є невід'ємною складовою частиною виробництва металургійного заводу. Механічний цех передбачає виробничі та службово-побутові приміщення. Він обслуговує всі цехи основного і допоміжного виробництва заводу, робить поточний та капітальний ремонт, та виготовляє запасні частини до обладнання.

Електроприймачі цеху не пов'язані між собою технологічним процесом, їх робота відбувається незалежно один від одного і зупинка одного або декількох з них не викликає зупинки інших електроприймачів. В основному виробництві механізми механічного цеху служать для обробки металів.

В цеху розташовано наступне обладнання:

- Верстати – призначенні для безпосередньої роботи, пов'язаної з обробкою металевих виробів;
- Насоси – призначення для забезпечення постачання цеху необхідними рідинами;
- Електропечі неавтоматизовані - призначені для запікання обмоток деталей електричних апаратів;
- Вентилятори – забезпечують необхідний рівень вентиляції в приміщенні;
- Машини крапкового зварювання та зварювальні машини шовні – призначенні для зварювання металевих виробів;
- Мостові крани – призначенні для переміщення важких вантажів по території цеху.

Приміщення цеху має пильне середовище. Цех складається з 4-х польотів розміром 72 x 12 м. Висота цеху $H=7,5$ м.

Номінальна напруга технологічного обладнання становить 380/220 В.

Детальні характеристики основних електроприймачів наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Відомості про електроприймачі

Найменування	Установлена потужність, кВт	Кількість, шт
Верстати	28	4
Верстати	20	4
Верстати	22	9
Верстати	17	5
Верстати	14	20
Верстати	10	18
Верстати	7	8
Верстати	4,5	10
Верстати	4	6
Зварювальні машини (шовні)	50 кВА	3
Зварювальні машини (крапкові)	100 кВА	5
Зварювальні машини (крапкові)	75 кВА	2
Електропечі	60	2
Електропечі	30	3
Крани Q=5т	20,7	4
Вентилятори	20	6
Вентилятори	10	2
Насоси	7	3

Електроприймачі цеху відносяться до II та III категорії по надійності електропостачання. Це означає, що у разі аварійного відключення основного джерела живлення необхідне автоматичне або швидке ручне переключення на резервне джерело, що не допускає тривалої перерви у роботі обладнання. Електропостачання цеху передбачається здійснювати від двох або більше комплектних трансформаторних підстанцій (КТП). Це рішення прийнято з

урахуванням можливих перебоїв у зовнішній мережі, які можуть призвести до зупинки виробництва, порушення технологічного процесу та зриву строків виконання замовлень. Забезпечення живлення від декількох незалежних джерел дозволяє гарантувати надійність та безперервність енергопостачання, що є критично важливим для підтримання стабільної роботи заводу.

До цеху прибудовано службово - побутове приміщення розміром у плані 6х36 м і висотою у два поверхи. Джерело живлення цеху – РП-10 кВ, розташоване на відстані 65 м від головної знижувальної підстанції заводу.. Струм КЗ на шинах РП-10 кВ: $I''=15,6$ кА; $I_{\infty}=12,2$ кА. Робочих змін – 3, з нерівномірним завантаженням по змінах: 1:0,8:0,3.

3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для того щоб забезпечити ефективне та безпечне функціонування системи електропостачання промислового підприємства, зокрема розглянутого цеху, необхідно здійснити точний розрахунок електричних навантажень на різних рівнях системи. Це дозволяє правильно вибрати параметри трансформаторів, сформувати РП 0,4кВ та вибрати обладнання, перерізи кабелів, захисну апаратуру та забезпечити відповідний рівень резервування.

3.1 Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахунок навантаження освітлювальної мережі проводиться методом коефіцієнта попиту.

Цей метод є найпростішим і зводиться до підрахунку розрахункового активного навантаження за формулою:.

$$P_{\text{розр}}^{\text{осв}} = P_{\text{вст.цех}} \cdot K_{\text{п}} \cdot K_{\text{ПРА}} \quad (3.1)$$

де $P_{\text{розр}}^{\text{осв}}$ - розрахункове навантаження освітлювальної мережі, кВт;

$P_{\text{вст.цех}}$ – встановлена потужність освітлення цеха, кВт;

$K_{\text{п}}$ - коефіцієнт попиту, який залежить від характеру освітлювального приміщення:

$K_{\text{с}} = 0,95$ - для приміщень цеху;

$K_{\text{с}} = 0,85$ - для службово-побутових приміщень

$K_{\text{ПРА}}$ - коефіцієнт втрат потужності в пускорегулюючій апаратурі газорозрядних ламп:

$K_{\text{ПРА}} = 1,12$ - для ламп ДРІ;

$K_{\text{ПРА}} = 1,3$ - для люмінесцентних ламп.

Розрахунок встановленої потужності освітлення цеху проводиться методом питомої потужності. Це найпростіший метод, який використовується

для оцінювальних, наближених або попередніх розрахунків загального рівномірного освітлення.

Встановлення навантаження освітлення:

$$P_{\text{вст.цех}} = P_{\text{пит}} \cdot S \quad (3.2)$$

$$P_{\text{вст.цех}} = 9,26 \cdot 3456 = 3200 \text{ Вт}$$

де $P_{\text{пит}}$ - питома потужність освітлення $P_{\text{уд}} = 9,26 \text{ Вт/м}^2$ для нормованої освітленості $E_{\text{нор}} = 300 \text{ Лк}$ при використанні ламп ДРІ;

S – загальна площа цеху $S = A \cdot B = 72 \cdot 48 = 3456 \text{ м}^2$.

Для службово-побутового приміщення установлену потужність освітлення [3]:

$$P_{\text{уст}} = 5,1 \cdot (6 \cdot 36) = 1101,6 \text{ Вт}$$

де $P_{\text{пит}}$ - питома потужність освітлення службово-побутового приміщення, Вт/м^2 . $P_{\text{пит}} = 5,1 \text{ Вт/м}^2$ для нормованої освітленості $E_{\text{нор}} = 100 \text{ Лк}$;;

S - площа підлоги, м^2 ;

Для службово-побутових приміщень прийняті люмінесцентні лампи ЛБ-40 зі світильниками ЛСП 02-2х40. Враховуючи те, що побутове приміщення має два поверхи, Т.ч. встановлена потужність освітлення для побутового приміщення буде складати:

$$P_{\text{вст. поб. пр.}} = P_{\text{вст}} \cdot 2$$

де 2 - кількість поверхів побутового приміщення;

$$P_{\text{вст. поб. пр.}} = 1101,6 \cdot 2 = 2203,2 \text{ Вт}$$

Розрахункове навантаження освітлювальної мережі для цеху и побутового приміщення:

$$P_{\text{розр ц}}^{\text{осв}} = 32 \cdot 0,95 \cdot 1,12 = 34,05 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{розр поб.пр.}}^{\text{осв}} = 2,2032 \cdot 0,85 \cdot 1,3 = 2,43 \text{ кВт}$$

Розрахункове навантаження за реактивною потужністю освітлення визначається:

$$Q_{\text{розр}}^{\text{осв}} = P_{\text{розр}}^{\text{осв}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (3.2)$$

де $Q_{\text{розр}}^{\text{осв}}$ - розрахункова реактивна потужність освітлювальної мережі, кВАР;

$\text{tg}\varphi$ - коефіцієнт реактивної потужності.

$\cos\varphi = 0,95$ – для люмінісцентних ламп, $\cos\varphi = 0,85$ для ламп ДРІ.

$$Q_{\text{розр ц}}^{\text{осв}} = 34,05 \cdot 0,6197 = 21,1 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{розр поб.пр.}}^{\text{осв}} = 2,43 \cdot 0,3289 = 0,8 \text{ кВт}$$

Повна потужність освітлення:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{(P_{\text{р ц}}^{\text{осв}} + P_{\text{поб пр}}^{\text{осв}})^2 + (Q_{\text{р ц}}^{\text{осв}} + Q_{\text{поб пр}}^{\text{осв}})^2} \quad (3.3)$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{(34,05 + 2,43)^2 + (21,1 + 0,8)^2} = 42,55 \text{ кВА}$$

3.2 Розрахунок силового навантаження

Розрахунок проводився методом упорядкованих діаграм за допомогою ЕОМ. Вихідні данні для розрахунку наведено в таблиці 3.1 В таблиці наведена номінальна потужність електроприймача ($P_{\text{ном}}$, кВт), кількість, коефіцієнт використання ($K_{\text{в}}$), коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$), тривалість включення ($T_{\text{в}}$, %) та номер підключення вузла.

Для вибору КТП усі електроприймачі підключені до вузла 1.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для розрахунку електричних навантажень методом упорядкованих діаграм

Найменування	$P_{\text{ном}}$, кВт	Кількість, шт	$K_{\text{в}}$	$\cos\varphi$	$T_{\text{в}}$, %	№ вузла
Верстати	28	4	0,16	0,65	100	1
Верстати	20	4	0,16	0,65	100	1
Верстати	22	9	0,16	0,65	100	1
Верстати	17	5	0,16	0,65	100	1
Верстати	14	20	0,16	0,65	100	1

Найменування	Рном, кВт	Кількість, шт	Кв	cosφ	ТВ, %	№ вузла
Верстати	10	18	0,16	0,65	100	1
Верстати	7	8	0,16	0,65	100	1
Верстати	4,5	10	0,16	0,65	100	1
Верстати	4	6	0,16	0,65	100	1
Зварювальні машини (шовні)	50	3	0,35	0,7	25	1
Зварювальні машини (крапкові)	100	5	0,35	0,7	25	1
Зварювальні машини (крапкові)	75	2	0,35	0,7	20	1
Електропечі	60	2	0,65	1	100	1
Електропечі	30	3	0,65	1	100	1
Крани Q=5т	20,7	4	0,1	0,6	25	1
Вентилятори	20	6	0,65	0,8	100	1
Вентилятори	10	2	0,65	0,8	100	1
Насоси	7	3	0,7	0,75	100	1

Результати розрахунку наведено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку електричних навантажень для вибору КТП (вузол №1)

№ номер узла	Р _{уст} , кВт	Р _м , кВт	Q _м , кВАр	S _м , кВа	I _м , А	Р _{см} , кВт	Q _{см} , кВАр	S _{см} , кВА
1	1983,5	629,0	447,3	771,8	1114,0	572,2	447,3	726,3

З урахуванням навантаження освітлення повне розрахункове навантаження КТП цеху:

$$P_{p \text{ КТП}} = P_{\text{розр ц}}^{\text{осв}} + P_{\text{розр поб.пр.}}^{\text{осв}} + P_m \quad (3.4)$$

$$Q_{p \text{ КТП}} = Q_{\text{розр ц}}^{\text{осв}} + Q_{\text{розр поб.пр.}}^{\text{осв}} + P_m \quad (3.5)$$

$$P_{p \text{ КТП}} = 34,05 + 2,43 + 629 = 665,48 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{п ктп}} = 21,1 + 0,8 + 447,3 = 469,2 \text{ кВАр.}$$

4 ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ КТП З УРАХУВАННЯМ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Вибір кількості (1 або 2) та потужності КТП ґрунтується на розрахунковому навантаженні ($P_{p \text{ КТП}}$), категорії надійності, коефіцієнті завантаження (K_3) та компенсації реактивної потужності на стороні 0,4 кВ. Встановлення конденсаторних установок (КРП) зменшує повну потужність трансформаторів (S_T), підвищує коефіцієнт потужності (до 0,95), знижує втрати. Кількість встановлюваних трансформаторів залежить від категорії ЕП за надійністю. Згідно з ПУЕ електропримачі цеху відносяться до другої категорії за надійністю електропостачання.

Для живлення цеху з ЕП II категорії, можливе застосування двотрансформаторної КТП

Визначимо розрахункову потужність трансформатора за формулою:

$$S_{p \text{ Т}} = \frac{P_{p \text{ КТП}}}{n_T \cdot K_3^{\text{опт}}} \quad (4.1)$$

де $K_3^{\text{опт}}$ - оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора. $K_3^{\text{опт}} = 0,7$ – для двотрансформаторної КТП.

Розрахункову потужність трансформатора $S_{p \text{ Т}}$ визначаємо за активною потужністю, так як недостатня реактивна потужність може бути скомпенсована джерелами реактивної потужності - компенсуючими пристроями (КП) напругою 0,4кВ .

