

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розроблення системи зовнішнього та внутрішнього
електропостачання підприємства

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Шокодзько М.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Кожушко Г.М.
(прізвище та ініціали)


Рецензент Галай В.М.
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій

 О.В. Шефер
«01» квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

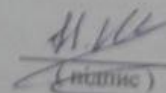
Шокодьку Миколі Олександровичу

1. Тема роботи «Розроблення системи зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства»
керівник роботи Кожушко Григорій Мефодійович, д.т.н., професор
затверджена наказом вищого навчального закладу від 08 . 12 . 2023 року № 1431/1
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2024 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Документація на електрообладнання підприємства. Документація на прилади, що використовуються. Номінальна напруга 380/220В, частота 50 Гц. Забезпечити надійне електропостачання підприємства з мінімальними капіталовкладеннями.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика підприємства. Визначення електричних навантажень цехів та підприємства. Постановка задач на кваліфікаційну роботу. Опис структури та основного обладнання. Визначення розрахункових електричних навантажень підприємства. Розробка схем внутрішнього електропостачання. Вибір захисного та комутаційного обладнання. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) План підприємства;
 - 2) Схема релейного захисту;
 - 3) Схема АВР;
 - 4) Діаграма селективності;
 - 5) Схема підключення лічильника;
 - 6) План електроживлення приладної секції;
 - 7) Схема блискавкозахисту;
 - 8) Однопровідна схема.
6. Дата видачі завдання 01.04.2024 р.

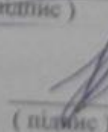
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітки (плакати)
		Дата	Кв.	Відсоток	
1	Характеристика підприємства. Постановка задач на кваліфікаційну роботу	25.04.24	I	20%	Пл. 1
2	Опис структури та основного обладнання. Визначення електричних навантажень цехів та підприємства	08.05.24		40%	Пл. 2,3
3	Визначення розрахункових електричних навантажень підприємства. Розрахунок та вибір обладнання підприємства	23.05.24	II	60%	Пл. 4,5
4	Визначення розрахункових електричних навантажень підприємства. Розробка схем внутрішнього електропостачання	30.05.24		80 %	Пл. 6
5	Вибір захисного та комутаційного обладнання. Висновки по роботі. Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.24	III	100%	Пл. 7,8

Студент


 (підпис)
Шокодько М.О.
(прізвище та ініціал)

Керівник роботи


 (підпис)
Кожушко Г.М.
(прізвище та ініціал)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Характеристика підприємства.....	9
1.2 Характеристика цехів та технології виробництва.....	10
1.3 Визначення електричних навантажень цехів та підприємства	12
1.4 Розрахунок електричного навантаження в промисловості.....	Error! Bookmark not defined.
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДПРИЄМСТВА	20
2.1 Проектування системи внутрішнього електропостачання підприємства	20
2.3 Розробка схем внутрішнього електропостачання.	23
2.4 Розробка схеми та розрахунок параметрів внутрішньоцехової мережі.....	24
2.5 Розрахунок струмів короткого замикання.....	30
2.6 Вибір захисного та комутаційного обладнання	32
3. ОБЧИСЛЕННЯ ЗАХИСТУ ТА ЙОГО КООРДИНАЦІЯ.....	44
3.1 Обчислення селективності релейного захисту	44
3.2 Захист силового трансформатора ТП9 ТМЗ-1000/10.....	50
3.3 Автоматичне підключення резерву на напругу 0,38 кВ на ТП9	50
3.4 Схема обліку та вимірювання на ТП9 на напругу 0,38 кВ	57
4 ДЖЕРЕЛО-ОЦІНКА ПРАВИЛ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ (РСЕЕ) ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИСТРОЇВ UF2М.....	59
4.1 Мета використання та умови використання.....	59
4.2 Вимірювані величини	59
4.3 Метрологічні характеристики.....	68
ВИСНОВКИ	68
ДОДАТОК	70

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи «Розроблення системи зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства»

Робота містить 71 сторінку, 6 ілюстрацій, 5 таблиць, 11 використаних джерел.

Ключові слова: Автоматизація, електропостачання, надійність, електромеханічний завод, електропривод, технічні заходи, енергоефективність.

Об'єктом розроблення кваліфікаційної роботи є система електропостачання електромеханічного заводу

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка та впровадження технічних заходів підвищення надійності системи електропостачання електромеханічного заводу

Основний зміст роботи складається з таких розділів:

1. Аналітичний огляд, де представлена характеристика підприємства, технологій виробництва та визначення електричних навантажень.
2. Розрахунок електротехнічної частини, що включає проектування систем внутрішнього та зовнішнього електропостачання, розробку схем електропостачання та вибір відповідного обладнання.
3. Практична частина, яка охоплює впровадження автоматизованих систем управління та захисту електрообладнання.

Робота має практичну цінність, і її результати можуть бути впроваджені на підприємстві після додаткової доробки. Використання новітніх автоматичних систем електроприводу та захисту забезпечить надійну та безвідмовну роботу заводу.

ABSTRACT

Qualification Thesis "Development of External and Internal Power Supply System of the Enterprise"

The thesis contains 71 pages, 6 illustrations, 5 tables, and 11 references.

Keywords: Automation, power supply, reliability, electromechanical plant, electric drive, technical measures, energy efficiency.

The object of the qualification thesis development is the power supply system of the electromechanical plant.

The aim of this qualification thesis is the development and implementation of technical measures to improve the reliability of the power supply system of the electromechanical plant.

The main content of the thesis consists of the following sections:

1. Analytical Review, which presents the characteristics of the enterprise, production technologies, and determination of electrical loads.
2. Calculation of the Electrical Part, which includes the design of internal and external power supply systems, development of power supply schemes, and selection of appropriate equipment.
3. Practical Part, which covers the implementation of automated control systems and protection of electrical equipment.

The thesis has practical value, and its results can be considered for implementation at the enterprise after further refinement. The use of the latest automatic drive and protection systems will ensure the reliable and uninterrupted operation of the plant.

ВСТУП

Актуальність проблеми

Завдання забезпечення промислових підприємств електроенергією виникло одночасно з широким використанням електроприводів в якості основних рушіїв різних машин і механізмів. Це тісно пов'язано з будівництвом електростанцій, що стали основними джерелами електроенергії. Розвиток і складність структури систем електропостачання, стійке зростання попиту на ефективність і надійність, значні зміни в структурі і характері споживачів електроенергії, а також широке впровадження пристроїв розподілу електроенергії та управління споживанням, заснованих на сучасних комп'ютерних технологіях, створюють необхідність поліпшення промислової енергетики. Це означає, що необхідно створити економічну і надійну систему електропостачання промислових підприємств, системи автоматичного управління освітленням, електроприводом і технологічними процесами. Використання мікропроцесорної техніки, газового і вакуумного електрообладнання, а також сучасного комплектного перетворювального обладнання може сприяти досягненню цієї мети.

Система електропостачання (СЕ) - це комплекс взаємопов'язаних електроустановок, призначених для передачі і розподілу електричної енергії. Енергосистеми промислових підприємств створюються для забезпечення електроенергією промислових споживачів, в тому числі електродвигунів різних машин і механізмів, електropечей, електролізних установок, приладів і машин для електрозварювання, освітлювальних установок та інших промислових споживачів.

З ростом енергоспоживання ускладнюється і система електропостачання промислових підприємств. До них відносяться мережі високої напруги, мережі розподілу електроенергії та, в деяких випадках, Промислові теплові електростанції. В даний час розробляються такі методи, як розрахунок і проектування цехових мереж, вибір трансформаторів, визначення електричних навантажень, вибір напруги, кабельно-провідникової продукції. Ця проблема актуальна, що потребує постійного дослідження і розробки кращих методів і технологій.

Головна мета роботи

Метою даного дослідження є розробка та впровадження технічних заходів щодо підвищення надійності систем електропостачання електромеханічних установок.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз та характеристику підприємства, його цехів і виробничих технологій.
2. Визначити електричне навантаження в ремонтному цеху та на всьому підприємстві.
3. Обрати напругу для зовнішнього електропостачання промисловості.
4. Вибір схеми електропостачання підприємства за техніко-економічним аналізом.
5. Розрахувати струм короткого замикання з підбором комутаційних і захисних пристроїв.
6. Оцінити показники якості електричної енергії на підприємстві.

Практичне значення отриманих результатів

В роботі пропонується використовувати нову систему електропостачання і новітню систему автоматичного електроприводу. Автовимикачі, гексафторидні вимикачі та вакуумні вимикачі з мікропроцесорами для захисту трансформаторів забезпечують надійну та безперебійну роботу.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Характеристика підприємства

Обраний електромеханічний завод призначений для виробництва ряду двигунів змінного та постійного струму, генераторів, електродвигунів та обладнання спеціального призначення.

Сучасне виробництво було б неможливим без використання електродвигунів (різноманітні приводи, обробні центри, крани, повітродувки, вентилятори тощо). Планований електромеханічний завод призначений для виробництва різноманітних електродвигунів змінного та постійного струму, генераторів, електродвигунів та обладнання спеціального призначення.

До складу заводу входить адміністративно-побутовий корпус, допоміжний корпус, інструментальний корпус та корпус для виробництва електродвигунів, які будуть використовуватися для особого призначення. Усі отримувачі електричної енергії на об'єкті належать до II і III категорії за надійністю електропостачання.

Всі споживачі електроенергії на об'єкті відносяться до II і III категорії за надійністю електропостачання.

На заводі електропостачання забезпечується за схемою рівномірного графіка навантаження, що свідчить про стабільний режим роботи з мінімальними щоденними флуктуаціями навантаження.

Це підприємство споживає електроенергію середнього розміру з приблизною потужністю 21 МВт.

В основному, проблеми з постачанням електроенергії викликають недобір виробництва продукції, але без ризику пошкодження техніки чи загрози для здоров'я працівників.

Завданням цього проекту є розробка надійного електропостачання підприємства.

1.2 Характеристика цехів та технології виробництва

Механічний цех виготовляє основні компоненти верстатів. Основне обладнання — металообробні верстати різної потужності та призначення. Цех має бетонну підлогу, забруднену металевими обрізками. Перерви в електроживленні не впливають на виробничий процес, тому споживачі належать до II категорії надійності.

Заводське управління розміщує адміністративно-управлінський персонал. Основне обладнання — кондиціонери та обчислювальна техніка. Наявне заземлене обладнання. Споживачі відносяться до II категорії.