Втрати реактивної потужності в трансформаторах визначаємо за формулою:

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n_T \cdot \left(\frac{I_{\text{xx}} \cdot S_{\text{ном Т}}}{100} + K_3^2 \cdot \frac{U_K \cdot S_{\text{ном Т}}}{100} \right) \quad (4.2)$$

де I_k – струм холостого ходу обраного трансформатора, %;

U_k – напруга короткого замикання трансформатора, %;

$S_{ном\ T}$ – номінальна потужність обраного трансформатора, кВА.

n_T – кількість встановлених трансформаторів.

Пропускна здатність трансформатора за реактивною потужністю визначається за формулою:

$$Q_{тр} = \sqrt{(K_3^{опт} \cdot n_T \cdot S_{ном\ T})^2 - P_{р\ КТП}^2} \quad (4.3)$$

Визначимо розрахункову потужність компенсуючих пристроїв на стороні НН за допомогою формули:

$$Q_{нку} = Q_{р\ КТП} + \Delta Q_{тр} - Q_{тр} \quad (4.4)$$

де $Q_{р\ КТП}$ - розрахункова реактивна потужність, кВАр.

Перевірка коефіцієнту завантаження трансформатора проводиться за формулою:

$$K_3 = \frac{\sqrt{P_{р\ КТП}^2 + (Q_{р\ КТП} + \Delta Q_{тр} - Q_{нку})^2}}{n_T \cdot S_{ном\ T}} \quad (4.5)$$

Необхідність установки компенсуючих пристроїв на стороні ВН визначається за формулою:

$$Q_{вку} = Q_{р\ КТП} + \Delta Q_{тр} - Q_{нку}^{ст} - Q_e \quad (4.6)$$

$$Q_e = P_{р\ КТП} \cdot \operatorname{tg} \varphi_e \quad (4.7)$$

Q_e - Економічна доцільна величина реактивної потужності, кВАр

За формулами (4.1) – (4.7) проведемо розрахунки.

Розрахункова потужність двотрансформаторної КТП.

$$S_{p\tau} \geq \frac{665,48}{0,7 \cdot 2} = 475,34 \text{ кВА};$$

Обираємо найближче більше стандартне значення потужності трансформатора 630 кВА, тобто трансформатор ТМЗ-630/10. Відповідно, можна встановити комплектну трансформаторну підстанцію КТП-2х630/10/0,4. Трансформатор має наступні параметри: $S_{ном\tau} = 630 \text{ кВА}$, $U_{BH} = 10 \text{ кВ}$, $U_{HH} = 0,4 \text{ кВ}$, $U_K = 5,5 \%$, $I_{xx} = 1,8 \%$, $\Delta P_K = 7,6 \text{ кВт}$, $\Delta P_{xx} = 1,31 \text{ кВт}$.

$$\Delta Q_{тр} = 2 \cdot \left(\frac{1,8 \cdot 630}{100} + 0,7^2 \cdot \frac{5,5 \cdot 630}{100} \right) = 56,64 \text{ кВАр};$$

$$Q_{тр} = \sqrt{(630 \cdot 0,7 \cdot 2)^2 - 665,48^2} = 578,84 \text{ кВАр}$$

$$Q_{н\kappa\upsilon} = 469,2 + 56,64 - 578,84 = - 53 \text{ кВАр}$$

Розрахунок показав, що установка КП на стороні НН є недоцільною.

$$K_3 = \frac{\sqrt{665,48^2 + (469,2 + 56,64 - 0)^2}}{2 \cdot 630} = 0,673$$

Економічна доцільна величина реактивної потужності, що передається з енергосистеми:

$$Q_e = 665,48 \cdot 0,33 = 219,61 \text{ кВАр}$$

$$Q_{B\kappa\upsilon} = 469,2 + 56,64 - 0 - 219,61 = 306,23 \text{ кВАр}$$

Обираємо для встановлення на стороні 10кВ два конденсаторних пристрій (КП) типу УКЛ(П)Н – 56 – 10,5 – 150 – УЗ.

Конденсаторний пристрій типу УКЛ-56М-10,5-150 УЗ (з роз'єднувачем, розміщення осередку введення – ліворуч) призначен для підвищення коефіцієнта потужності електроустановок промислових підприємств та

розподільчих мереж напругою 10 кВ частоти 50 Гц. Цей пристрій призначен для експлуатації у закритих приміщеннях (категорія 3) у таких умовах:

- інтервал температур від мінус 40 до плюс 40°C;
- відносна вологість повітря до 80% при температурі 20°C;
- висота над рівнем моря трохи більше 1000 м;
- навколишнє середовище невибухонебезпечне, що не містить струмопровідного пилу, агресивних газів і пар у концентраціях, що руйнують метали та ізоляцію.

Конструкція трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ типу ТМ-630/10 кВ.

Трансформаторна підстанція 630/10/0,4 призначена для електропостачання цеха. За надійністю забезпечення електроенергією підстанція задовольняє вимоги електроприймачів другої категорії надійності. Двотрансформаторна підстанція КТП-2×630/10 трансформаторами ТМ-630/10 кВ, дорожче одотрансформаторної, але в після аварійному режимі при відключенні одного з трансформаторів втрачає живлення не весь цех. ТП служить для електропостачання споживачів з амплітудними значеннями наскрізного струму короткого замикання до 15 кА при 10 кВ.

Трансформаторна підстанція розміщується в окремій будівлі, розрахована на встановлення двох трансформаторів потужністю 630 кВ·А та пристрій до чотирьох кабельних вводів 10 кВ з використанням камер комплектного розподільчого пристрою серії КМ1Ф, рис 4.1.

На напрузі 0,4 кВ прийнято одинарну, секційовану на дві секції систему збірних шин. Живлення секцій шин здійснюється від силових трансформаторів, що підключені до розподільного пункту (РП) напругою 0,4 кВ через автомати типу ВА.

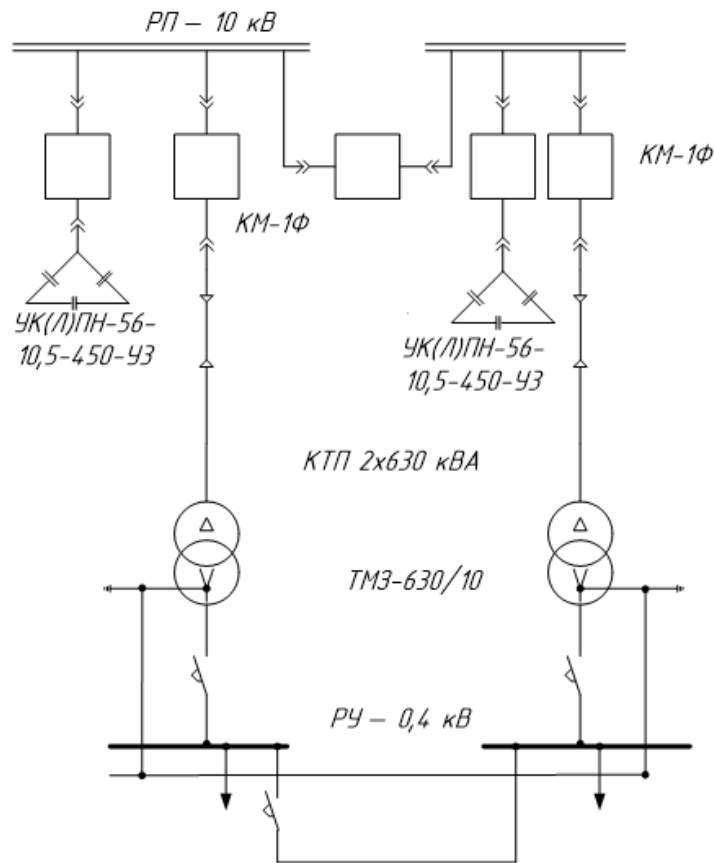


Рисунок 4.1 – Графічне зображення КТП 10/0,4кВ

У комплектній трансформаторній підстанції (КТП) потужністю 630 кВА на стороні низької напруги (РУНН - 0,4 кВ) стандартно передбачається встановлення наступних вимірювальних приладів для технічного контролю параметрів електроенергії:

- вольтметрів на секціях шин напругою 0,4 кВ;
- амперметрів на сторонах напругою 0,4 кВ силових трансформаторів;
- амперметрів на шинах напругою 0,4 кВ, що відходять;
- лічильників на сторонах напругою 0,4 кВ силових трансформаторів.

5 ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ І ПРОВІДНИКІВ МЕРЕЖІ 10кВ

Високовольтний осередок КМ-1Ф - комплектний розподільний пристрій призначений для прийому та розподілу електричної енергії трифазного змінного струму промислової частоти в мережах із ізольованою нейтраллю.

КРП КМ-1Ф застосовуються в закритих розподільних пристроях (РП) та електроустановках з частими комутаційними операціями. Умови обслуговування шаф КМ-1Ф – двостороннє. Корпус шафи є збірною металоконструкцією, розділеною металевими та ізоляційними перегородками на відсіки: висувного елемента; лінійних шин; збірних шин; вихлопу; шафи низьковольтної апаратури, на якій передбачений короб для прокладання низьковольтних кабелів. Шафи КРУ забезпечують управління, захисту та блокування відповідно до замовлення.

У шафах КМ-1Ф в залежності від схеми головних ланцюгів та конкретного замовлення можуть бути встановлені наступні апарати та елементи:

1. вимикачі вакуумні:
 - серії BV\TEL (Таврида-Електрик)
 - серій ВР та ВРС (РЗВА)
 - серії Susol VL (LS Industrial)
 - серії SION (Siemens)
 - серій EASYPACT EXE та Evolis (Schneider Electric)
 - серій VD4, HD4, VM1 (ABB)
 - вимикачі CNC (Китай)
 - вимикачі Chint (Китай)
2. роз'єднувачі та заземлювачі високовольтні (на струми 630...1600 А) з приводами
3. трансформатори струму типу ТОЛ-10, ТОЛУ-10, ТЛК-10 (або аналогічні) від 50 до 3000А;

4. трансформатори напруги типу ЗНОЛ, ЗНОЛП, НОЛП та ін.

5. запобіжники типу ПКТ, ПКН; датчики струму, обмежувачі перенапруг.

Для РП-10кВ вибираємо осередок КРП типу КМ-1Ф з вакуумним вимикачем типу ВВ/TEL-10-20/2000 УЗ.

Максимальний (розрахунковий) струм на стороні ВН:

$$I_{p_макс} = \frac{S_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} \quad (5.1)$$

$S_{розр}$ — повне розрахункове навантаження КТП цеху.

$U_{ВН}$ — напруга ВН, що дорівнює 10 кВ .

$$I_{p_макс} = \frac{\sqrt{665,48^2 + 469,2^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 47 \text{ A},$$

Умови вибору й перевірки вимикача в осередку КРП

Вимикачі вибирають за номінальними значеннями напруги та струму, родом установки, умовами роботи та конструктивним виконанням. Вибрані вимикачі перевіряють на вимикальну здатність та на електродинамічну та термічну стійкість при наскрізних струмах короткого замикання.

$$U_{ном} \geq U_{мережі} \quad (5.2)$$

$$10,5 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}$$

$$I_{ном} \geq I_{p_макс} \quad (5.3)$$

$$1000 \text{ A} \geq 47 \text{ A}$$

$$I_{откл} \geq I'' \quad (5.4)$$

$$20 \text{ кА} \geq 15,6 \text{ кА}$$

$$i_{дин} \geq i_y \quad (5.5)$$

$$51 \text{ кА} \geq 39,7 \text{ кА}$$

$$I_T^2 t_T \geq I_{\infty}^2 \cdot t \quad (5.6)$$

$$1200 \text{ кА}^2\text{с} \geq 92,16 \text{ кА}^2\text{с}$$

де $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга вимикача, кВ;

$U_{\text{мер}}$ – номінальна напруга мережі, кВ;

$I_{\text{ном}}$ – номінальний струм вимикача, А;

$I_{\text{р-макс}}$ – максимальний (розрахунковий) струм, А;

$i_{\text{дин}}$ – відповідно миттєве значення струму електродинамічної стійкості вимикача; кА

i_y ударний струм; кА

I_{∞} – усталене значення струму короткого замикання;

I_T, t_T – відповідно струм термічної стійкості та час його протікання.

В осередку КРП установлюємо трансформатори струму ТЛК-10-1У3.

Площа перерізу КЛ-10кВ вибирається за наступними умовами:

- економічної густини струму;
- довгострокового припустимого нагрівання;
- термічної стійкості до струму короткого замикання.

Вибір перерізу за економічною густиною струму проводиться по формулі:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{р-макс}}}{j_{\text{ек}}} \quad (5.7)$$

де $j_{\text{ек}}$ – економічна густина струму, $j_{\text{ек}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$ для КЛ з алюмінієвими жилами.

$$F_{\text{ек}} = \frac{47}{1,4} = 23,79 \text{ мм}^2.$$

З довідникових даних вибираємо найближчий стандартний переріз кабелю марки ААШв $S_{\text{ст}} = 25 \text{ мм}^2$.

Далі перевіряємо його за умовами нагріву, використовуючи співвідношення:

$$I_{\text{доп}} \cdot K_{\text{прокл}} \geq I_{\text{р max}} \quad (5.8)$$

де $I_{\text{доп}}$ — тривалий допустимий струм для кабелю даного перерізу, А

$K_{\text{прокл}}$ – коефіцієнт, що враховує умови прокладки (3 кабелі в одній траншеї),
 $K_{\text{пр}} = 0,8$;

$$106 \cdot 0,8 \geq 47 \text{ А}$$

Обираємо переріз $S_{\text{ст}} = 35 \text{ мм}^2$. $I_{\text{доп}} = 106 \text{ А}$ при прокладці у траншеї

$$84,8 \geq 47 \text{ А}$$

Вибір перерізу за термічної стійкістю до струмів КЗ проводиться по формулі:

$$F_{\text{min}} = \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_n}}{C} \quad (5.10)$$

де $I_{\infty} = 12,2 \text{ кА}$ - значення струму 3-х фазного КЗ на напруги 10кВ.

$C=95$ - коефіцієнт для КЛ ААШв при прокладці у траншеї;

t_n - наведений час дії к.з.

$$t_n = t_{\text{пп}} + t_{\text{на}} \quad (5.11)$$

$$t_n = 0,8$$

де $t_{\text{пп}}$ та $t_{\text{на}}$ – відповідно періодична й аперіодична складові струму t_n .

$$F_{\text{min}} = \frac{12200 \cdot \sqrt{0,8}}{95} = 116,08 \text{ мм}^2$$

Цей метод веде до завищення, тому обираємо найближчий менший стандартний перетин, тобто 95 мм^2 .

Обираємо КЛ марки ААШв (3х95). Силовий кабель із алюмінієвими жилами (А), з паперовою просоченою ізоляцією, в алюмінієвій оболонці (А) із захисним шлангом із ПВХ-пластику (Шв). Застосовується передачі

електроенергії в стаціонарних установках напругою 10кВ частотою 50Гц. Обрана КЛ має переріз – 95мм².

Кабель ААШв, що живить навантаження КТП цеху прокладено у траншеї.

Основні особливості та вимоги до прокладання кабелю ААШв у траншеї:

Умови ґрунту: Допускається прокладання в землі (траншеях) з низькою та середньою корозійною активністю, а також у ґрунтах з високою активністю, але за умови відсутності блукаючих струмів.

Глибина траншеї: Згідно з нормами, мінімальна глибина закладання становить 0,7 м.

6. РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ

6.1 Вибір схеми й конструктивного виконання цехової мережі

Живлення надходить від силового трансформатора КТП (10/0,4 кВ) через ввідні кабелі. Розташування КТП у цеху неможливо, тому КТП виконується прибудованого типу з боку зовнішнього джерела живлення. КТП містить у собі два силових трансформатора ТМЗ-630/10 та розподільний пристрій 0,4кВ: дві шафи вводу ШНВ-2УЗ та секційну шафу ШНС-3УЗ, укомплектованих автоматичними вимикачами серії ВА. Електроенергія від трансформатора подається на ввідні вимикачі, далі на збірні шини, після чого розподіляється по відхідних лініях до споживачів. У разі аварії відповідний автоматичний вимикач відключає пошкоджену ділянку, не впливаючи на інші.

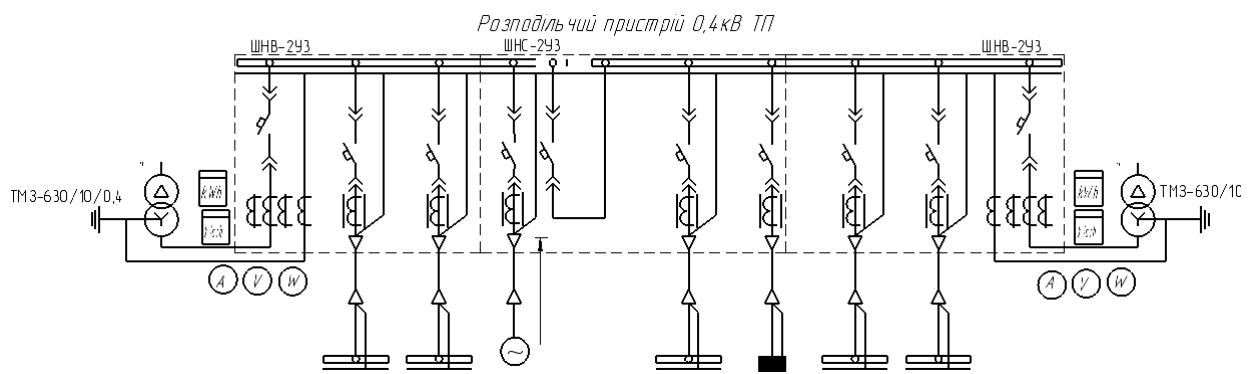


Рисунок 6.1 – Графічне зображення розподільного пристрою 0,4кВ

Розподільний пристрій має дві секції шин 0,4 кВ, що підвищує надійність електропостачання. Між секціями встановлено секційний вимикач, який дозволяє резервувати живлення;

Горизонтально зображені збірні шини 0,4 кВ, до яких підключаються всі відхідні лінії напругою 0,4кВ. Шини розподіляють електроенергію між споживачами. Від шин відходить кілька фідерів (ліній) до навантажень.

Кожна лінія оснащена:

автоматичним вимикачем;

комутаційною апаратурою.

Вимірювальні прилади в розподільний пристрій 0,4кВ:

амперметри (А);
 вольтметри (V);
 лічильники (kW h або kvar h).

Лічильники активної та реактивної потужності — це електронні прилади обліку, що вимірюють корисну енергію (kW h) та навантаження на мережу від індуктивних/ємнісних споживачів (kvar h). Вони забезпечують точний облік у трифазних мережах, часто підтримують багатотарифність та використовуються для АСКОЕ.

Контрольно-допоміжні елементи

Кнопки керування;

сигнальні лампи;

релейний захист (може бути реалізований окремо).

Для цехової мережі обрана двох рівнева схема. Перший рівень від розподільного пристрою 0,4 кВ до проміжних вузлів навантаження, другий рівень від проміжних вузлів навантаження безпосередньо до електроприймачів.

В якості проміжних вузлів навантаження використовуються радіальні шинопроводи типу ШРА73-У3 для живлення силового навантаження та щит освітлення типу ЩО. Живильна мережа цеху 0,4 кВ виконана кабельними лініями марки АВВГ (алюмінієві жили, ПВХ ізоляція, ПВХ оболонка, голий), із прокладкою кабелів по стінах на конструкціях.

Розподільна мережа 0,4 кВ виконана проводом марки АПВ. ЕП цеху підключаються через спуски проводу АПВ від ШРА, які прокладаються у металевих рукавах.

Таблиця 6.1 – Вибір апаратів захисту шаф КТП

№ приєднання	Назва вузла	Розрахунковий струм вузла, I_p , А	Тип шафи	Тип автоматичного вимикача	Струм АВ, $I_{ном}$, А
1	ввідний АВ	557	ШНВ-2У3	ВА55-43	1600
2	ШРА 1	125,8		ВА51-39	630
3	ШРА 2	175,1		ВА51-39	630

4	секційний АВ	1114,0	ШНС-3УЗ	ВА55-43	1600
5	ШРА 3	500,9		ВА51-39	630
6	ЩО	25,1		ВА51-35	250
7	ШРА 4	196,5	ШНВ-2УЗ	ВА51-35	250
8	ШРА 5	312,6		ВА51-39	630
9	ввідний АВ	557		ВА55-43	1600

Вибір шинопроводів проводимо за наступною умовою:

$$I_{\text{ном}} \geq I_p \quad (6.1)$$

Згідно умови (6.1) обираємо шинопроводи марки ШРА73-УЗ

$$400A \geq 125,8 A$$

Перевіряємо обрані шинопроводи за втратами напруги (нормоване значення 5%):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot I_p \cdot l \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot (r_{\text{л}} \cdot \cos\varphi + x_{\text{л}} \cdot \sin\varphi) \quad (6.2)$$

де I_p – розрахунковий струм шинопровода, А;

l – довжина шинопроводу, км;

$r_{\text{л}}$, $x_{\text{л}}$ – питомі активний та індуктивний опори ШРА, відповідно, Ом/км

$$\Delta U_{\text{ШРА1}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 125,8 \cdot 0,072 \cdot 100}{380} \cdot (0,15 \cdot 0,8 + 0,17 \cdot 0,6) = 0,46 \%$$

$$\Delta U_{\text{ШРА2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 175,1 \cdot 0,072 \cdot 100}{380} \cdot (0,15 \cdot 0,8 + 0,17 \cdot 0,6) = 0,64 \%$$

Інші шинопроводи відповідають нормативним втратам напруги.

6.2 Розрахунок живильної мережі

Живильна мережа - це ділянка цехової мережі від РП-0,4 кВ до ШРА і ЩО. Для даної мережі проведемо вибір уставок автоматичних вимикачів та вибір перерізу кабельної лінії.

Захист живильної мережі виконується за допомогою автоматичних вимикачів з тепловими та електромагнітними розщеплювачами.

Уставки автоматичних вимикачів вибираються за наступними умовами:

$$U_{\text{ном а}} \geq U_{\text{мер}} \quad (6.3)$$

$$I_{\text{ном а}} \geq I_p \quad (6.4)$$

$$I_{\text{теп роз}} \geq I_p \quad (6.5)$$

$$I_{\text{ел маг роз}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пik}} \quad (6.6)$$

де $U_{\text{ном а}}$ – номінальна напруга АВ, В;

$U_{\text{мер}}$ – номінальна напруга мережі, В;

$I_{\text{ном а}}$ – номінальний струм АВ, А;

$I_{\text{теп роз}}$ – номінальний струм теплового розщеплювача АВ, А;

$I_{\text{ел маг роз}}$ – струм електромагнітного розщеплювача АВ, А;

I_p – розрахунковий струм лінії, А;

$I_{\text{пik}}$ – піковий струм лінії, А.

$$I_{\text{пik}} = I_p + (K_{\text{п}} - 1) \cdot I_{\text{ном max}} \quad (6.7)$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнту пуску.

Живильна мережа цеху 0,4 кВ виконана кабельними лініями марки АВВГ, кількість жил кабелю АВВГ = 4 : трифазної жили та нульова жила.

Переріз КЛ проводиться за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{поп}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{сер}}} \quad (6.8)$$

де $I_{\text{доп}}$ – допустимий тривалий струм для провідників з врахуванням умов прокладення та відхилення параметрів навколишнього середовища від

стандартних умов при їх довготривалому характері (вказано у таблицях ПУЕ [1]), згідно яких й обирається переріз провідників, A ;

$K_{\text{поп}}$ – поправочний коефіцієнт, $K_{\text{поп}} = 0,92$;

$K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт, що враховує умови прокладки, $K_{\text{пр}} = 0,9$;

$K_{\text{сер}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив навколишнього середовища, $K_{\text{сер}} = 1$.

Обрані КЛ перевіряються за умовами:

$$I_{\text{доп КЛ}} \geq I_{\text{р ШРА}} \quad (6.9)$$

$$I_{\text{доп КЛ}} \geq I_{\text{ном теп роз}} \quad (6.10)$$

Проведемо вибір уставок АВ та перерізу КЛ для лінії від РП-0,4кВ до ШРА1. Для встановлення в шафі КТП обираємо автоматичний вимикач типу ВА.

$$400 \text{ A} \geq 380 \text{ A}$$

$$250 \text{ A} \geq 125,8 \text{ A}$$

$$250 \text{ A} \geq 141,09 \text{ A}$$

$$I_{\text{пик}} = 125,8 + (5,5 - 1) \cdot 80,3 = 346,25 \text{ A}$$

$$2500 \geq 346,25$$

Переріз КЛ проводиться за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{125,8}{0,9 \cdot 1 \cdot 0,92}$$

$$I_{\text{доп}} \geq 151,9 \text{ A}$$

Вибираємо кабель АВВГ 2х [3х95 + 1х50] $I_{\text{доп}} = 2 \times 170 = 340 \text{ A}$.