Ділянка обробки валів оснащена технікою для обробки статорних і роторних валів: установка плазмового напилення, піскоструминної обробки, обладнання для шліфування, балансування та контролю деталей. Перерви в електроживленні призводять до простою, тому споживачі належать до II категорії.

Зборочний цех займається збиранням готової продукції. Основне обладнання — кран-балки, зварювальні апарати, наявне заземлене обладнання. Споживачі належать до II категорії.

Обмотувальний цех виготовляє обмотки з мідного та алюмінієвого матеріалу. Основне обладнання — намотувальні верстати, верстати для виготовлення клинів, гільйотинні ножиці, зварювальний і паяльний інструмент. Споживачі належать до II категорії.

Ремонтний цех проводить ремонт і профілактику обладнання. Приміщення має сухе середовище та бетонну підлогу. Споживачі належать до III категорії.

Пресовий цех здійснює попередню обробку металевих заготовок. Основне обладнання — машини плазмового різання, преси та гільйотини. Приміщення має бетонну підлогу. Споживачі належать до III категорії.

Інструментальний цех виготовляє та ремонтує прес-форми та ріжучий інструмент для верстатів. Основне обладнання — металообробні, шліфувальні та полірувальні верстати. Перебої в електроживленні призводять до простоїв, тому споживачі належать до II категорії.

Електричний цех виконує ремонт електрообладнання, включаючи перемотку двигунів та електромагнітних муфт. Споживачі належать до II категорії.

Заготівельний цех здійснює попередню обробку металевих заготовок. Основне обладнання — установки плазмового різання, преси, гільйотини, фрезерні та свердлові верстати. Споживачі належать до II категорії.

Сховища використовуються для зберігання матеріалів і комплектуючих виробів. Основне обладнання — кран-балки та містові крани. Споживачі належать до II категорії.

Виробничі будівлі складаються з зон діагностики, технічного обслуговування та ремонту. Зона діагностики визначає технічний стан систем і вузлів. Зона технічного обслуговування включає пости для контрольної-налагоджувальних робіт. Споживачі належать до II категорії.

1.3 Визначення електричних навантажень цехів та підприємства

Інструментальний цех:

1. Забезпечення надійності електропостачання залежно від категорії споживача.
2. Зручність і безпека використання.
3. Оптимальні технічні та економічні показники.
4. Конструктивна конструкція для використання промислових методів установки.

Електроприймачі розподілені по вузлах і групах, враховуючи характеристики та місце розташування. Основними приймачами в цеху є трифазні верстати, рівномірно розташовані по цеху. Розрахунок навантаження вузла здійснюється за допомогою діаграм, враховуючи номінальні потужності електроприймачів, їх режим роботи та місце розташування.

Можливість розрахунку навантаження вузла за допомогою впорядкованих діаграм з'являється, коли відомі номінальні потужності всіх електроприймачів, їх режим роботи та місце розташування на загальному плані цеху.

Для перевірки вони обчислюють навантаження для групи №1 за допомогою методу упорядкованих діаграм, не використовуючи комп'ютер (електронно-обчислювальна машина (ЕОМ))

Таблиця 1.1 - Технічні властивості електроприймача (ЕП) для групи №1 (ШР-1)

№	Найменування електроприймачів	Кількість приймачів	Установлена потужність ЕП, Р _{ном} ,кВт	К _и	cosφ
1	Плоскошліфувальний станок	3	1,8	0,14	0,6
2	Вертикально-свердлильний станок	1	2,9		
3	Спеціальний точильно-шліфувальний станок	1	1		
4	Довбальний верстат	1	3,5		

Середнє активне навантаження вузла за умови найбільш завантаженою зміною розраховують за формулою:

$$P_{CM} = P_{НОМ\Sigma} \cdot K_{и} \quad (1.1)$$

де: $P_{вст\Sigma}$ – загальна номінальна (встановлена) активна потужність ЕП, які входять до складу вузла;

$$P_{НОМ\Sigma} = 3 \cdot 1,8 + 2,9 + 1 + 3,5 = 12,8 \text{ кВт.}$$

$K_{и} = 0,14$ – коефіцієнт використання активної енергії групи електроприймачів (ЕП).

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

Середню реактивну потужність вузла обчислюють за допомогою відповідної формули.

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg}\varphi; \quad (1.2)$$

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

$\cos\varphi = 0,6$ – коефіцієнт потужності для вузла.

$$Q_{CM} = 1,792 \cdot 1,33 = 2,383 \text{ квар.}$$

Середньозважений коефіцієнт використання для вузла.

$$K_u = \frac{P_{CM}}{P_{НОМ\Sigma}} = \frac{1,792}{12,8} = 0,14. \quad (1.3)$$

Щоб визначити ефективну кількість електроприймачів n_3 , на початку потрібно встановити величину m .

$$m = \frac{P_{\text{ном.мах}}}{P_{\text{ном.мін}}} = \frac{3,5}{1} = 3,5; \quad (1.4)$$

Де: m – відношення між номінальною потужністю найбільш потужного електроприймача в вузлі та номінальною потужністю найменш потужного електроприймача в тому ж вузлі. Відповідно до правил, якщо $m > 3$, а $K_u < 0,2$, тоді визначається наступним чином:

$$n_3 = n_{3*} \cdot n. \quad (1.5)$$

Уводять поняття відносного ефективного числа електроприймача (ЕП) n_{3*}

$$n_{3*} = f(n_{1*} \cdot P_{1*});$$

де: n_{1*} - відносна кількість електроприймачів у вузлі, потужність кожного з яких становить принаймні половину потужності найпотужнішого електроприймача;

P_{1*} – відносна потужність n_1 найпотужніших ЕП;

$$n_{1*} = \frac{n_1}{n}; \quad P_{1*} = \frac{P_{\text{ном}1}}{P_{\text{ном}}};$$

де: n_1 – кількість електроприймачів у вузлі, номінальна потужність становить більше половини або більше від номінальної потужності найпотужнішого електроприймача в цьому вузлі;

n - реальна кількість ЕП;

$P_{\text{ном}1}$ - загальна номінальна потужність цих n_1 ЕП

P - загальна номінальна потужність n ЕП

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

З отриманими значеннями n_{1*} і P_{1*} , $n_{3*} = 0,85$.

$$n_3 = 0,85 \cdot 6 \cong 5.$$

З відомими значеннями n_3 і K_u , за таблицею визначають коефіцієнт максимуму активної потужності $K_M = 2,87$.

З урахуванням K_M визначають розрахункове активне навантаження (півгодинний максимум):

$$P_{\text{розр}} = K_M \cdot P_{\text{см}} = 2,87 \cdot 1,792 = 5,143 \text{ кВт.} \quad (1.6)$$

Згідно з правилами, при $n_9 < 10$, розрахункова реактивна потужність вузла визначають за формулою:

$$Q_{\text{розр}} = 1,1 \cdot P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{ср.в}} = 1,1 \cdot 1,792 \cdot 1,33 = 2,622 \text{ квар.} \quad (1.7)$$

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

Повна розрахункова потужність вузла:

$$S_{\text{розр}} = \sqrt{(P_{\text{розр}})^2 + Q_{\text{розр}}^2} = \sqrt{5,143^2 + 2,622^2} = 5,773 \text{ кВА.} \quad (1.8)$$

Розрахунковий струм в вузлі визначають за формулою:

$$I_{\text{розр}} = \frac{P_{\text{розр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi} = \frac{5,143}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,6} = 12,372 \text{ А.} \quad (1.9)$$

Розрахункове навантаження на мережу освітлення:

$P_{\text{уд.о}} = 0,016 \text{ кВт/м}^2$ – питоме навантаження мережі освітлення;

$K_{\text{с.о}} = 0,95$ – коефіцієнт споживаної освітлювального навантаження

$F = 4160 \text{ м}^2$ – загальна площа вибраного цеху.

$$P_o = 0,016 \cdot 0,95 \cdot 4160 = 63,232 \text{ кВт.} \quad (1.10)$$

Розрахункове навантаження на інші вузли також розраховується. Вони розраховуються аналогічно.

За формулою визначаємо повну розрахункову потужність інструментального цеху:

$$S_{\text{розр}} = \sqrt{(P_{\text{розр.ц}} + P_o)^2 + Q_{\text{розр}}^2} = \sqrt{(1383,77 + 63,232)^2 + 422^2} =$$

1447 кВА.

$$(1.11)$$

1.4 Розрахунок електричного навантаження в промисловості

Розрахунок електричних навантажень окремих цехів і підприємства загалом здійснюється методом коефіцієнта попиту за допомогою електронно-обчислювальної машини (ЕОМ). Дану методики ми використовуємо для оцінення максимального навантаження промислових підприємств при високих напругах в ланцюзі електропостачання. Для його застосування необхідно знати установчу потужність всього цеху, коефіцієнт споживання, $\cos \varphi$ і коефіцієнт споживання енергії для освітлення.

Метод коефіцієнта попиту з використанням ПК дозволяє визначити розрахункову активну потужність.

$$P_p = P_{уст} \cdot K_c; \quad (1.12)$$

де: $P_{уст} = 1870$ кВт – встановлена (номінальна) потужність модельного цеху;

$K_c = 0,45$ – коефіцієнт попиту, що визначається;

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

Розрахункова реактивна потужність визначається за формулою:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (1.13)$$

де: $\operatorname{tg} \varphi$ – тангенс кута φ , залежно від косинуса φ ;

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

де: $\cos \varphi = 0,85$ – коефіцієнт потужності вибраного вузла;

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

Визначаємо розрахункове активне навантаження освітлювальної мережі:

$$P_o = P_{пп.о} \cdot K_{с.о} \cdot$$

F ; (1.14)

де: $P_{пп.о} = 0,016$ кВт/м² – питома потужність (щільність) освітлення;

$K_{с.о} = 0,95$ – коефіцієнт попиту освітлення;

$F = 7330$ м² – площа цеху;

$$P_0 = 0,016 \cdot 0,95 \cdot 7330 = 111,42 \text{ кВт.}$$

Визначаємо повну розрахункову потужність модельного цеху:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_0)^2 + Q_p^2} = \sqrt{(841,5 + 111,42)^2 + 521,51^2} = 990 \text{ кВА.} \quad (1.15)$$

Розрахункові навантаження інших цехів розраховуються аналогічно.