Перевіримо виконання умов (6.9) та (6.10):

$$170 \text{ A} \geq 125,8 \text{ A}$$

$$340 \text{ A} \geq 250 \text{ A}$$

Розрахунок для останніх приєднань проводиться аналогічно. Результати вибору уставок та перерізу КЛ наведено в зведеній таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Вибір уставок АВ та перерізів КЛ для живильної мережі

Найменування приєднання	I_p, A	Тип АВ	$I_{ном\ АВ}, A$	$I_{теп.рас\ АВ}, A$	$I_{ел.маг.рас\ АВ}, A$	Переріз кабелю АВВГ	$I_{доп\ КЛ}, A$
Ввод	1114,0	ВА55-43	1600	1280	3200	-	-
ШРА 1	125,8	ВА51-39	630	250	2500	2х [3х95 + 1х50]	2 х 170=340
ШРА 2	175,1	ВА51-39	630	400	2500	2х [3х120+1х70]	2 х 200=400
секційний АВ	1114,0	ВА55-43	1600	1280	3200	-	-
ШРА3	500,9	ВА51-39	630	630	2500	2х[3х185+1х120]	2х270 =540
ШРА4	196,5	ВА51-35	250	400	2500	2х [3х120+1х70]	2 х 200=400
ШРА5	312,6	ВА51-39	630	400	2500	2х [3х120+1х70]	2 х 200=400

Для розподільчої мережі вибираємо провід АПВ. Шинопроводи комплектуються запобіжниками типу ПН.

Номінальний струм плавкої вставки запобіжника вибирається за умовами:

$$U_{ном\ зап} \geq U_{мер} \quad (6.11)$$

$$I_{ном\ пл\ вст} \geq I_{ном} \quad (6.12)$$

$$I_{ном\ пл\ вст} \geq \frac{I_{пуск}}{\alpha} \quad (6.13)$$

де $I_{пуск}$ – пусковий струм ЕП, А;

Пусковий струм одного ЕП визначається за формулою:

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном},$$

де $I_{ном}$ – номінальний струм електроприймача, А;

$k_{пуск}$ - коефіцієнт пуску, який приймається 5 – для асинхронних двигунів з коротко замкнутим ротором й для синхронних двигунів, 2,5 – для двигунів постійного струму та асинхронних двигунів з фазним ротором, 3 – для зварювальних та пічних трансформаторів, машин контактного зварювання при максимальній вторинній напрузі.

α – значення . $\alpha = 2,5$ легкий пуск; $\alpha = 1,6$ важкий пуск.

$I_{ном}$ – номінальний струм електроприймача, А;

$$I_{ном} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot U_{ном} \cdot \eta} \quad (6.14)$$

Перетин проводів АПВ вибирається за умовою:

$$I_{доп} \geq I_{ном} \quad (6.15)$$

Також необхідно перерізи перевірити за умовою відповідності до захисного апарату:

$$I_{доп} \geq K_{зах} \cdot I_{зах}, \quad (6.15)$$

де $K_{зах}$ – нормована кратність допустимого струмового навантаження на провідники щодо параметрів апаратів захисту, визначається ПУЕ [1] залежно від призначення прийнятого виду захисту, вимог до захисту електричної мережі, ізоляції провідників і вимог до їх прокладки;

$I_{зах}$ – струм уставок апаратів захисту, А.

У проекті для живильної цехової мережі $K_{зах}$ дорівнює 1, для розподільної – 0,33. Струм уставок апаратів захисту для живильної мережі це струм уставки теплового розчеплювача ($I_{т розч}$), а для розподільної – номінальний струм плавкої вставки ($I_{номВСТ}$).

Проведемо вибір запобіжників та перерізу проводу АПВ для верстату.

$$I_{ном} = \frac{28}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 0,38 \cdot 0,92} = 57,8 \text{ А}$$

$$I_{пуск} = 5 \cdot 57,8 = 289,35 \text{ А}$$

Для встановлення обираємо запобіжники ПН-2-250-200. Перевіримо їх по умовам (6.11) – (6.13):

$$380 \text{ В} \geq 380 \text{ В}$$

$$200 \text{ А} \geq 57,8 \text{ А}$$

$$200 \text{ А} \geq \frac{289,35}{2,5} \text{ А або } 200 \text{ А} \geq 115,74 \text{ А}$$

За умовою (6.15) оберемо переріз проводу АПВ:

$$85 \text{ A} \geq 57,8 \text{ A}$$

$$85 \text{ A} \geq 0,33 \cdot 200 \text{ A} \text{ або } 85 \text{ A} \geq 66 \text{ A}$$

Вибираємо провід АПВ 3(1х35) + 1х16 з $I_{\text{доп}}=85 \text{ A}$.

Розрахунки для інших ЕП виконані аналогічно. Результати розрахунку наведено в зведеній таблиці 6.3

Таблиця 6.3 – Вибір уставок запобіжників та перерізів проводів розподільної мережі

№ ЕП за планом	Найменування ЕП	$I_{\text{ном}}, \text{ A}$	$\frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha}, \text{ A}$	Тип	$I_{\text{ном з}}, \text{ A}$	$I_{\text{ном пл вст}}, \text{ A}$	Переріз проводу АПВ	$I_{\text{доп}}, \text{ A}$
14; 16; 111; 112.	Верстати P=28 кВт	57,8	115,7	ПН2-250	250	200	3(1х35)+1х16	85
113-116.	Верстати P=20 кВт	50,8	101,6	ПН2-250	250	120	3(1х16)+1х8	55
15;17;18; 35-40.	Верстати P=22 кВт	55,9	111,8	ПН2-250	250	120	3(1х25)+1х10	70
3; 6; 7; 8;12.	Верстати P=17 кВт	43,2	86,4	ПН2-100	100	100	3(1х16)+1х8	55
9;13;19-21; 23-27; 59-65; 70-74; 96-102	Верстати P=14 кВт	35,6	71,1	ПН2-100	100	80	3(1х10)+1х6	39
28-34; 84-95.	Верстати P=10 кВт	25,4	50,8	ПН2-100	100	60	3(1х5)+1х2,5	27
1;2;5;10; 78-82.	Верстати P=7 кВт	17,8	35,6	ПН2-60	60	40	3(1х2,5)+1х2,5	19
41-50.	Верстати P=4,5 кВт	11,43	25,4	ПН2-60	60	30	3(1х2,5)+1х2,5	19
4;103-105;107.	Верстати P=4 кВт	10,2	17,8	ПН2-100	60	25	3(1х2,5)+1х2,5	19
51-53.	Зварювальні машини шовні S=50 кВА ПВ=25%	59	147,5	ПН2-250	250	150	3(1х25)+1х10	70
54-58.	Зварювальні машини шовні S=100 кВА ПВ=25%	117,8	235,6	ПН2-250	250	250	3(1х50)+1х25	120
11-12.	Зварювальні машини крапкові S=75 кВА ПВ=20%	79,1	158,2	ПН2-250	250	200	3(1х35)+1х16	85
118; 119.	Електропечі неавтоматизовані P=60 кВт	99,1	198,2	ПН2-250	250	200	3(1х50)+1х25	120
120;121;	Електропечі неавтоматизовані P=30 кВт	49,6	99,2	ПН2-100	100	100	3(1х16)+1х8	55

66;68;69; 106;110; 119.	Вентилятори P=20 кВт	40,8	81,6	ПН2- 100	100	100	3(1x16)+1x8	55
75;76.	Вентилятори P=10 кВт	20,4	40,8	ПН2- 60	60	60	3(1x3)+1x2,5	21
13, 18	Насоси P=7 кВт	15,4	30,8	ПН2- 60	60	40	3(1x2,5)+1x2,5	19

6.3 Розрахунок тролейних ліній

Для підключення кранових установок застосовані тролейні лінії, які підключенні через силові ящики ЯРП11-31, укомплектовані рубильниками Р11-326 і запобіжником ПН-2.

Кран у пролеті цеха: ТВ=25% – 1x20,7кВт з двигунами 11+7,5+2,2.

Номінальний та пусковий струми для двигуна максимальної потужності (двигун підйому):

$$I_{ном.мах} = \frac{P_{ном.мах}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном} \cdot \eta_{ном}} \quad (6.16)$$

де $\cos \varphi_{ном} = 0,85$ - номінальний коефіцієнт потужності.

$\eta_{ном} = 0,9$ - номінальний ККД.

$$I_{ном.мах} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 21,87 \text{ А}$$

$$I_{пуск} = I_{ном.мах} \cdot k_{пуск} \quad (6.17)$$

$$I_{пуск} = 2,5 \cdot 21,87 = 54,68 \text{ А}$$

$k_{пуск} = 2,5$ для двигуна підйому

Споживана потужність кранової установки:

$$P_{потр} = \frac{P_{уст} \cdot \sqrt{ТВ}}{\eta} \quad (6.18)$$

$$P_{номр} = \frac{20,7 \cdot \sqrt{0,25}}{0,9} = 11,5 \text{ кВт}$$

Розрахунковий струм кранової установки:

$$I_p = \frac{\sqrt{(P_{номр} \cdot k_c)^2 + (P_{номр} \cdot k_c \cdot \operatorname{tg} \varphi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (6.19)$$

де $k_c = 0,4$ - для 1 крану у прольоті;

$k_c = 0,3 \div 0,35$ - для 2 та більше кранів у прольоті;

$\operatorname{tg} \varphi$ - приймається з умови споживання реактивної потужності при $\cos \varphi = 0,5 \div 0,6$.

$$I_p = \frac{\sqrt{(11,5 \cdot 0,4)^2 + (11,5 \cdot 0,4 \cdot 1,73)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 11,7 \text{ А}$$

Для троллеї приймаємо кутову сталь 50х50х5

$$I_{доп} = 345 \text{ А} \geq I_p = 11,7 \text{ А}$$

При живленні (ЯРП) від середини, розрахункова довжина тролей:

$$L_{тр} = \frac{A - 2 \cdot l_{мз}}{2} \quad (6.20)$$

де A - довжина прольоту, м;

$l_{мз} = 1 \div 1,5 \text{ м}$ - довжина мертвої зони.

$$L_{тр} = \frac{75 - 2 \cdot 1,5}{2} = 36 \text{ м}$$

Втрати напруги у троллях:

$$\Delta U_{т} = \frac{\Delta l \cdot L_{тр} \cdot I_{пуск}}{10000}, \quad (6.18)$$

де Δl – - питома втрата напруги на 100 А- пікового струму та 100 м довжини тролєї, В/А·м;

$$\Delta U_T = \frac{8.7 \cdot 35 \cdot 54,68}{10000} = 1,66 \text{ В.}$$

Відхилення від номінальної напруги у тролєях у % для прольоту

$$\Delta U'_T = \frac{\Delta U_T \cdot 100}{U_{\text{ном}}}, \quad (6.24)$$

$$\Delta U'_T = \frac{1,66 \cdot 100}{380} = 0,44 \%,$$

Витрати напруги у тролєї не перевищують 5 %, що допустимо.

Плавка вставка запобіжника ПН-2, що встановлений у ЯРП:

$$I_{\text{ном.пл.вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{1,6} \quad (6.19)$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{1,6} = \frac{109,4}{1,6} = 58,71 \text{ А}$$

$$100 \geq 58,71$$

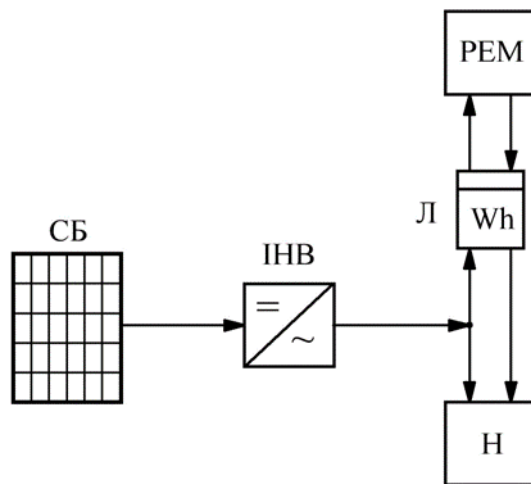
Приймаємо $I_{\text{ном.пл.вст.}} = 100 \text{ А}$

6.4 Застосування дахової сонячної фотоелектростанції (ФЕС)

Застосування дахової сонячної фотоелектростанції (ФЕС) для цеху або промислового приміщення як одного з найперспективніших рішень для підвищення автономності та енергетичної незалежності сучасного промислового підприємства. Світова тенденція переходу промисловості до відновлюваних джерел енергії вже давно стала частиною стратегії розвитку країн ЄС та інших економічно розвинених держав. Використання сонячних електростанцій на дахах виробничих будівель активно впроваджується у транспортному машинобудуванні, металообробці, логістичних центрах та

інших енергоємних галузях. Це пов'язано не тільки з економічною ефективністю, але й із підвищенням рівня енергетичної автономії, що має критичне значення в умовах нестабільного енергопостачання та зростання тарифів на електроенергію.