Визначаємо розрахункове активне навантаження освітлювальної мережі незабудованої території:

$$P_{o.t} = K_{c.o.} \cdot P_{уд.o} \cdot F; \quad (1.16)$$

де: $P_{уд.o} = 0,00016 \text{ кВт/м}^2$ – питома потужність (щільність) освітлення;

$K_{c.o} = 1,0$ — коефіцієнт попиту освітлення;

$F = 124455 \text{ м}^2$ – площа незайманої території заводу;

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

Побудова картограми навантажень

Наведемо розрахунок для першого цеху.

Для побудови картограми навантажень визначаємо радіус кола:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m}}; \quad (1.17)$$

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

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

Сектор навантаження кута освітлення:

$$\alpha = \frac{P_0 \cdot 360^\circ}{P_p} = \frac{111,42 \cdot 360^\circ}{952,92} = 42,09^\circ. \quad (1.18)$$

Визначення навантаження на шинах високої напруги (ВН) та низької напруги (НН)

Активні втрати потужності в цехових трансформаторах приймаємо на рівні 2 % від розрахункової повної потужності, втрати активної потужності в лініях становлять 3 % від загальної розрахункової повної потужності, а втрати реактивної потужності в цехових трансформаторах приймаємо на рівні 1 % від розрахункової повної потужності. Втрати реактивної потужності в лінії не

враховуються через значну потужність та вироблення реактивної потужності для її компенсації в лінії.

$$\Delta P_{\text{лин}} = 0,03 \cdot S_{\text{р.нн}} = 0,03 \cdot 13765,66 = 412,97 \text{ кВт}; \quad (1.19)$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot S_{\text{р.нн}} = 0,02 \cdot 13765,66 = 275,31 \text{ кВт}; \quad (1.20)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot S_{\text{р.нн}} = 0,1 \cdot 13765,66 = 1376,57 \text{ квар}. \quad (1.21)$$

Розрахункове активне навантаження низьковольтних шин на головній понижуючій підстанції (розподільчій підстанції) підприємства (НН ГПП РП)

$$P_{\text{р.нн.гпп}} = P_{\text{р}\Sigma} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{лин}} = 12348,13 + 275,31 + 412,97 = 13036,42 \text{ кВт}. \quad (1.22)$$

Розрахункова реактивна навантаження на шинах НН ГПП (РП) підприємства:

$$Q_{\text{р.нн.гпп}} = Q_{\text{р}\Sigma} + \Delta Q_{\text{тр}} = 6186,58 + 1376,57 = 7563,14 \text{ квар}. \quad (1.23)$$

Загальна розрахункове навантаження на шинах низької напруги головної понижуючій підстанції (ГПП РП) підприємства:

$$S_{\text{р.нн.гпп}} = \sqrt{P_{\text{р.нн.гпп}}^2 + Q_{\text{р.нн.гпп}}^2} = \sqrt{13036,42^2 + 7563,14^2} = 15071,47 \text{ кВА}. \quad (1.24)$$

Розрахункове активне навантаження на шинах високої напруги головної понижуючій підстанції (ГПП РП) підприємства:

$$P_{\text{р.вн.гпп}} = P_{\text{р.нн.гпп}} + 0,02 \cdot S_{\text{р.нн.гпп}} = 13036,42 + 0,02 \cdot 15071,47 = 13337,85 \text{ кВт}. \quad (1.25)$$

Розрахункове реактивне навантаження на шинах ВН ГПП(РП) підприємства

$$Q_{\text{р.вн.гпп}} = Q_{\text{р.нн.гпп}} + 0,1 \cdot S_{\text{р.нн.гпп}} = 7563,14 + 0,1 \cdot 15071,47 = 7713,86 \text{ квар}. \quad (1.26)$$

Повне розрахункове навантаження на шинах ВН ГПП (РП) підприємства:

$$S_{\text{р.вн.гпп}} = \kappa_{\text{рм}} \sqrt{P_{\text{р.вн.гпп}}^2 + Q_{\text{р.вн.гпп}}^2} = 0,95 \sqrt{13337,85^2 + 7713,86^2} = 14637,45 \text{ кВА}. \quad (1.27)$$

Реактивне навантаження, що надається енергосистемою:

$$Q_C = P_{P.VH.GPP} \cdot \text{tg}_{\text{пор}} = 13337,85 \cdot 0,28 = 3734,60 \text{ квар.} \quad (1.28)$$

Визначення напруги зовнішнього електропостачання

Вибір напруги живлення та розподільчої мережі визначається такими параметрами, як потужність, що споживається підприємством, відстань від джерела живлення підприємства (особливо для МСП), кількість електроприладів та їхня індивідуальна потужність.

Під час отримання електроенергії від джерела живлення при двох або більше напругах вибір напруги варто робити на основі техніко-економічного порівняння варіантів. У разі однакових витрат або невеликої переваги мережі з меншою напругою обирають мережі з вищою напругою, оскільки це значно знижує втрати в лініях електропередачі.

Приблизно напругу можна визначити за формулою Стілла.

$$U = 4,34\sqrt{L + 16P}; \quad (1.29)$$

де: $L = 1$ км віддалення енергоспоживача до джерела живлення;

$P = 13,33785$ МВт – розрахована потужність, що перетікає по 1 лінії;

Відповідно від конструкції лінії потужність, що передається по одній лінії, може змінюватися залежно від кількості ліній, передбачених конструкцією.

У випадку дволінійної лінії:

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

Вибираємо варіант в якому напруга зовнішнього електропостачання 110 кВ.

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Проектування системи внутрішнього електропостачання підприємства

Номінальна потужність цехового трансформатора вибирається не тільки виходячи з розумної навантаження трансформатора, але і з урахуванням умов резервування в аварійному режимі. Кількість типорозмірів трансформатора не повинно перевищувати 3х.

Номінальну потужність трансформаторів обирають за умовою:

$$S_{\text{ном.Т}} \geq \frac{P_p}{n \cdot \beta}; \quad (2.1)$$

де: P_p — розрахункова потужність групи навантажень, які живляться трансформаторною підстанцією;

n – кількість трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій;

β – коефіцієнт завантаження трансформаторів.

Аналіз розрахункових навантажень у всіх цехах дозволяє використовувати Трансформатори 3-х типорозмірів: 400, 630 і 1000 кВА. У цьому разі деякі цехи отримують живлення від трансформаторних підстанцій сусідніх цехів.

Наприклад, при нормативному коефіцієнті завантаження $K_3 = 0,65 \div 0,7$ для навантажень I категорії безперебійності, $K_3 = 0,7 \div 0,8$ для навантажень II категорії безперебійності й $K_3 = 0,9 \div 0,95$ для навантажень III категорії безперебійності, для живлення I та II категорії й безперебійності приймається двотрансформаторну підстанцію.

Вибір трансформаторів для цеху №6 (ТП7)

Сумарна розрахункова активна потужність:

$$P_p = 562,65 \text{ кВт.}$$

Номінальна потужність трансформатора:

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

Отримане значення округлюють до найближчого більшого стандартного значення, тим самим установлюють 2 трансформатора типу ТМЗ-630 кВА.

Фактичний коефіцієнт завантаження становить:

$$K_{зф} = \frac{P_p}{n \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{562,65}{2 \cdot 400} = 70 \%. \quad (2.2)$$

У разі виходу з ладу одного з трансформаторів, залишився в роботі той трансформатор, що матиме такий коефіцієнт завантаження:

$$K_{зав} = \frac{562,65}{1 \cdot 400} = 1,41.$$

У разі виходу з ладу одного з трансформаторів той, що залишився в роботі, не зможе повністю забезпечити живлення електроприймачів. Тому під час аварій виникає необхідність у відключенні маловідповідальних електроприймачів.

Потужність, яка відключається у разі аварії:

$$S_{ав} = 562,65 - 1,4 \cdot 400 = 2,65 \text{ кВА}. \quad (2.3)$$

2.2 Вибір місця для цехових трансформаторних підстанцій

Трансформаторні підстанції, які є критичними компонентами в енергетичній інфраструктурі, максимально наближені до центру енергетичних навантажень, наскільки це допускають виробничі умови. Це стратегічне рішення допомагає будувати економічну та надійну систему електропостачання. Протяжність мереж вторинної напруги скорочується, що значно зменшує втрати енергії та відхилення напруги. Це також зменшує зону аварій, що є важливим фактором безпеки. Крім того, підстанції допомагають полегшити та здешевити розвиток електропостачання, оскільки їх можна будувати поетапно з розширенням виробництва.

Підстанції 10 кВ використовуються в межах цехів з метою найбільшого наближення до місця електропостачання, що дозволяє зменшити габарити будівель та поліпшити умови середовища у них. Якщо в цеху розташовано кілька підстанцій, їх розміщують рівномірно по всій території цеху, що сприяє оптимальному розподілу енергії. Розташування підстанцій у цехах відбувається відповідно до розстановки обладнання та з урахуванням розташування джерела живлення та характеристик і картограми навантажень, що дозволяє максимально ефективно використовувати енергію.

2.3 Розробка схем внутрішнього електропостачання.

Для того, щоб побудувати раціональну схему розподілу, необхідно врахувати ряд чинників, включаючи конструкцію вузлів розподільчої мережі, шлях проходження електроенергії через них і струми короткого замикання в різних варіаціях.

Як правило, внутрішньозаводські схеми розподілу електроенергії мають ступінчасту структуру. Через складність комутації та захисту мережі вважається недоцільним використовувати схеми з більш ніж трьома або чотирма приєднаннями.

Схема розподілу повинна бути прив'язана до технологічної схеми об'єкта. Електроприймачі різних паралельних технологічних процесів повинні живитися від різних джерел (підстанцій, розподільчих пристроїв, різних секцій шин однієї підстанції).

Під час проектуванні загальної схеми внутрішньозаводського електропостачання слід розглядати варіанти, що забезпечують раціональне використання комірок розподільчих пристроїв, мінімальну довжину розподільчої мережі і максимальну економію на розподільчому обладнанні. Внутрішньозаводське розподілення електроенергії виконують за магістральною, радіальною або змішаною схемою. Вибір схеми визначається категорією надійності постачальника електроенергії, розташуванням його території і особливостями режиму його роботи.

2.4 Розробка схеми та розрахунок параметрів внутрішньоцехової мережі

Цехові мережі промислових підприємств облаштовують для напруги до 1 кВ. Вибір схеми та конструктивного виконання цехової мережі впливають такі чинники, як ступінь відповідальності приймачів електроенергії, режими їхньої роботи та розташування на території цеху.

Цехові мережі розподілу електроенергії повинні:

- забезпечувати необхідну надійність електропостачання приймачів електроенергії в залежності від їх категорії;
- бути зручними та безпечними в експлуатації;
- мати оптимальні техніко-економічні показники;
- бути конструктивно облаштованими з метою застосування промислових та швидких методів монтажу.

Залежно від обраної схеми електропостачання й умов навколишнього середовища цехові електричні мережі облаштовані шинопроводами, кабельними лініями та проводами.

У бакалаврській роботі наведено приклади захисного й комутаційного обладнання для найбільш віддаленого електроприймача.

Електропостачання інструментального цеху

Приймачі електроенергії інструментального цеху живляться від трансформаторної підстанції ТП9. Електроприймачами цього цеху є металообробні верстати, фрезерні станки, плавильні печі, кран-балки, рівномірно розташовані на території цеху. Умови в цеху нормальні, підлога бетонна, забруднена металевією стружкою. Усі споживачі розраховані на змінний трифазний струм та напругу 380 В промислової частоти.

Розподіл електроприймачів (ЕП) на вузли та групи з урахуванням характеристик ЕП та їх територіального розташування. Розрахунок навантаження

вузла методом упорядкованих діаграм можливий у тому разі, коли відомі номінальні дані всіх ЕП, їхній режим роботи та розташування на генплані цеху.

Умови вибору контакторів та теплових реле для електроприймачів ШР8

За номінальним струмом та потужністю електроприймача (ЕП), згідно з умовою: $I_{\text{ном.к}} \geq I_{\text{ном}}$, приймається до установки контактор фірми ІЕК типу КМІ див.табл 1.3 - технічні параметри контакторів та теплових реле.

За аналогією приймається теплове реле фірми ІЕК типу РТІ.

Таблиця 2.1 - Технічні параметри контакторів та теплових реле.						
№ ЕП	$P_{\text{ном,кВт}}$	$I_{\text{ном,А}}$	$I_{\text{ном.к,А}}$	$I_{\text{ном.р,А}}$	Тип контактора	Тип теплового реле
37	3,4	11,68	12	12	КМІ-11260	РТІ-1321 (12-18 А)

Вибір автоматичних вимикачів для захисту електроприймачів ШР8

Вибір автоматичних вимикачів здійснюється за такими формулами:

$$U_{\text{н.а.}} \geq U_{\text{мережі}}; \quad (2.4)$$

$$I_{\text{н.а.}} \geq I_{\text{max}};$$

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

$$I_{\text{рег.дс}} \geq I_{\text{дс}};$$

$$I_{\text{рег.дт}} \geq I_{\text{дт}};$$

Де

$U_{n.a.}$	номінальна напруга автоматичного вимикача
I_{max}	максимальний робочий струм
$I_{n.a}$	номінальний струм автоматичного вимикача
I_{nd}	номінальний струм розщеплювача
$I_{reg.ds}$	уставка електромагнітного розщеплювача
$I_{reg.dt}$	уставка теплового розщеплювачам

При захисті двигуна: $I_{max}=I_{н.д}$

№ ЕП	$P_{ном,кВт}$	$I_{ном,А}$	$I_{пуск,А}$	$I_{ном.отс,А}$	$I_{уст.отс,А}$	$I_{ном.а,А}$	Тип автомата
37	3,4	11,68	58,42	16	130	16	NSXm

Вибір проводу, який живить електроприймачі ШР8

$$I_{розр(ЕП34÷38)} = \frac{P_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{6,831}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,6} = 16,432A; \quad (2.5)$$

$$I_{розр(ЕП39)} = \frac{P_{розр}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{1,973}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,45} = 6,327A;$$

$$I_{розр(ШР8)} = I_{розр(ЕП34÷38)} + I_{розр(ЕП39)} = 16,432 + 6,327 = 22,759A.$$

На підставі розрахункового струму $I_{розр(ШР8)}$ вибирається провід марки АПВ $4 \times 15 \text{ мм}^2$ (жилки з алюмінію з пластмасовою ізоляцією), для якого $I_{дл.доп} = 27A$.

Вибір розподільної шафи ШР8

$$I_{ном(ШР8)} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = 11,68 \cdot 5 + 14,06 = 72,46A. \quad (2.6)$$

До установки приймається розподільна шафа ПР8053, із застосуванням автоматичних вимикачів змінного струму, підлогового виконання з числом ліній, що відходять, рівним 6-ти і номінальними струмами автоматів $I_{ном} = 16A$.

Вибір проводів для живлення електроприймачів ШР8

Беручи до уваги номінальний струм електричного приймача ШР8, вибирається провід АПВ з алюмінієвим сердечником і полівінілхлоридним ізолятором.

Вибір проведений та перевірений за умовою: $I_{\text{ном}} \leq I_{\text{довг.дод}}$

Таблиця 2.3 – розрахункові дані для проводу						
№ ЕП	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$I_{\text{дл.дод}}, \text{А}$	Тип проводу	Довжина $L, \text{м}$	Кількість проводів	Сжили, мм^2
37	11,68	19	ПВ	8,6	4	2,5

Вибір двох шинопроводів - магістральних та розподільних

Магістральний шинопровід обирають за формулою розрахункового струму:

$$I_{\text{розр}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (2.7)$$

де: $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм магістрального шинопроводу.

Вибір магістрального шинопроводу ШМАІ, який живить ШР1-ШР18.

$$I_{\text{розр}} = \frac{P_{\text{розр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi};$$

$P_{\text{розр}} = 322,055 \text{кВт}$ – маємо розрахункову активну потужність шинопроводу;

$$I_{\text{розр}} = \frac{332,055}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,6} = 799 \text{А}.$$

Вибір пав на магістральний шинопровід типу ШМА4-1250-44-У3.

Довжина вибраного шинопроводу становить - 67 м.

Номінальний струм даного шинопроводу: $I_{\text{ном}} = 1250 \text{А}$.

Перевірка шинопровода за втратами напруги:

Умова: втрати напруги: $\Delta U \leq 5\%$.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{розр}} \cdot l \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi); \quad (2.8)$$

За допомогою розрахунків обираємо шинопровід розподільного типу ШРА4-250-32-1У3

Загальна довжина шинопроводу становить 46.9 м.

$$I_{\text{ном}} = 249.74 \text{А}.$$

$\Delta_U = \frac{\sqrt{3} \cdot 157,235 \cdot 0,047 \cdot 100}{400} \cdot (0,2 \cdot 0,8 + 0,021 \cdot 0,599) = 0,92 < 5\%$ - відповідає умові.

Кабель марки АВВГ- 4 × 95 мм² обирається на основі величини розрахункового струму для живлення ШРА.

Вибір кабелів для живлення ШР

Вибір кабелю АВВГ з алюмінієвим сердечником і полівінілхлоридним ізолятором здійснюється залежно від значення номінального струму.

Обирається та перевіряється за формулою:

$$I_{\text{розр}} = I_{\text{довг.дод}} \quad (2.9)$$

Вибір трансформатора струм якого на стороні становить 0,4 кВ

Трансформатор струму обирають за формулою:

$$I_{\text{ав.Т}} \leq I_{1\text{ном.}}; \quad (2.10)$$

Аварійний струм, позначений як $I_{\text{ав.Т}}$ обчислюється за формулою:

$$I_{\text{ав.Т}} = \frac{S_{\text{номТ}} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{1000 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2021\text{А};$$

$S_{\text{номТ}}$ – номінальна потужність трансформатора.

$U_{\text{н}}$ - номінальна напруга.

З урахуванням наступних значень:

$I_{1\text{ном}} = 2500\text{А}$ А - номінальний первинний струм.

$I_{2\text{ном}} = 5\text{А}$ – А - номінальний вторинний струм.

На основі отриманих даних для обчислення номінальної потужності трансформатора типу ТТІ-125 використовується наступна інформація:

Вибір автоматичного вимикача

Врахування умов захисту трансформатора від коротких замикань на стороні 0,4 кВ та перевантажень при виборі ввідного автоматичного вимикача.

Розрахунок аварійного струму трансформатора:

$$I_{\text{ав.Т}} = \frac{S_{\text{номТ}} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}; \quad (2.11)$$

$S_{\text{НОМТ}} = 10 * 10^3 \text{ ВА}$ – представляє $P_{\text{НОМ}}$;

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

Для встановлення обирають автовимикач MVS25N3MF2L

$$I_{\text{ав.Т}} \leq I_{\text{НОМ.а}} \Rightarrow 2021\text{А} < 2500\text{А.}$$

Струм спрацювання електромагнітного розщиплювача:

$$I_{\text{вст.отс.р}} = 1,5 \cdot I_{\text{ав.Т}} = 1,5 \cdot 2021 = 3031,5\text{А.}$$

Обирається струм спрацювання електромагнітного розщиплювача:

$$I_{\text{вст.отс}} = 1,5 \cdot I_{\text{НОМ.а}} = 1,5 \cdot 2500 = 3750\text{А.}$$

Визначають струм установки теплового розщиплювача автомата:

$$I_{\text{вст.т.р}} = 1,25 \cdot I_{\text{НОМ.а}} = 1,25 \cdot 2500 = 3152\text{А.}$$

2.5 Розраховуємо струми короткого замикання

При проектуванні системи електропостачання враховується не тільки нормальний довготривалий режим роботи електроустановки, а й аварійний режим. Обчислюють струми короткого замикання виконується за допомогою електронної обчислювальної машини (ЕОМ) на основі схеми заміщення, складеної для ланцюга «Енергосистема – ЕП №37». У наслідок обчислень формуємо такі показники

- надперехідний струм трифазного короткого замикання;
- ударний струм трифазного короткого замикання;
- дійсне значення періодичного складника струму трифазного короткого замикання;
- початкове значення періодичної складової струму двофазного короткого замикання;
- потужність короткого замикання в початковий момент;
- струм однофазного короткого замикання в одній точці.