Узагальнена функціональна схема ФЕС, яка працює паралельно з електромережею цеху напругою 0,4кВ, показана на рис. 6.1.



СБ – сонячна батарея; ІНВ –інвертор; Л –лічильник активної електроенергії(двонаправлений);

РЕМ – розподільна електрична мережа напругою 380В.

Н – електричне навантаження цеху 380В.

Рис. 6.1. - Функціональна схема ФЕС, що працює паралельно з електричною мережею

Проект передбачає встановлення фотоелектричної станції потужністю з 50 кВт з метою підвищення автономності та енергетичної незалежності а також зниження споживання електроенергії з мережі.

Таблиця 6.4 - Характеристики фотоелектричної системи

Параметр	Значення
Тип сонячної електростанції	Мережева під власне споживання
Місце встановлення	Дах цеху
Номінальна потужність (інвентуру), кВт	50
Потужність сонячного масиву, кВт	75

Напруга підключення змінного струму, В	$380 \pm 20\%$
Напрямок встановлення по азимуту	Південь
Кут встановлення сонячного масиву, град	34,7

7. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ У МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ МЕНШЕ 1000 В

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) у мережах напругою нижче 1000 В (0,4 кВ) проводиться для вибору та перевірки електричних апаратів захисту (автоматичних вимикачів, запобіжників). У таких мережах важливо враховувати активні та реактивні опори всіх елементів кола, оскільки вони суттєво впливають на величину струму.

Розрахунок струмів КЗ виконуємо для найбільш віддаленого ЕП підключеного до ШРА1.

Розрахунок виконується методом іменованих одиниць.

Розрахуємо індуктивні та активні опори прямої послідовності елементів схеми.

Визначимо опір системи за формулою:

$$X_c = \frac{U_{HH}^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I'' \cdot U_{BH}} \quad (7.1)$$

де I'' - надперехідний струм КЗ, $I''=15,6$ кА за завданням;

U_{BH} - номінальна напруга на високій стороні, $U_{BH} = 10$ кВ;

U_{HH} - номінальна напруга на низькій стороні, $U_{HH} = 0,4$ кВ.

$$X_c = \frac{0,4^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 15,6 \cdot 10} = 0,59 \text{ мОм}$$

Визначимо опір для кабельної лінії:

$$R_{кл} = R_0 \cdot l \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 \quad (7.2)$$

$$X_{кл} = X_0 \cdot l \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 \quad (7.3)$$

де R_0, X_0 - питомі активний та індуктивний опори відповідно, Ом/км.

l - довжина кабельної лінії, $l = 65$ м.

$$R_{\text{кл}} = 0,329 \cdot 65 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 = 0,034 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{кл}} = 0,083 \cdot 65 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 = 0,0086 \text{ мОм}$$

Визначимо активний опір трансформатора:

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{ном.Т}}^2} \quad (7.4)$$

$$R_T = \frac{0,4^2 \cdot 10^3 \cdot 7,6}{630^2} = 3,06 \text{ мОм}$$

Визначимо повний опір трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{ном.Т}}} \quad (7.5)$$

де U_k - напруга КЗ, %;

$S_{\text{ном.Т}}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА.

Для трансформатора ТМЗ 630/10/0,4 $U_k = 5,5\%$.

$$Z_T = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^3 = 13,97$$

Визначимо реактивний опір трансформатора:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (7.6)$$

$$X_T = \sqrt{13,97^2 - 3,06^2} = 13,63 \text{ мОм}$$

Визначимо опір для кабельної лінії РП-0,4 кВ – ШРА1.

Кабель АВВГ(3х95 +1х50).

Опір фазної жили складає:

$$R_{K\Phi} = R_0 \cdot l \quad (7.7)$$

$$X_{K\Phi} = X_0 \cdot l \quad (7.8)$$

де R_0, X_0 - питомі активний та індуктивний опори відповідно, Ом/км.

l - довжина кабельної лінії, $l = 54$ м.

$$R_{K\Phi} = 0,329 \cdot 54 = 17,77 \text{ Ом}$$

$$X_{K\Phi} = 0,083 \cdot 54 = 4,482 \text{ Ом}$$

За формулами (7.7) та (7.8) знайдемо опори нульової жили кабелю:

$$R_{0\Phi} = 0,625 \cdot 54 = 33,75 \text{ Ом}$$

$$X_{0\Phi} = 0,09 \cdot 54 = 4,86 \text{ Ом}$$

Опір петі фаза – нуль для кабелю АВВГ складає:

$$R_{\Pi\Phi-0} = R_{K\Phi} + R_{K0} \quad (7.9)$$

$$X_{\Pi\Phi-0} = X_{K\Phi} + X_{K0} \quad (7.10)$$

$$R_{\Pi\Phi-0} = 17,77 + 33,75 = 51,52 \text{ Ом}$$

$$X_{\Pi\Phi-0} = 4,482 + 4,86 = 9,342 \text{ Ом}$$

За формулами (7.7) та (7.8) знайдемо опори фазної та нульової жили проводу АПВ:

$$R_{\Pi\Phi} = 7,4 \cdot 2 = 14,8 \text{ Ом}$$

$$X_{\Pi\Phi} = 0,104 \cdot 2 = 0,208 \text{ Ом}$$

$$R_{\Pi 0} = 7,4 \cdot 2 = 14,8 \text{ Ом}$$

$$X_{\Pi 0} = 0,104 \cdot 2 = 0,146 \text{ Ом}$$

Опір петлі фаза – нуль проводу АПВ 3(1x10)+1x10:

$$R_{\Pi \text{ пф-0}} = 14,8 + 14,8 = 29,6 \text{ Ом}$$

$$X_{\Pi \text{ пф-0}} = 0,146 + 0,146 = 0,292 \text{ Ом}$$

Результуючий опір системи для точки К1 складає:

$$R_{\text{рез1}} = R_{\text{кл}} + R_{\text{T}} + R_{\text{пер1}} \quad (7.11)$$

$$X_{\text{рез1}} = X_{\text{с}} + X_{\text{кл}} + X_{\text{T}} \quad (7.12)$$

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{R_{\text{рез1}}^2 + X_{\text{рез1}}^2} \quad (7.13)$$

$$R_{\text{рез1}} = 0,034 + 3,06 + 15 = 18,09 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{рез1}} = 0,59 + 0,0086 + 13,63 = 14,23 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{18,09^2 + 14,23^2} = 23,02 \text{ мОм}$$

Трифазний струм КЗ визначимо за формулою:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез1}}} \quad (7.7)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 23,2} = 9,95 \text{ кА}$$

Ударний струм короткого замикання визначається за формулою:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K1}^{(3)} \quad (7.8)$$

де K_y – ударний коефіцієнт. $K_y = 1,1$;

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 9,95 = 15,47 \text{ кА}$$

Знайдемо значення струму однофазного КЗ для точки К1.

Результуючий опір системи для точки К1 складає:

$$R_{\Pi\Phi-0} = \frac{R_T}{3} + 2 \cdot R_{\text{пер}} \quad (7.9)$$

$$X_{\Pi\Phi-0} = \frac{X_T}{3} \quad (7.10)$$

$$Z_{\Pi\Phi-0} = \sqrt{R_{\Pi\Phi-0K1}^2 + X_{\Pi\Phi-0K1}^2} \quad (7.11)$$

де R_T , X_T – значення опору силового трансформатора струму однофазного замикання на корпус, мОм;

$$R_{\Pi\Phi-0}^{(K1)} = \frac{36,4}{3} + 2 \cdot 15 = 42,1 \text{ мОм}$$

$$X_{\Pi\Phi-0}^{(K1)} = \frac{123}{3} = 41 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Pi\Phi-0}^{(K1)} = \sqrt{42,1^2 + 41^2} = 58,77 \text{ мОм}$$

Струм однофазного КЗ визначаємо за формулою:

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_H}{Z_{\Pi\Phi-0}^{K1}} \quad (7.12)$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{220}{58,77} = 3,74 \text{ кА}$$

За отриманими значеннями струмів КЗ проведемо перевірку автоматичного вимикача QF1 за наступними умовами:

$$I_{\text{отк}} \geq I_{K1}^{(3)} \quad (7.13)$$

$$17,5 \text{ кА} \geq 9,95 \text{ кА}$$

$$i_{\text{дин}} \geq i_y \quad (7.14)$$

$$35 \text{ кА} \geq 15,47 \text{ кА}$$

$$I_{K1}^{(1)} \geq 1,4 \cdot I_{\text{ел маг відс}} \quad (7.15)$$

$$3740 \text{ А} \geq 3325 \text{ А}$$

Знайдемо значення струму трифазного КЗ для точки К2.

Результуючий опір системи для точки К2 складає:

$$R_{\text{рез2}} = R_{\text{рез1}} + R_{\text{пер2}} + R_{\text{кф}} \quad (7.16)$$

$$X_{\text{рез2}} = X_{\text{рез1}} + X_{\text{кф}} \quad (7.17)$$

$$Z_{\text{рез2}} = \sqrt{R_{\text{рез2}}^2 + X_{\text{рез2}}^2} \quad (7.18)$$

$$R_{\text{рез2}} = 18,09 + 5 + 29,6 = 52,69 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{рез2}} = 14,23 + 0,292 = 14,52 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{рез2}} = \sqrt{52,69^2 + 14,52^2} = 54,65 \text{ мОм}$$

Трифазний струм КЗ визначимо за формулою (7.7):

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 54,65} = 4,23 \text{ кА}$$

Ударний струм короткого замикання визначається за формулою (7.8):

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 4,23 = 6,58 \text{ кА}$$

Результуючий опір системи для точки К2 складає:

$$R_{\text{пф-0K2}} = R_{\text{пф-0}}^{(K1)} + R_{\text{пф-0}} \quad (7.19)$$

$$X_{\text{пф-0K2}} = X_{\text{пф-0}}^{(K1)} + X_{\text{пф-0}} \quad (7.20)$$

$$Z_{\text{пф-0}} = \sqrt{R_{\text{пф-0K2}}^2 + X_{\text{пф-0K2}}^2} \quad (7.21)$$

$$R_{\text{пф-0}}^{(K2)} = 42,1 + 52,69 = 94,79 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{пф-0}}^{(K1)} = 41 + 14,52 = 55,52 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{пф-0}}^{(K1)} = \sqrt{94,79^2 + 55,52^2} = 109,85 \text{ мОм}$$

Струм однофазного КЗ визначаємо за формулою (7.12):

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{220}{109,85} = 2,0 \text{ кА}$$

За отриманими значеннями струмів КЗ проведемо перевірку автоматичного вимикача QF2 за умовами (7.13) – (7.15):

$$17,5 \text{ кА} \geq 4,23 \text{ кА}$$

$$35 \text{ кА} \geq 6,58 \text{ кА}$$

$$2000 \text{ А} \geq 312,5 \text{ А}$$

Знайдемо значення струму трифазного КЗ для точки КЗ.

Результуючий опір системи для точки КЗ складає:

$$R_{\text{рез3}} = R_{\text{рез2}} + R_{\text{пер2}} + R_{\text{Пф}} \quad (7.23)$$

$$X_{\text{рез3}} = X_{\text{рез2}} + X_{\text{Пф}} \quad (7.24)$$

$$Z_{\text{рез3}} = \sqrt{R_{\text{рез3}}^2 + X_{\text{рез3}}^2} \quad (7.25)$$

$$R_{\text{рез3}} = 52,69 + 5 + 2,5 = 60,19 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{рез3}} = 14,52 + 0,1244 = 14,64 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{рез3}} = \sqrt{60,19^2 + 14,64^2} = 61,94 \text{ мОм}$$

Трифазний струм КЗ визначимо за формулою (7.7):

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 61,94} = 3,72 \text{ кА}$$

Ударний струм короткого замикання визначається за формулою (7.8):

$$i_{\text{уКЗ}} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 3,72 = 5,8 \text{ кА}$$

Результуючий опір системи для точки КЗ складає:

$$R_{\text{пф-0КЗ}} = R_{\text{пф-0}}^{(\text{К2})} + R_{\text{пф-0}} \quad (7.26)$$

$$X_{\text{пф-0КЗ}} = X_{\text{пф-0}}^{(\text{К2})} + X_{\text{пф-0}} \quad (7.27)$$

$$Z_{\text{пф-0}} = \sqrt{R_{\text{пф-0КЗ}}^2 + X_{\text{пф-0КЗ}}^2} \quad (7.28)$$

$$R_{\text{пф-0}}^{(\text{К3})} = 94,79 + 2,5 = 97,63 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{пф-0}}^{(\text{К3})} = 55,52 + 0,29 = 55,6 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{пф-0}}^{(\text{К3})} = \sqrt{97,63^2 + 55,6^2} = 119,7 \text{ мОм}$$

Струм однофазного КЗ визначаємо за формулою (7.12):

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{220}{119,7} = 1,4 \text{ кА}$$

Перевіримо запобіжник ПН2-100 за наступними умовами:

$$I_{\text{откл}} \geq I_{\text{КЗ}}^{(3)} \quad (7.29)$$

$$32 \text{ кА} \geq 5,6 \text{ кА}$$

$$i_{\text{дин}} \geq i_y \quad (7.30)$$

$$35 \text{ кА} \geq 8 \text{ кА}$$

Результати проведених розрахунків зведено в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Результати розрахунку струмів короткого замикання

Точка КЗ	$I^{(3)}, \text{кА}$	$i_y, \text{кА}$	$I^{(1)}, \text{кА}$
К1	9,95	15,47	3,74
К2	4,23	6,58	2,0
К3	3,72	5,8	1,4

8 ОСНОВНІ ЗАХОДИ ЩОДО ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Основними захисними заходами щодо ТБ у цехових мережах є занулення, що виконується шляхом з'єднання нульовим проводом заземленої нейтралі трансформатора й корпусу електроприймача. Застосування занулення дозволяє підвищити чутливість захисних апаратів до струмів однофазного КЗ. У розділі 7 захисні апарати перевірені на чутливість до струмів однофазного КЗ - вимоги до чутливості виконуються.

Також у цехових мережах застосовуються заземлення, які виконуються шляхом приєднання до заземлюючого пристрою металевих корпусів ЕП, які не перебувають під напругою. Особливу увагу в системі електропостачання слід приділяти забезпеченню електробезпеки персоналу, зокрема операторів і наладників обладнання. Для цього обов'язково дотримуються вимоги щодо заземлення – опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом, що відповідає вимогам чинних нормативів. Заземлюючий пристрій складається із внутрішнього й зовнішнього контуру. Всі частини електрообладнання, що підлягають заземленню згідно з вимогами ПУЕ, підключаються до внутрішнього заземлювального контуру. Цей контур виконується сталевією смугою перерізом $4 \times 25 \text{ мм}^2$, яка прокладається по периметру приміщення на висоті 0,3 м від рівня підлоги. У місцях, де розташовані вікна чи двері, смуга монтується над прорізами. Кріплення контуру до стін здійснюється за допомогою монтажних кронштейнів із тієї ж смуги.

До внутрішнього контуру мають бути приєднані:

- корпуси розподільчих щитів і шаф керування;
- кабельні конструкції, включно з перфорованими лотками, що мають суцільне електричне з'єднання і підключаються до заземлення з обох боків;
- корпуси всього технологічного обладнання;
- металеві конструктивні елементи будівлі;

- труби електропроводки, якщо вони є струмопровідними.

У якості Головної заземлювальної шини (ГЗШ) використовується РЕ-шина силового щита ШС-2. Вона підключається у двох точках до:

- внутрішнього заземлювального контуру цеху, реалізованого у межах цього проєкту;
- існуючого заземлювального контуру будівлі, який, у свою чергу, має як мінімум два надійні з'єднання з зовнішнім контуром заземлення

Зовнішній контур заземлення, що виконується за допомогою заглиблених вертикальних електродів (сталевих стрижнів довжиною $l=5\text{м}$ і діаметром $d=0,0205\text{м}$) розташованих у ряд і з'єднаних горизонтальним електродом (сталева смуга $0,04\times 0,004\text{м}$)

Для спільних захистів електричних установок напругою $U > 1000\text{В}$ з ізолюваної нейтралю та з $U < 1000\text{В}$ із глухозаземленою нейтралю. Опір заземлюючого пристрою $R_{\Sigma} \leq R_{\Sigma\text{норм}} = 40\text{Ом}$

Розрахунок захисного заземлення проводився за допомогою ЕОМ. Вихідними даними для розрахунку є:

- 1) Довжина цеху – $A = 72\text{ м}$;
- 2) Діаметр електрода $d = 0,0205\text{ м}$;
- 3) Довжина електроду $l = 5\text{м}$;
- 4) Глибина з'єднання зовнішнього контуру $0,7\text{ м}$;
- 5) Регламентуємий опір заземлення $R_z = 4\text{ Ом}$;
- 6) Питомий опір ґрунту $\rho = 130\text{ Ом}$;
- 7) Опір природного заземлення - 0 Ом .

Згідно з проведеним розрахунком приймаємо для зовнішнього контуру заземлення 9 вертикальних електродів, що знаходяться на відстані 5 м один від одного та розташовані в ряд.

9. ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА АНАЛІЗ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЦЕХОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ

9.1 Призначення автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ)

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) призначена для автоматизації комерційного і технічного обліку (АСТОЕ) обсягів відпущеної (спожитої) електроенергії на межах балансової належності підприємства (цеха, якщо є субабоненти підприємства) і передачі даних комерційного обліку в енергосистему. На відміну від комерційного обліку, технічний облік (в розподільчих пристроях (РП) 0,4 кВ) не вимагає сертифікації всіх компонентів, але дозволяє підприємству бачити повну картину розподілу енергії, виявляти втрати й оптимізувати навантаження.

АСКОЕ (АСТОЕ) дозволяє контролювати споживання електроенергії, виконує автоматичне балансування навантажень, виявлення аварійних ситуацій у реальному часі та зменшення втрат електроенергії в мережі., а також організовує проведення фінансових розрахунків на основі даних, отриманих в системі.

АСКОЕ (АСТОЕ) забезпечує точною і достовірною інформацією, отриманою шляхом автоматичного вимірювання, збору, обробки, зберігання, подання і документування вимірних параметрів електроенергії по всім розрахунковим точкам обліку підприємства.

АСКОЕ (АСТОЕ) є багаторівневою, територіально розподіленою системою програмно-технічних засобів вимірювання, збору, зберігання, передачі даних комерційного обліку електричної енергії по всіх точках обліку заводу (цеху).

При зіставленні балансу електричної енергії в цеховій підстанції 10/0,4кВ представлений на схемі рис. 9 1 між прийманням електроенергії (РП 10кВ) через лічильник 10 кВ підключений через трансформатор струму та

трансформатор напруги 10 кВ і віддачою електричної енергії споживачам (РП 0,4кВ) по лінії 0,4 кВ необхідно враховувати втрати:

в кабельних лініях 10 кВ

в силових трансформаторах 10/0,4 кВ

Якщо значення фактичного небалансу більше значення допустимого небалансу необхідно виявити причини цього явища та прийняти заходи щодо усунення.

Основні аспекти використання АСКОЕ (АСТОЕ) в РП- 0,4 кВ

Призначення: Технічний облік у РУ-0,4 кВ призначений для внутрішнього контролю, аналізу ефективності використання електроенергії, розрахунку втрат усередині мережі 0,4кВ цеху та моніторингу роботи обладнання.

Цифрами позначені різні точки встановлення приладів обліку електричної енергії:

рівень обліку 1: лічильники (W_h , $VArh$), встановлені у відхідних ліній РУ 10кВ, - трифазні лічильники електричної енергії, включені через трансформатори струму та трансформатори напруги. За цими лічильниками промислові підприємства (цеха) розраховують за спожиту електроенергію з енергопостачальною організацією (енергосистемою), якщо живлення виконується на напруги 10 кВ .

рівень обліку 2: лічильники, встановлені в осередках вхідних ліній РУ 0,4кВ, ці лічильники використовуються, як правило, тільки для технічного обліку електричної енергії;

рівень обліку 3: лічильники, встановлені в осередках відхідних ліній РУ 0,4кВ (лінії, які живлять проміжні вузли навантаження), ці лічильники використовуються, як правило, тільки для технічного обліку електричної енергії всередині підприємства (цеху);

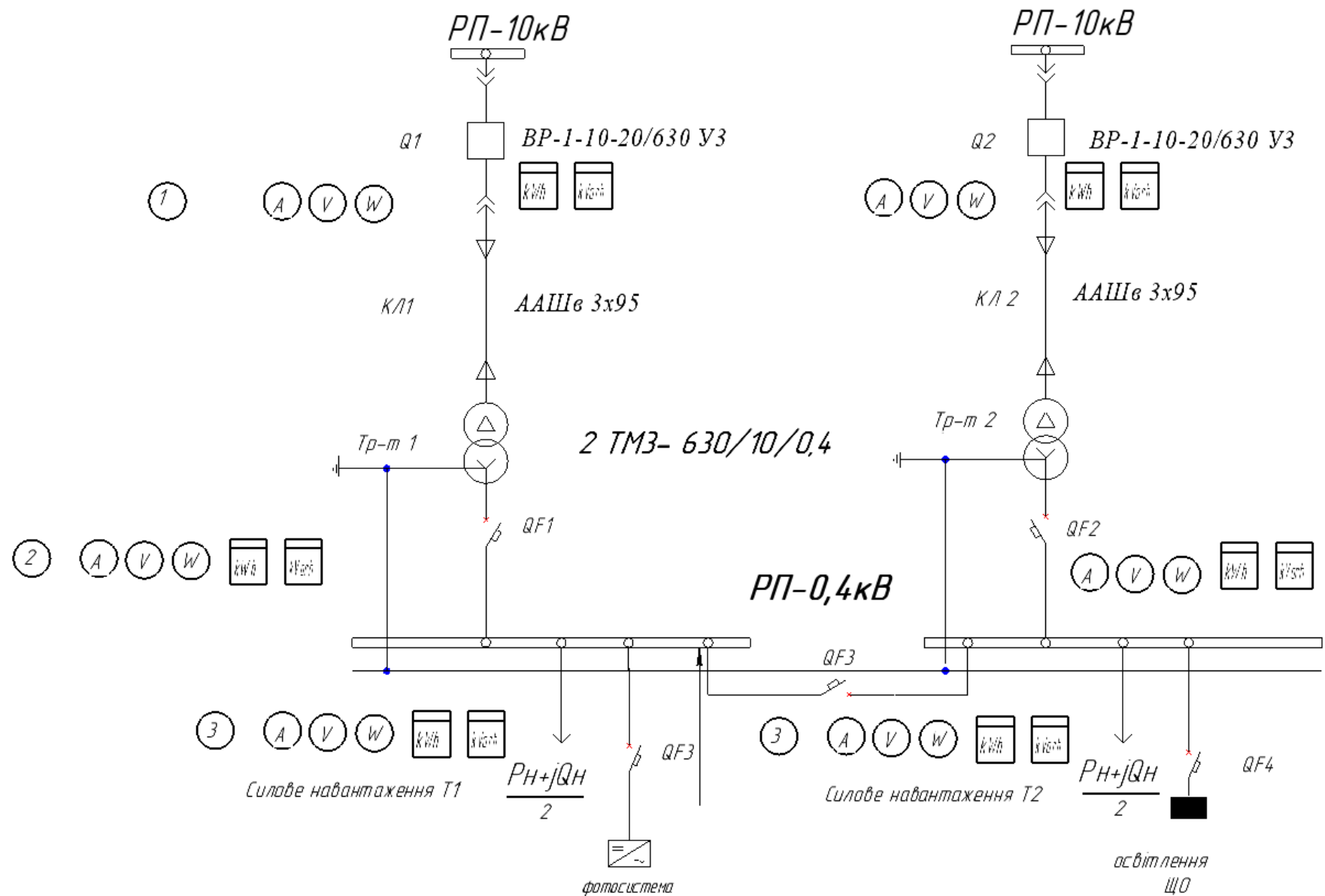


Рис 9.1 - Спрощена одна лінійна схема цехової підстанції з трансформаторами потужністю 630 кВА 10 /0,4 кВ

Для технічного обліку застосовуються трансформатори струму (напруги) класу точності 1,0 та лічильники будь-якого класу точності, що випускаються промисловістю з класом точності не вище 2,5.