Наприклад, обчислення струму короткого замикання для окремої точки (К2) виконують у такий спосіб:

Обчислення опорів усіх елементів здійснюється відносними одиницями при базовій потужності $S_{\text{б}} = 100 \text{ МВА}$. Опір системи визначають як:

$$X_{\text{сист}} = \frac{x \cdot S_{\text{б}}}{S_{\text{с}}}; \quad (2.12)$$

де: $S_{\text{с}} = 90 \cdot 10^7 \text{ ВА}$ – Р систем;

$x = 0,6$ – опір системи, відносно 110 кВ;

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

Знаходимо лінійний опір :

$$X_{\text{лин}} = \frac{x_{\text{уд}} \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,425 \cdot 1 \cdot 100}{115^2} = 0,0032. \quad (2.13)$$

Активний опір лінії визначають як:

$$r_{\text{лин}} = \frac{r_{\text{уд}} \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,465 \cdot 1 \cdot 100}{115^2} = 0,0035. \quad (2.14)$$

Загальний опір усієї ланки визначають за допомогою формули:

$$Z = \sqrt{r_{\text{лин}}^2 + (x_{\text{лин}} + x_{\text{сист}})^2} = \sqrt{0,0035^2 + (0,067 + 0,0032)^2} = 0,07. \quad (2.15)$$

Обчислюємо початкове значення періодичного складника струму короткого замикання в трифазного короткого замикання,

$$I'' = \frac{E''_{\text{сист}} \cdot I_6}{Z}; \quad (2.16)$$

$E''_{\text{сист}} = 0,99$ – надперехідна електрорушійна сила (ЕРС);

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА};$$

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

Визначаємо значення $I_{\text{уд}}$ за формулою:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I''; \quad (2.17)$$

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}; \quad (2.18)$$

де: k_y – ударний коефіцієнт;

T_a – постійна часу;

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}} = \frac{0,0702}{314,159 \cdot 0,0035} = 0,00638 \text{ о. е.}; \quad (2.19)$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 7,17 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,00638}}\right) = 18,81 \text{ кА}. \quad (2.20)$$

Максимальне дійсне значення ударного струму за виразом:

$$I_y = I'' \cdot \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} = 7,17 \cdot \sqrt{1 + 2(1,855 - 1)^2} = 11,25 \text{ кА}. \quad (2.21)$$

2.6 Вибір захисного та комутаційного обладнання

Вибір захисного та комутаційного обладнання, а також провідників для релейного захисту (РЗ) на всіх рівнях напруги підстанцій відбувається відповідно до умов тривалого функціонування та перевіряється на стійкість до впливу токів короткого замикання.

Розрахунковими токами тривалого режиму є:

- $I_{\text{норм}}$ – максимальний струм у режимі без відхилень;
- $I_{\text{макс}}$ – максимальний струм під час ремонтного або після аварійного режиму.

Вибір вимикачів на 10 кВ у ланцюгах живлення кабельних ліній

Високовольтні вимикачі використовуються для включення та відключення електричних колії у всіх режимах функціонування. включення та відключення навантажень;

- Струми намагнічення трансформаторів і зарядні струми, що протікають через лінії та шини, під час відключення через коротке замикання.

Вимикачі обираються на основі таких характеристик:

- за напругою $U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}}$;
 - за тривалим струмом $I_{\text{макс}} \leq I_{\text{ном}}$;
 - за розпізнавальною 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, %.

Перевірка вимикачів на:

- електродинамічну міцність

$$I_{\text{п.о}} \leq I_{\text{дин}}; i_y \leq i_{\text{дин}}; \quad (2.22)$$

де: $i_{\text{дин}}$ – максимальний струм за каталогом;

$I_{\text{дин}}$ – дійсне значення періодичної складової максимального КЗ.

- теплову міцність

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п.о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}) \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}; \quad (2.23)$$

де: B_k – тепловий імпульс струму короткого замикання за розрахунком;
 $I_{тер}$ – середньоквадратичне значення струму протягом тривалості його протікання;

$t_{тер}$ – тривалість протікання току теплової міцності за каталогом.

Вибір вимикача

Визначаємо розрахунковий струм для вибору обладнання на стороні 10 кВ для радіальної кабельної лінії, що живить ГПП – ТП9.

У випадку аварійного режиму (відмова одного з ліній), максимальний струм визначається як:

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1447}{\sqrt{3} \cdot 10} = 77,77 \text{ А}; \quad (2.24)$$

Знаходимо струм короткого замикання

$$I_{п,0} = I'' = 4,910 \text{ кА}; i_y = 12,784 \text{ кА}; I_y = 7,630 \text{ кА}; I^{(2)} = 4,252 \text{ кА}. \quad (2.25)$$

Визначаємо аперіодичну складову струму короткого замикання за умови максимального значення:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,0} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}; \quad (2.26)$$

де: $T_a = 0,01 \text{ с}$ - постійна часу згасання аперіодичної складової струму короткого замикання;

$\tau = t_{c,v} + 0,01$ - Розрахунковий час, для якого потрібно визначити струм короткого замикання (ток КЗ).

$t_{c,v} = 0,015 \text{ с}$ - власний час відключення вимикача;

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

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

Визначаємо $t_{имп}$:

$$B_k = I_{п,0}^2 (t_{відкл} + T_a); \quad (2.27)$$

де: $t_{відкл} = t_{c,v} + t_{рз} = 0,01 + 0,17 = 0,118 \text{ с}$

$t_{рз} = 0,1 \text{ с}$.

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

Беремо вимикач ВВ/TEL-10-12,5/630 У2.

Перевіряємо кабеля на діляках

Кабелі активно використовують в електроустановках. Споживачі напругою 10 кВ, переважно, отримують живлення через кабельні лінії. Метод мінімального перерізу провідника використовується для оцінки термічної стійкості кабельних ліній у випадку короткого замикання, де:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}; \quad (2.28)$$

$$C = 99 \text{ А} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}} / \text{мм}^2. \quad B_k = 4,910^2 \cdot (0,115 + 0,01) = 3,85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Для ділянки ГПП-ТП9 обрано кабель типу ААШВУ-3х230 мм². Отриманий F_{\min} дорівнює 19,62 мм², що менше за номінальний переріз кабеля 240 мм²

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

Вибір трансформатора струму на 10кВ

Вибір трансформатора для 10кВ враховує такі параметри установки, масимальний струм I_{\max} , електродинамічна та термічна стійкість.

Обрано трансформатор TPL 10-1-100/5-0,5/10P з урахуванням параметрів електродинамічної стійкості i_y , термічної стійкості B_k , номінального навантаження та інших важливих характеристик для забезпечення надійної експлуатації в електричних мережах.

Дані які розраховуються:

$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}; I_{\text{тер}} = 10 \text{ кА}; t_{\text{тер}} = 3 \text{ с};$ Номінальне навантаження для класу точності дорівнює – 0,5 ; $I_{2\text{ном}} = 5 \text{ А}.$

Для перевірки трансформатора струму за вторинним навантаженням, використовуючи схему підключення та каталожні дані приладів, визначають навантаження по фазах.

Таблиця 2.4 - Вторинне навантаження ТТ ТПЛ 10-1, під'єданого до трансформатора

Прилад	Тип	Напруга фази, ВА		
		А	В	С
Амперметр	Е-350	-	0,5	-
Ватметр	Д-335	0,5	-	0,5
Варметр	Д-335	0,5	-	0,5
Лічильник споживання активної енергії	ZMG405CR	2,5	-	2,5
Лічильник споживання реактивної енергії	ZMG405CR	2,5	-	2,5
Разом		6	0,5	6

Загальний опір приладу визначають за формулою:

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{6}{5^2} = 0,24 \text{ Ом.} \quad (2.29)$$

Опір з'єднувальних проводів залежить від їхньої довжини та перерізу:

$$r_{\text{з'єд}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}} \leq Z_{2\text{ном}}; \quad (2.30)$$

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

$$r_{\text{з'єд}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}} = 0,4 - 0,24 - 0,1 = 0,06 \text{ Ом};$$

де: $r_{\text{к}} = 0,1 \text{ Ом}$ – контактний опір.

Знаючи $r_{\text{з'єд}}$ з'єднувальних проводів, можна визначити їх переріз:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{r_{\text{з'єд}}}; \quad (2.31)$$

де: $\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ - власний опір проводу з мідними жилами;

$l_{\text{розр}}$ — розрахункова довжина, що залежить від схеми підключення ТТ.

Довжина з'єднувальних проводів від трансформаторів струму до приладів (на один кінець) для ліній 10 кВ приблизно становить 6 м. Для з'єднання вторинних обмоток трансформаторів струму за схемою неповна зірка приймається:

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

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

Вибираємо контрольний кабель типу АКРВГ з алюмінієвими жилами певного перерізу - 6 мм^2 .

Опір проводів визначають за формулою:

$$r_{з'єд} = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{q} = \frac{0,0283 \cdot 10,4}{6} = 0,05 \text{ Ом}.$$

Сумарний опір вторинного навантаження обчислюється за формулою:

$$Z_2 = r_2 = r_{приб} + r_{пр} + r_k = 0,24 + 0,05 + 0,1 = 0,39 \text{ Ом}. \quad (2.32)$$

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

Вибір трансформатора напруги для 10 кВ

Трансформатори напруги вибираються відповідно до кількох важливих критеріїв:

- Напруга виходячи з умови $U_{уст} \leq U_{ном}$;
- Конструкції та схеми з'єднання обмоток: враховується при виборі конкретної моделі трансформатора.
- Клас точності: обирається залежно від вимог до точності вимірювань із номінальною потужністю в обраному класі.
- Вторинне навантаження $S_{2\Sigma} \leq S_{2ном}$: цей параметр враховується для всіх вимірювальних приладів та реле, які підключенні до трансформатора.

На приладі вибору трансформатора напруги НАМІ-10-95-УХЛЗ для сторони 10 кВ з параметрами $U_{ном} = 10 \text{ кВ}$; $S_{2ном} = 200 \text{ В} \cdot \text{А}$ класі точності 0,5. Лічильник електричної енергії ZMR 110 CR E230 вибраний з урахування споживаної потужності $S_{2\Sigma} = 10 \text{ ВА}$.

Трансформатор працюватиме в обраному класі точності 0,5, оскільки виконується умова: $S_{2\Sigma} = 10 \text{ В} \cdot \text{А} \leq S_{2ном} = 200 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Для з'єднання трансформатора з приладами використовується контрольний кабель АКРВГ з поперечним перерізом жил $2,5 \text{ мм}^2$, що забезпечує необхідну механічну міцність.

Для захисту трансформаторів від перевантаження та короткого замикання використовується плавкий запобіжник типу ПКН 001 - 10У3.

Вибір вимикачів та від'єднувачів на напрузі 110 кВ здійснюється відповідно до вимог безпеки та технічних характеристик системи.

Вибір вимикачів та від'єднувачів на 110 кВ

Розраховуємо струм для вибору обладнання на стороні 110 кВ:

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{номТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 115,6 \text{ А.} \quad (2.33)$$

Струми короткого замикання, обчислені для вимикача (точка К2), складають:

$$I_{\text{п,о}} = I'' = 7,175 \text{ кА}; i_y = 18,811 \text{ кА}; I_y = 11,249 \text{ кА}; I^{(2)} = 6,214 \text{ кА.} \quad (2.34)$$

Обираємо вимикач GL-312 та вимикач від'єднувача РНДЗ-110/1000У1.

Обчислюємо аперіодичну складову струму короткого замикання при максимальному значенні:

$$i_{\text{а,т}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п,о}} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}; \quad (2.35)$$

$$\tau = t_{\text{с,в}} + 0,01 = 0,03 + 0,01 = 0,04 \text{ с};$$

$$i_{\text{а,т}} = \sqrt{2} \cdot 7,175 \cdot e^{-0,04/0,01} = 0,18 \text{ кА.}$$

Визначаємо тепловий імпульс:

$$W_k = I_{\text{п,о}}^2 (t_{\text{вимк}} + T_a); \quad (2.36)$$

де: $t_{\text{викл}} = t_{\text{с,в}} + t_{\text{рз}} = 0,04 + 0,1 = 0,14 \text{ с}$ - повний час відключення вимикача;

$$W_k = 7,175^2 \cdot (0,14 + 0,02) = 8,24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Розрахунки компенсації реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності відіграє важливу роль у процесі забезпечення стабільного електропостачання промислових підприємств. Передавання реактивної потужності з енергосистеми до кінцевих споживачів є неефективним процесом, оскільки він супроводжується значними втратами активної потужності та енергії в усіх компонентах системи електропостачання. Додатково, це призводить до збільшення перерізу проводів і кабелів, а також

підвищує навантаження на трансформатори через надлишок реактивної потужності. Слід відзначити, що компенсація реактивної потужності є одним з основних методів зменшення втрат електроенергії та підвищення ефективності системи електропостачання. В мережах загального призначення, для компенсації реактивної потужності, як правило, використовуються високовольтні та низьковольтні конденсаторні батареї, а також синхронні двигуни. Пропускна здатність цехового трансформатора за реактивною потужністю визначають за спеціально розробленою формулою:

$$Q_{\text{Тр}} = \sqrt{(n \cdot k_z \cdot S_{\text{номТ}})^2 - P_{\text{розр}}^2}; \quad (2.37)$$

де:

- n – позначається як кількість трансформаторів;
- k_z – позначається як коефіцієнт завантаження;
- $P_{\text{розр}}$ – позначається як розрахункове активне навантаження;
- $S_{\text{ном.Т}}$ – позначається як номінальна потужність трансформатора.

Розглянемо обчислення для ТП9, що має два трансформатори типу ТМЗ-1000 з нормативним коефіцієнтом завантаження 0,72. Загальне розрахункове активне/реактивне навантаження цеху:

$$P_{\text{розр}} / Q_{\text{розр}} = 1447,00 \text{ кВт} / 422,00 \text{ квар};$$

Визначимо реактивну потужність трансформаторів:

$$Q_{\text{Т}} = \sqrt{(0,72 \cdot 2 \cdot 1000)^2 - 1447,00^2} = \sqrt{-142,16} = 0 \text{ квар};$$

Оскільки система не забезпечує необхідної реактивної потужності, $Q_{\text{розр}} > Q_{\text{Тр}} \Rightarrow 422,00 > 0$.

Тому, необхідна реактивна потужність складає:

$$Q_{\text{необх}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{Т}} = 422,00 - 0 = 422,00 \text{ квар}.$$

Для цієї установки обирається конденсаторна установка УКМ58-0,4-500-50 УЗ.

Баланс споживання реактивної потужності

Загальне споживання реактивної потужності (РМ) на стороні 0,4 кВ складає:

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

$$Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot 2 \cdot 10000 = 2000 \text{ квар.} \quad (2.39)$$

Втрати в цехових трансформаторах приймаються рівними 10% від номінальної потужності трансформаторів, що складає:

$$\Delta Q_{\text{T}} = 0,1 \cdot 8 \cdot (400 + 630 + 1000) = 1024 \text{ квар.} \quad (2.40)$$

Загальне споживання становить:

$$Q_{\Sigma} = Q_{0,4\text{кВ}} + \Delta Q_{\text{T}} + Q_{\text{тр}} = 6186,58 + 1024 + 2000 = 9210,58 \text{ квар.} \quad (2.41)$$

Резерв для післяаварійних режимів становить 10% від загальної споживаної потужності і дорівнює:

$$Q_{\text{рез}} = 0,1 \cdot Q_{\Sigma} = 0,1 \cdot 9210,58 = 921,058 \text{ квар.} \quad (2.42)$$

Необхідна реактивна потужність:

$$Q_{\text{потр}} = Q_{\Sigma} + Q_{\text{рез}} = 9210,58 + 921,058 = 10131,698 \text{ квар.} \quad (2.43)$$

Реактивна потужність, яку отримує система становить:

$$Q_{\text{ЭН}} = 3734,60 \text{ квар.} \quad (2.44)$$

Через неможливість забезпечити потрібну реактивну потужність, вирішено встановити конденсаторні батареї. Для ТП9 обрана така конденсатора установка:

Тип: УКМ58–0,4–500–50 У3;

Реактивна потужність якої становить: $Q_{\text{ку}} = 500$ квар;

К-сть ступенів; 10 по 50 квар; $I_{\text{бк}} = 723$ А.

Номінальний струм: $I_{\text{бк}} = 723$ А

Для захисту обираю автоматичний вимикач моделі: EZC100H30750.

Для установки вибираємо трансформатор струму: ТТІ-А 800/5.

Як комутаційний пристрій обирають контактор від виробника SCHNEIDER-ELECTRIC: TeSys LC1-BL – 3P – AC-3 440 В 750 А – кат. 380 В

Схема автоматичного регулювання РМ

Схема автоматичного управління реактивною потужністю в конденсаторній установці заснована на аналогових компонентах і працює наступним чином: годинниковий механізм замикає контакти і повідомляє про підключення конденсаторного блоку до основного джерела живлення. 7:00, 12:00, 17:00 і 20: 00 годин і відключіться від мережі-в 11:00, 14:00, 16:00 і 23: 00. Сигнал включення або виключення запалювання реле КМ передається з тимчасовою затримкою, яка виконується за допомогою реле часу *КТ1* або *КТ2*.

Коли конденсаторний блок включений і напруга мережі перевищує 1,1 від номінальної напруги, спрацьовує реле максимальної напруги КВ1. Це реле виконується по ланцюгу КВ1.2 і контактам блоку КМ.запустить реле часу 4kt2. Після закінчення заданої тимчасової затримки реле КТ2 замикає запалювання і активує реле КЛ1. Спрацьовування реле КЛ1 призводить до розблокування обмотки контакту КМ, в результаті чого конденсаторний блок відключається від основного джерела живлення.

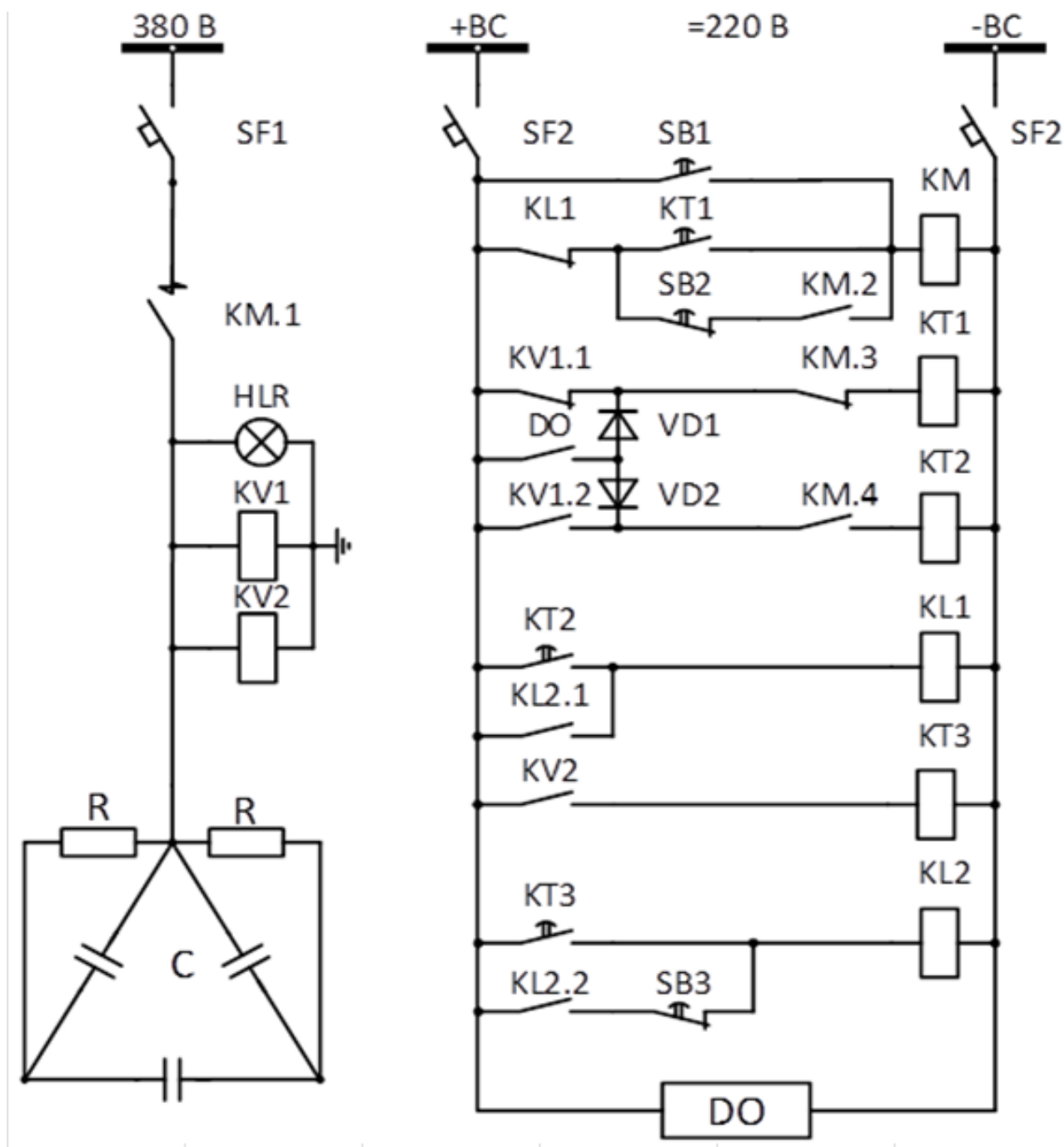


Рисунок 2.1 – Схема захисту та автоматичного управління РМ КУ

Кнопки Sb1 і SB2 призначені для ручного управління конденсаторним блоком. Діоди VD1 і VD2 виключають можливість включення конденсаторного блоку в мережу в разі спрацьовування реле KV1, тобто при перевищенні або зниженні напруги нижче неприпустимого рівня.