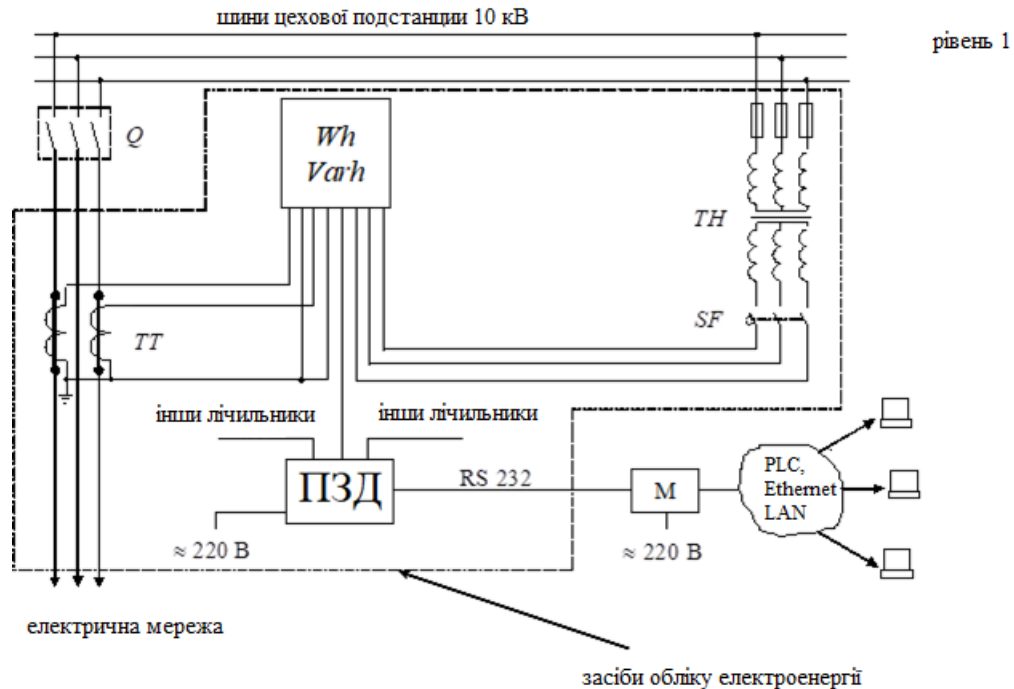


Рис. 9.2 Фрагмент приєднання до збірних шин цехової підстанції напругою 10кВ (рівень 1) АСКОЕ:

ПЗД (пристрій збору даних); PLC (Power Line Communication) або Ethernet/LAN мережу ; М – модем

9.2 Аналіз режиму електроспоживання цехової підстанції

Зменшення споживання електроенергії напряму залежить від узгодженої та оптимізованої роботи всіх технологічних ділянок цеху. Це охоплює як вибір енергоефективного обладнання, так і проектування раціональних графіків навантажень, що дозволяє уникати пікових перевантажень на електричній мережі як цеху так в цілому підприємства.

На основі режимних замірів електроспоживання проводиться аналіз балансу електроспоживання та будується добовий графік навантаження цехової підстанції.

Добові графіки показують зміну навантаження протягом доби. Вони будуються за показниками лічильників активної Wh та реактивної енергії

VARh в період 24 годин, кожну годину. Місячні графіки будують з метою визначення витрати електроенергії на виробничі та невиробничі потреби та оплати за електроенергію. При аналізі таких графіків можна виділити місяці, протягом яких має місце найбільший випуск продукції та найбільше споживання активної Wh та реактивної VARh електроенергії.

У РП-0,4 кВ встановлюються багатофункціональні лічильники (наприклад, СВІТ С-07, Меркурій, Satec), які підключаються до трансформаторів струму та напруги. Ці прилади вимірюють не тільки активну/реактивну енергію, але й струм, напругу, коефіцієнт потужності та частоту.

Блок схема приладу багатоканального лічильника електроенергії Satec наведено на рис 9.2. [8].

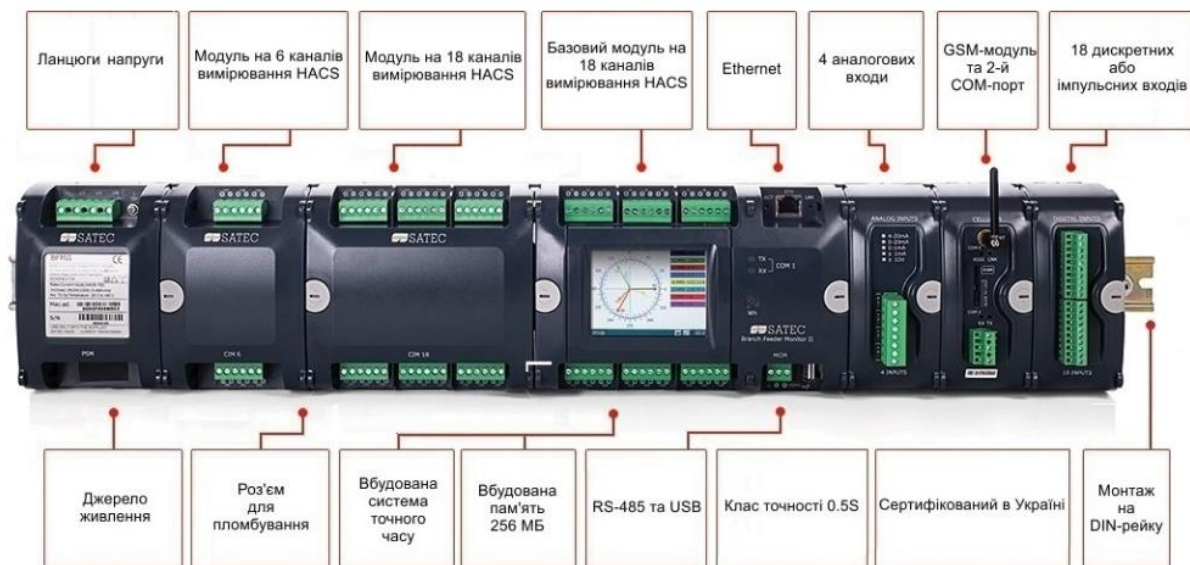


Рис. 9.2 - - Багатоканальний лічильник електроенергії SATEC BFM II

Характеристики:

- Облік активної та реактивної енергії, клас точності 0.5S по ДСТУ EN 62053-22
- Можливість підключення до приладу до 72 імпульсних лічильників (газ, вода, електроенергія) для збору, передачі та зберігання даних

- Трифазне/Двофазне/Однофазне підключення: зірка або трикутник (струм, напруга, $\cos\phi$, частота, активна потужність, реактивна потужність, загальна потужність і т.д.)
- Виміри інтегральних значень струмів та напруг
- Багатотарифний облік електроенергії (TOU), вбудований годинник, календар 40 років, 4 реєстри енергії x 4 тарифи, 4 сезони x 4 типи дня, 8 змін тарифів протягом дня
- Програмоване тарифне меню для кожного каналу виміру
- Призначення каналів, що вільно конфігуруються, конкретних струмових входів від 1 до 3, для точки обліку (суб-приладу). Об'єднання суб-приладів в групи для сумування енергії
- Журнал для реєстрації подій внутрішньої діагностики, спрацювання тригерів, стану дискретних входів та релейних виходів
- Журнал для реєстрації подій внутрішньої діагностики, спрацювання тригерів, стану дискретних входів та релейних виходів
- Журнали для запису даних, програмування на періодичній основі або по тригеру на основі зовнішньої або внутрішньої події
- Можливості ПЛК (4 програмованих уставки, логіка) для кожного окремого суб-приладу
- Опційний 4-х дюймовий, кольоровий TFT графічний LCD-дисплей з LED-підсвіткою і тач-панеллю
- Вбудований годинник з незалежним джерелом живлення
- Порти зв'язку: RS-485, USB, Ethernet, 3G Modem
- Протоколи зв'язку: Modbus RTU/TCP, DNR 3.0, MEK60870-5-101/104
- Живлення приладу, як від вимірюваних ланцюгів або від резервного джерела живлення.

Збір та передача даних: Дані збираються автоматично без участі персоналу. Часто використовується технологія PLC (передача даних із

силових проводів 0,4 кВ), що унеможливило прокладання спеціальних комунікаційних кабелів, а також інтерфейси RS-485 або GSM-модеми.

Стабілізація режимів споживання електроенергії є важливим напрямом енергозбереження. Чітке планування внутрішньоцехових виробничих процесів, розподіл енергомістких операцій у часі та узгодження запусків обладнання дозволяє уникати різких стрибків навантаження, що позитивно позначається на стабільності роботи всієї системи електропостачання.

Середньомісячне навантаження цехової підстанції:

$$P_{\text{ср.м}} = \frac{Wh_{\text{м}}}{T}, \quad (9.1)$$

де $Wh_{\text{м}}$ – витрата електроенергії цехової підстанції за місяць ,

t – тривалість місяцу, (год.).

При тривалості місяцю 30 днів: $t=720$ год;

при тривалості місяцю 31 днів: $t=744$ год.

В табл. 9.1 наведено значення витрати активної електроенергії $Wh_{\text{м}}$ за показниками лічильника активної електроенергії та середньомісячне навантаження $P_{\text{ср.м}}$.

Таблиця 9.1 - Електроспоживання активної електроенергії $Wh_{\text{м}}$ та середньомісячне навантаження $P_{\text{ср.м}}$ цехової підстанції

місяць	$Wh_{\text{м}}$, кВт·год	T, год	$P_{\text{ср.м}}$, кВт
Січень	230640	744	310
Лютий	201600	672	300
Березень	208320	744	280
Квітень	192960	720	268
Травень	192696	744	259
Червень	180000	720	250
Липень	189306,7	744	254,4
Серпень	205426,7	744	276,1

Вересень	204000	720	283,3
Жовтень	220306,7	744	296,1
Листопад	224000	720	311,1
Грудень	245106,7	744	329,4

На графіку (рис. 9.3) споживання активної потужності площа, обмежена ламаною лінією зміни активного навантаження $P = f(t)$ і осями координат, являє собою активну енергію Wh (Втч), що споживається приймачами цеху з мережі для перетворення на інші види. Річний графік навантаження може бути побудований аналогічно добовому графіку, тобто за середніми потужностями, які споживає цехова підстанція 10/0,4 за відповідний місяць.

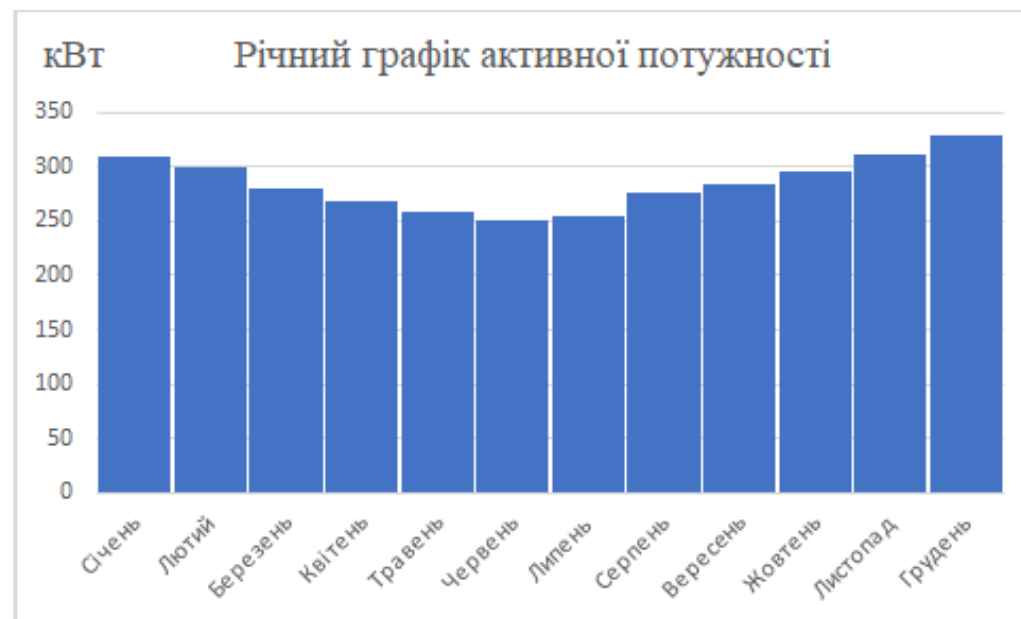


Рис. 9.3 - Річний графік споживання активної потужності цехової підстанції (по місячно).

Для цехової підстанції характерним є спад витрати енергії в літні місяці за рахунок зниження освітлювальних та опалювальних навантажень та

підвищення витрати в зимовий сезон. Споживання активної енергії механічним цехом за рік Wh складає 2494248 кВт*год.

Генерація електроенергії для мережевої фотоелектричної станції під власне споживання цеху складає приблизно 5% за рік. Отже за зимовий період генерація електроенергії мінімальна, та складає 0,75-1,9% від споживання. За літний період генерація електроенергії має максимальне значення та складає 7,9-8,9% від споживання.

Структура системи наведена на рис 9.4.

Нижній рівень: Розумні лічильники на лініях 0,4 кВ.