Захист від перенапруги здійснюється за допомогою реле часу KV2 і реле часу КТЗ. Контакт реле kt3 замикається, реле KL2 починає працювати і переходить в автоматичний режим через кнопку SB3 і контакт KL2.2. Він передає К12 через контакт KL2. Увімкніть обмотку реле KL1, увімкніть нормально замкнутий контакт і від'єднайте контакт КМ. Якщо спрацює захист, конденсаторний блок можна підключити до основного джерела живлення тільки після натискання кнопки sb3, щоб розблокувати захист.

Блискавкозахист ГПП

Підстанцію захищено чотирма блискавкозахистами, установленими на порталах. Відкрите розподільне обладнання підстанції має такі габаритні розміри: висота найвищого об'єкта h_x становить 5,6 м (газовий вимикач), ширина $b = 30$ м, довжина $a = 38$ м. Відстань між найближчими блискавкозахистами $l_1 = 22$ м, між віддаленими $l_2 = 34,5$ м.

Діаметр кола, проведеного через вершини прямокутника, визначається за формулою:

$$D = \sqrt{l_1^2 + l_2^2}; \quad (2.45)$$

$$D = \sqrt{22^2 + 34,5^2} = 41 \text{ м.}$$

Для блискавкозахистів висотою $h \leq 30$ м умова захисту обладнання висотою h_x , розміщеного в межах цього прямокутника, має такий вигляд:

$$D \leq 8(h - h_x) \leq 8h_a.$$

З цього відношення перевищення висоти блискавкозахистів h_a над висотою захищеного об'єкта h_x повинно становити:

$$h_a \geq \frac{D}{8}; \quad (2.46)$$

$$h_a \geq \frac{41}{8} = 5,1 \text{ м.}$$

Повна висота типового блискавкозахисту

$$h = h_x + h_a = 5,6 + 6 = 11,6 \text{ м.}$$

Для установки обираємо висоту блискавкозахисту: $h = 12$ м.

Визначаємо межі зовнішньої зони захисту.

Висота вершини конуса стрижневого блискавкозахисту h_0 та радіуси захисту на рівні землі r_0 і на висоті захищеного об'єкта r_x визначають так само, як для одиночного блискавкозахисту.

$$h_0 = r_0 = 0,8 \cdot h = 0,8 \cdot 12 = 9,6 \text{ м}; (2.47)$$

$$r_x = 1,5 \cdot \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right) = 1,5 \cdot \left(9,6 - \frac{5,6}{0,92} \right) = 5,27 \text{ м.}$$

Висота середньої частини попарно взятих блискавкозахистів:

$$h_{\min 1} = h_{c1} = h_0 - 0,14 \cdot (l_1 - h) = 9,6 - 0,14 \cdot (22 - 12) = 8,2 \text{ м}; \quad (2.48)$$

$$h_{\min 2} = h_{c2} = h_0 - 0,14 \cdot (l_2 - h) = 9,6 - 0,14 \cdot (34,5 - 12) = 6,45 \text{ м};$$

Ширина середньої частини зони попарно взятих блискавкозахистів на рівні землі становить:

$$r_{cx2} = r_0 \cdot \frac{h_{c2} - h_x}{h_{c2}} = 9,6 \cdot \frac{6,45 - 5,6}{6,45} = 1,26 \text{ м}; \quad (2.49)$$

$$L_c = 2,25 \cdot h = 2,25 \cdot 12 = 27 \text{ м.}$$

Оскільки відстань між блискавкозахистами становить $l_1 = 22 \text{ м} \leq L_c = 27 \text{ м}$, то межа зони захисту r_{cx1} між блискавкозахистом не має провису.

3. ОБЧИСЛЕННЯ ЗАХИСТУ ТА ЙОГО КООРДИНАЦІЯ

3.1 Обчислення селективності релейного захисту

Захист ЕП № 37 інструментального цеху здійснюється автоматичним вимикачем NSXm. При струмі КЗ $I_{кз}^{(1)} = 521$ А, час спрацювання автомата за захисними кривими становить:

$$t_{d(QF1)} \approx 0,005 \text{ с.} \quad (3.1)$$

Селективність за часом між послідовно розташованими автоматами забезпечується за умови:

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

Визначаємо час спрацювання автоматичного вимикача EasyPact EZC100H ЗР 30 кА 125А, 400/415 В (EZC100H30125) з мікропроцесорним вимикачем за формулою:

$$T = \left(\frac{6 \cdot K}{p} \right)^2 \cdot t_r; \quad (3.2)$$

$$p = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{н.р}} = \frac{1306}{125} = 10,5;$$

де: $K = 0,4$ – коефіцієнт спрацювання захисту від перевантаження;

p – Коефіцієнт множник фактичного струму при короткому замиканні (КЗ) в точці К12, відносно номінального струму автоматичного вимикача;

$t_r = 3$ с – час затримки спрацювання захисту, встановлюваний DIP – перемикачем на лицьовій панелі вимикача;

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

Час спрацювання секційного автоматичного вимикача EasyPact MVS, 50 кА, 2000 А (MVS20H3MF2L) на стороні НН 0,4 кВ цехової підстанції:

$$t_{d(QF3)} \geq 1,5 \cdot 0,156 = 0,23 \text{ с.} \quad (3.3)$$

Час спрацювання автоматичного вимикача MVS20H3MF2L приймається:

$$t_{d(QF3)} = 0,25 \text{ с.}$$

Час спрацювання вступного автоматичного вимикача EasyPact MVS, 50 кА, 2500 А (MVS25N3MF2L) на стороні НН 0,4 кВ цехової підстанції:

$$t_{d(QF4)} \geq 1,5 \div 0,25 = 0,37 \text{ с.} \quad (3.3)$$

Час спрацювання автомата MVS25N3MF2L відповідно приймається:

$$t_{d(QF4)} = 0,4 \text{ с.}$$

Селективність спрацювання запобіжника на стороні 10 кВ та автоматичних вимикачів на стороні 0,4 кВ цехового трансформатора:

$$t_{f10} = 1,6 \cdot t_{d(QF4)}. \quad (3.4)$$

Визначаємо час перегорання плавкої вставки запобіжника (ПКТ-10-80, $I_{(н.пв)}=80\text{А}$) при струмі КЗ в точці К5 $I_{кз}^{(3)} = 14595\text{А}$ переведеного на високу сторону трансформатора:

$$I_{кз(10)}^{(3)} = I_{кз(0,4)}^{(3)} \frac{U_{срнНН}}{U_{срнВН}}; \quad (3.5)$$

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

$$t_{f10} = f(I_{н.пв}; I_{кз}^{(3)}) = 0,8\text{с} > 1,6 \cdot 0,4 = 0,64 \text{ с.} \quad (3.6)$$

Селективність за часом між МТЗ ліній 10 кВ та запобіжником на стороні 10 кВ цехового трансформатора:

$$t_{ppQ4}^{III} = t_{f10} + \Delta t; \quad (3.7)$$

де: $\Delta t = 0,3 \text{ с}$ – ступінь селективності;

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

Селективність за часом між МТЗ секційного вимикача та МТЗ лінії:

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

Селективність за часом між МТЗ 10 кВ трансформатора та секційного вимикача:

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

Селективність за часом між МТЗ 110 кВ та МТЗ 10 кВ силового трансформатора:

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

Обчислювання релейного захисту кабельної лінії 10 кВ

Кабельні лінії промислових підприємств захищають від таких пошкоджень і нестабільних режимів роботи:

- від міжфазних короткого замикання (КЗ);
- від замикання на землю;
- під час обривів фаз;
- у разі перевантажень.

Для захисту від міжфазних КЗ передбачають двоступеневий струмовий захист:

I ступінь – струмове відсічення;

II ступінь – максимальний струмовий захист з часовим запізненням.

Для захисту встановлюють два трансформатори струму, і залежно від вимог чутливості, захист може бути виконаний одно-, дво- або трирелейного. Трансформатори струму підмикають до однієї і тієї самої фази на протягом усієї мережі, і в такий спосіб забезпечують відмикання двофазного короткого замикання на землю тільки пошкодженої ділянки.

I ступінь

Струмове відсічення. Захист налаштовується:

1) Від максимального зовнішнього трифазного струму короткого замикання:

$$I_{CЗ}^I \geq k_H^I \cdot I_{кз.мах.вн}^{(3)}; \quad (3.8)$$

де: $k_H^I = 1,3$ – коефіцієнт надійності реле АЛ-1.

$I_{кз.мах.вн}^{(3)}$ – струм, який проходить через трансформатори струму в ряді трифазного короткого замикання на стороні 0,4 кВ цехових трансформаторів:

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

де: $I_{кз.мах.вн\ 0,4\ кВ}^{(3)} = 14,95$ кА – струм трифазного короткого замикання на стороні 0,4 кВ ТП9;

$U_{ТНН} = 0,4$ кВ – низьке напруга;

$U_{ТВН} = 10$ кВ – висока напруга.

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

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

2) Від сумарного стрибка струму намагнічування трансформаторів:

$$I_{\text{сз}}^I \geq k_{\text{Н}}^I \cdot I_{\text{бр.мах}} = 1,3 \cdot 520 = 676 \text{ А}; \quad (3.9)$$

$$I_{\text{бр.мах}} = 4 \cdot \sum I_{\text{ном.м}} = \frac{\sum_{i=1}^3 S_{\text{ном.Т.і}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = 4 \cdot \frac{400 + 630 + 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 520 \text{ А.}$$

Струм спрацьовування реле:

$$I_{\text{сп}}^I = \frac{k_{\text{сх}}^{(3)}}{k_{\text{Т}}} \cdot I_{\text{сз}}^I;$$

де: $k_{\text{сх}}^{(3)} = 1$ – коефіцієнт схеми в разі трифазного короткого замикання;

$k_{\text{Т}}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму ТПЛ-10-200/5,

$k_{\text{Т}} = \frac{200}{5} = 40$. Максимальний робочий струм кабеля:

$$I_{\text{рмах}} = 154 \text{ А.}$$

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

Чутливість захисту в ряді двофазного короткого замикання в кінці лінії:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз,мін}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{4077}{777} = 5,24; \quad (3.10)$$

де: $I_{\text{кз,мін}}^{(2)} = 4077 \text{ А}$ – струм двофазного короткого замикання в кінці лінії.