Середній рівень: ПЗД (Пристрій збору та передачі даних) або PLC- (Power Line Communication): модем-комунікатор в щиті обліку. Передача даних безпосередньо по силових лініях 0,4 кВ PLC (Power Line Communication) або через локальна мережу організації Ethernet/LAN або через RS-485- дрововий інтерфейс для об'єднання групи лічильників в одній точці (наприклад, у щитовій) з подальшою передачею даних через шлюз..

Верхній рівень: Сервер та програмне забезпечення (ПЗ) для аналізу даних.

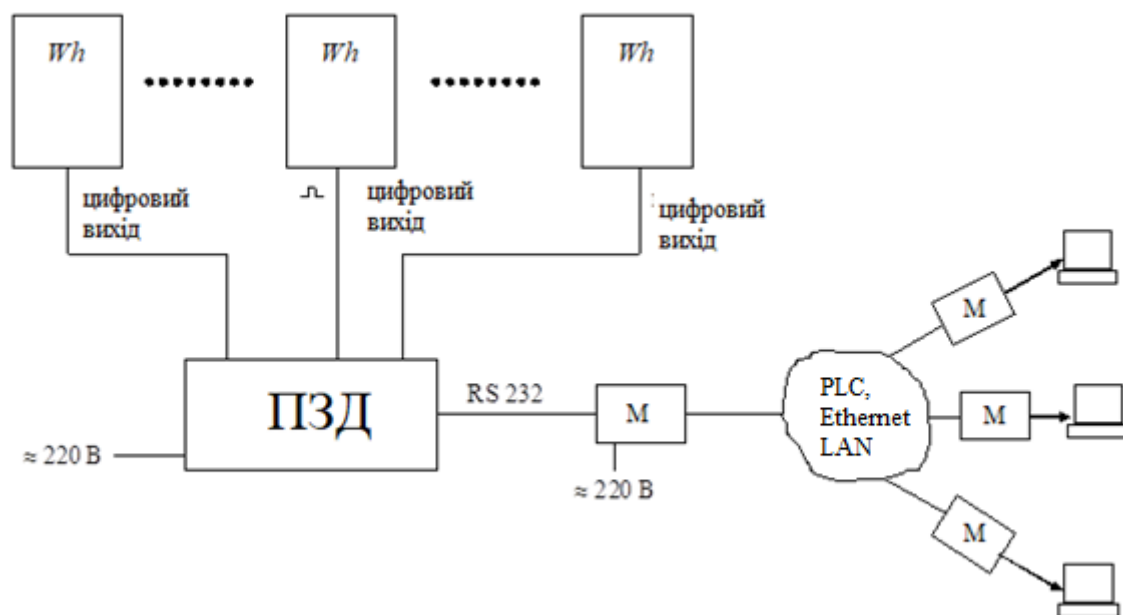


Рис. 9.4 - Структурна схема АСТОЕ збору інформації з електролічильників за допомогою цифрових ПЗД (пристрій збору даних):

ПЗД (пристрій збору даних); PLC (Power Line Communication) або Ethernet/LAN мережу ; М – модем,

Переваги застосування АСТОЕ для технічного обліку

Оперативний контроль і баланс: Система дозволяє бачити споживання по кожній лінії, що відходить в реальному часі і автоматично розраховувати енергетичний баланс, виявляючи ділянки з високими втратами.

Виявлення розкрадань та несправностей: Технічний облік допомагає зафіксувати незаконні підключення або несправності лічильників, порівнюючи дані головного введення із сумою ліній, що відходять.

Зниження пікових навантажень: Моніторинг профілю навантаження дозволяє оптимізувати споживання та знизити витрати на потужність.

Управління станом: Дані АСТОЕ дозволяють планувати ремонти електрообладнання за його фактичним технічним станом, а не за графіком.

Особливості застосування

Для організації технічного обліку на базі АСТОЕ в РУ-0,4 кВ зазвичай використовують щити обліку, які можуть бути встановлені як у приміщенні, так і на відкритому повітрі (у стійкі до вандалів). У сучасних системах, окрім PLC, активно застосовуються радіоканали, що зручно при розосередженні точок обліку

До технічних засобів першого рівня АСКОЕ відносять багатофункціональні електронні лічильники електричної енергії, а також пристрої передачі даних комерційного обліку електроенергії (концентратори К7002, К7102, маршрутизатори, адаптери).

До технічних засобів другого рівня АСКОЕ (АСТОЕ) відносяться сервер, автоматизовані робочі місця (АРМ) адміністраторів, операторів, користувачів, пристрої прийому і передачі даних (маршрутизатори, адаптери) розміщені в стійках управління і телекомунікацій серій СК5002-01.

На другому рівні АСКОЕ (АСТОЕ) забезпечує прийом даних обліку, які приходять по каналах телекомунікацій і зв'язку, або шляхом ручного введення, завантаження їх в базу даних АСКОЕ(АСТОЕ), визначення сальдо-перетоків електроенергії і забезпечує доступ до бази даних для персоналу заводу (цеху) через прикладне програмне забезпечення АРМ. На другому рівні АСКОЕ також забезпечується формування і передача даних обліку.

Функціонування АСКОЕ (АСТОЕ) відбувається безперервно в реальному часі.

Сервер АСКОЕ (АСТОЕ) виконаний в стоечному виконанні. сучасний серверний процесор (Intel Xeon, AMD EPYC тощо), що використовується в таких системах, містить багаторівневу кеш-пам'ять: ((L1), (L2), (L3)). Вона потрібна для прискорення обробки даних (збирання інформації з лічильників, розрахунків, роботи бази даних), зберігаючи копії часто використовуваних даних.

Стоєчне виконання: Це стандартний сервер (1U, 2U, 4U), призначений для монтажу в 19-дюймову стійку. Він обладнаний потужним процесором, оперативною пам'яттю та системами зберігання даних (HDD/SSD/NVMe).

Оперативна пам'ять: ОЗП DDR2 об'ємом 32 Гб Smart Array 641 Ultra 320 (контролер масивів жорстких дисків з кеш-пам'яттю об'ємом 228 Мб). Допустимий час розсинхронізації годин протягом доби ± 5 с.

Стійка СК5002-01 виконана у вигляді підлогової шафи з 19-ти дюймовими несучими профілями. До профілів кріпиться обладнання стійки. Кріплення сервера А2 і джерела А1 посилено напрямними. У верхній частині шафи розташований блок витяжних вентиляторів.

Концентратор К7102 виконаний у вигляді настінної однодверної шафи. На двері корпусу розташований індикатор подачі живлення на концентратор.

9. 3 Режими роботи АСКОЕ(АСТОЕ)

АСКОЕ (АСТОЕ) функціонує в автоматичному режимі збору, обробки, зберігання та передачі інформації. В системі передбачений автоматизований режим для таких процедур як:

- ручне введення і корекція даних;
- опитування засобів збору інформації (точок обліку) за запитом оператора.

Інформаційну взаємодію між компонентами системи здійснюється в автоматичному або автоматизованому режимі. При цьому для міжрівневої взаємодії передбачаються наступні режими інформаційного обміну:

- періодичний збір даних з підлеглих рівнів;
- збір даних з підлеглих рівнів за розкладом сеансів зв'язку протягом доби;
- збір даних з підлеглих рівнів по команді оператора, в тому числі і при аварійних ситуаціях.

Діагностування системи виконується періодично в фоновому автоматичному режимі із записом діагностичних повідомлень в журнал повідомлень, доступний для перегляду з автоматизованого робочого місця, а також за запитом оператора.

Технологічний регламент безпечної експлуатації цехів заводу спеціальних вимог до системи АСКОВ (АСТОВ) не пред'являє.

АСКОЕ (АСТОЕ) підлягає періодичній перевірці не рідше ніж один раз на чотири роки.

ВИСНОВОК

У проекті розроблена схема розподільчого пристрою 0,4кВ цехової підстанції.

Розрахунок силового навантаження проводився методом упорядкованих діаграм. У проекті зроблено розрахунки електричних навантажень для вибору трансформаторів КТП (за першим етапом), розрахунки електричних навантажень для вибору цехової мережі (за другим етапом).

Було обрано КТП 2х630кВА із трансформатором ТМЗ-630\10\0,4. Технічні характеристики трансформаторів відповідають поточним та перспективним навантаженням цеху. Це дозволяє уникати перевантажень і забезпечує стабільну роботу електрообладнання навіть у пікові моменти споживання. КТП обрана прибудованого типу.

Для мережі 10 кВ обрана комірка КРП типу КМ1Ф з вимикачем ВВ/TEL-10-20\1000УЗ та КЛ 10 кВ ААШв 3х95 із прокладкою у траншеї.

Розроблено схему розподільчого пристрою 0,4кВ цехової підстанції, обрані уставки захисних апаратів. В якості захисних апаратів використовуються автоматичні вимикачі серії ВА.

На лініях електроживлення впроваджено сучасні автоматичні вимикачі у викатному виконанні, що значно спрощує їх технічне обслуговування та скорочує час на усунення несправностей. Завдяки цьому знижується ризик аварійного відключення обладнання, а час простою підприємства зведено до мінімуму. Крім того, забезпечено захист асинхронних двигунів та трансформаторів від широкого спектра аварійних ситуацій – коротких замикань, перевантажень, однофазних замикань на землю. Для реалізації цих заходів підібрано відповідні реле та параметри налаштувань, що гарантують швидке реагування захистів на неприпустимі відхилення в роботі системи.

На підставі розрахунків струмів КЗ у мережі U до 1кВ зроблена перевірка захисних апаратів.

Обрані технічні рішення відповідають сучасним стандартам енергоефективності : впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), електробезпеки та знижують витрати на експлуатацію, ремонт і модернізацію обладнання в довгостроковій перспективі. Всі розрахунки та технічні рішення приведені у відповідність до чинних нормативно-правових документів, зокрема Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), міжгалузевих правил охорони праці під час експлуатації електроустановок, ДСТУ EN 61140.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурбело, М. Й., Бірюков, О. О., Мельничук, Л. М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навч. посіб. / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с.
2. Василега, П. О. Електропостачання : підручник / П. О. Василега. – Суми: Сумський держ. ун-т, 2019. – 521 с.
3. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Державні будівельні норми України).
4. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання: Навчальний посібник. — Херсон: ХНТУ, 2020. — 180 с.
5. Електричні мережі та системи: Навчальний посібник. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 152 с.
6. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: Навчальний посібник. — Луцьк: ЛНТУ, 2022. — 64 с.
7. Багатофідерний вимірювальний комплекс BFM II <https://www.satec-global.com.ua/vimiryuvalni-priladi/bfm-ii/>
8. Мілих В.І., Павленко Т.П. Електропостачання промислових підприємств: Підручник. — К.: Каравела, 2018. — 272 с.
9. Осипчук, О. Розрахунок електричних мереж промислових підприємств : навч. посіб. / О. Осипчук. — Тернопіль : ТНТУ, 2019. — 180 с.
10. Основи електропостачання: Підручник. — Київ: ЗНУ, 2021. — 200 с.
11. Немикіна О.В. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії. Для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: навч. посібник / О.В. Немикіна – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 188 с. ISBN 978-617-529-289-1
<https://eir.zp.edu.ua/items/df77186b-210b-4bf6-a198-d33a8d80ed86>

12. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с..
13. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД "Університетська книга", 2007. – 280 с.
14. Шестеренко, В. Є., Шестеренко, О. В. Електропостачання промислових підприємств: посібник до курсового та дипломного проектування / В. Є. Шестеренко, О. В. Шестеренко. – Вінниця : Нова Книга, 2004. – 424 с.
15. Шкрабець, Ф. І. Електропостачання : навч. посіб. / Ф. І. Шкрабець. – Дніпро : НГУ, 2018. – 312 с.
16. Немикіна О. В. Оцінка втрат потужності в низьковольтній живильній мережі 0,4 кВ промислового підприємства [Електронний ресурс] / Немикіна О. В., Капля Д. Немикіна О. С. // Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: наукові пошуки молоді : матеріали 3-ї Всеукр. наук.-практ. конф., 3 квітня 2025 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Електрон. текст. дані. – Харків, 2025. – С. 25.
<https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/75d2e549-8fa2-43b3-b22c-dd73cbc454dd/content>
17. Афанасьєв О.І. Електроапаратне обладнання систем електропостачання енергоємних виробництв / О. І. Афанасьєв, Л. Б. Жорняк, О. В. Немикіна, В. М. Щусь; за заг. ред. П. Д. Андрієнко. – Запоріжжя : НУ Запорізька політехніка, 2023. – 432 с. ISBN 978-617-529-425-3
<http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/10702>