Обираємо реле типу АЛ-1/100, $I_{\text{уст}} = 40 \text{ А}$

II ступінь

Максимальний струмовий захист з витримкою в час. Цей захист є резервним захистом I ступеня та основним захистом від перевантажень.

1) Захист налаштовується на максимальний робочий струм кабеля:

1) Захист налаштовується на максимальний робочий струм кабеля:

$$I_{\text{сз}}^{\text{III}} \geq \frac{k_{\text{Н}}^{\text{III}} \cdot k_{\text{сзп}}}{k_{\text{В}}} \cdot I_{\text{рмах}}; \quad (3.11)$$

де: $k_{\text{Н}}^{\text{III}} = 1,2$ – коефіцієнт надійності реле АЛ-1;

$k_{\text{сзп}} = 2 \div 3,5$ – коефіцієнт самозапуску, що враховує можливість збільшення струму в захищеній лінії внаслідок самозапуску електродвигуна (ЕД) після відключення;

$k_{\text{в}} = 0,95$ – коефіцієнт повернення струмового реле;

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

2) Захист від надмірних струмів, що виникають при спрацьовуванні автоматичного повторного вмикання (АПВ):

$$I_{\text{с.з}}^{\text{III}} \geq k_{\text{Н}}^{\text{III}} \cdot k_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{р.макс}}; \quad (3.12)$$

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

3) Захист від надлишкових струмів, спричинених відключенням паралельної лінії та дією автоматичного включення резерву (АВР):

$$I_{\text{с.з.}}^{\text{III}} \geq K_{\text{Н}}^{\text{III}} \cdot (I_{\text{р.макс}} \cdot K' + K_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{р.макс}}); \quad (3.13)$$

де: $K' = 1,1 \div 1,5$ – коефіцієнт повернення.

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

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

Перевіряємо коефіцієнт чутливості:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз,мін}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{4077}{609,8} = 6,68 > 1,5. \quad (3.14)$$

де: $I_{\text{кз,мін}}^{(2)} = 4077 \text{ А}$ – струм двофазного короткого замикання в кінці лінії;

$$I_{\text{сп}}^{\text{III}} = \frac{k_{\text{сх}}^{(3)}}{k_{\text{І}}} \cdot I_{\text{сз}}^{\text{III}} = \frac{1}{20} \cdot 609,8 = 30,5 \text{ А.} \quad (3.15)$$

Обирається реле струму АЛ-1, $I_{\text{уст}} = 31,25 \text{ А}$, витримка часу забезпечується реле РСВ 18-11.

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

Витримка МТЗ визначається:

$$t_{\text{сз}}^{\text{III}} = t_{\text{ел макс}}^{\text{III}} + \Delta t; \quad (3.16)$$

де: $t_{\text{ел макс}} = t_{\text{f10}} = 0,8 \text{ с}$ – максимальна витримка часу захистів, що стоять нижче;

$\Delta t = 0,5 \div 0,7 \text{ с}$ – ступінь селективності.

$$t_{pp}^{III} = 0,8 + 0,5 = 1,3 \text{ с.} \quad (3.17)$$

Обираємо реле часу типу РСВ 18-11 з спрацюванням в межах $0,5 \div 9$ с.

Захист лінії від замикань на землю

Використовуємо захист з використанням (МТЗ) нульової послідовності. Захист складається з фільтра струму нульової послідовності, до якого підключають струмове реле. При спрацюванні реле відбувається відмикання з витримкою часу.

$$I_{ocs} \geq k_{отс} \cdot 3I_{ол}^{(1)}; \quad (3.18)$$

де: $k_{отс} = 2,0 \div 2,5$ – у випадку дії захисту з витримкою в час,

$3I_{ол}^{(1)}$ – струм, збудований обсягом лінії, (для кабельних ліній).

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

де: $l = 0,47 + 0,1 + 0,08 = 0,65$ км – довжина захищеної лінії.

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

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

Чутливість захисту характеризується коефіцієнтом:

$$k_{ч} = \frac{3I_{озк}^{(1)}}{I_{ocs}} \geq 1,5; \quad (3.19)$$

де: $3I_{озк}^{(1)}$ – струм, що визначає обсяг усіх непошкоджених ліній:

$$3I_{озк}^{(1)} = \frac{U \cdot l_{\Sigma}}{10}; \quad (3.20)$$

$l = 0,38 + 0,25 + 0,06 + 0,06 + 0,155 + 0,665 + 0,1 + 0,1 + 0,165 + 0,6 = 2,53$ км. де: l – загальна довжина непошкоджених ліній;

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

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

Обираємо реле струму нульової послідовності типу РТЗМ-51 з $I_{уст} = 0,3 \div 0,6$ А. Витримка часу захисту $t_{ocs} = 0,7$ с. Обираємо реле часу типу РСВ 18-11 з уставкою $0,5 \div 9$ с.

3.2 Захист силового трансформатора ТП9 ТМЗ-1000/10

Приладів релейного захисту для силових трансформаторів передбачають захист від таких видів пошкоджень та ненормальних режимів роботи:

- багатофазних коротких замикань у обмотках та на виводах;
- однофазних коротких замикань на землю у обмотці та на виводах, приєднаних до мережі з глухо-заземленою нейтраллю;
- виткових замикань у обмотках від перевантаження;
- від зниження рівня масла в трансформаторі та інших внутрішніх пошкоджень.

I ступінь МТЗ – струмове відключення.

Для захисту від багатофазних замикань використовується максимальний струмовий захист. Як перший ступінь використовується струмове відключення з реле РТ-40. Обмотки реле і трансформаторів струму з'єднані за схемою неідеальної зірки. Струми захисту і спрацювання реле визначаються за формулою:

$$I_{сз}^I = k_n^I \cdot I_{кз.мах.вн}^{(3)}; \quad (3.21)$$

де: $k_n^I = 1,3 \div 1,4$ – коефіцієнт надійності для реле РТ-40;

$I_{кз.мах.вн}^{(3)}$ – Струм, який проходить через захист при трифазному короткому замиканні на стороні НН, приведений до сторони ВН за формулою:

$$I_{кз.мах.вн}^{(3)} = 10385 \cdot \frac{0,4}{10} = 415,4 \text{ А}$$

$$I_{сз}^I = 1,4 \cdot 415,4 = 581,6 \text{ А.}$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{сп}^I = \frac{k_{сх}^{(3)}}{k_I} \cdot I_{сз}^I; \quad (3.22)$$

де: $k_{сх}^{(3)} = 1$ – коефіцієнт схеми;

k_I – коефіцієнт трансформації трансформатора струму, $k_I = 150/5 = 30$

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

Обираємо реле РТ 40 / 50 з $I_{уст} = 20 \text{ А}$, при послідовному з'єднанні котушок.

Коефіцієнт чутливості:

$$k_q = \frac{I_{кз}^{(3)}}{I_{сз}^I} = \frac{2931}{581,6} = 5 > 1,5. \quad (3.22)$$

II ступінь – МТЗ з витримкою часу

Схема з'єднання ТТ та реле – неповна зірка. Струми спрацювання захисту та реле:

Струм спрацювання захисту:

$$I_{сз}^{III} = \frac{k_H^{III} \cdot k_{сзп}}{k_B} \cdot I_{ВН\ ном}; \quad (3.23)$$

Струм спрацювання реле:

$$I_{ср}^{III} = \frac{k_{сх}^{(3)}}{k_I} \cdot I_{сз}^{III}; \quad (3.24)$$

де: $k_H^{III} = 1,2$ – коефіцієнт надійності для реле РТ-40;

$k_B = 0,8$ – коефіцієнт повернення для реле РТ-40;

$k_{сзп} = 2,5 \div 3,5$ – коефіцієнт самозапуску;

$I_{ВН\ ном}$ – номінальний струм трансформатора на стороні ВН.

$$I_{ВНном} = \frac{S_{Н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А}$$

$$I_{сз}^{III} = \frac{1,2 \cdot 3}{0,8} \cdot 36,4 = 163,8 \text{ А}; \quad (3.25)$$

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

Обираємо реле РТ 40/10 з $I_{уст} = 4 \text{ А}$, при паралельному з'єднанні обмоток.

Визначаємо коефіцієнт чутливості:

$$k_q = \frac{I_{кз}^{(3)}}{I_{сз}^{III}} = \frac{2931}{154,2} = 19 > 1,5; \quad (3.26)$$

Витримка часу МТЗ

$$t_{сз}^{III} = t_{элmax}^{III} + \Delta t; \quad (3.27)$$

де: $t_{элmax}^{III}$ – максимальна витримка часу;

$\Delta t = 0,5 \div 0,7 \text{ с}$ – селективність.

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

Обираємо реле часу ЕВ – 245 з уставкою $0,5 - 9 \text{ с}$.

Захист трансформатора від перевантаження

Для захисту трансформатора від перевантаження приймаємо максимальний токовий захист (МТЗ), установлену з боку високої напруги (ВН) трансформатора, виконану за допомогою одного реле, підключеного до фазного струму та діючу на сигнал з витримкою часу.

$$I_{сз}^{III} = \frac{k_n^{III}}{k_B} \cdot I_{ном,Т}; \quad (3.28)$$

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

де: $k_n^{III} = 1,15$ – коефіцієнт надійності;

$k_B = 0,8$ – коефіцієнт повернення;

$I_{ном.ст.}$ – номінальний струм трансформатора.

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

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

Обираємо реле РТ-81/2, $I_y = 1,8 \text{ А}$

Витримку часу МТЗ в цьому разі обирають на ступінь селективності вище найбільшої витримки часу захисту трансформатора від КЗ.

$$t_{МТЗ}^{III} = t_{кзВН}^{III} + \Delta t = 0,95 + 0,7 = 1,65 \text{ с}. \quad (3.29)$$

Захист від однофазних коротких замикань на землю в обмотці та на виводах, приєднаних до мережі з глухозаземленою нейтраллю

Трансформатори зі з'єднанням обмоток за схемою Δ/Y_0 (трикутник-зірка зі заземленою нейтраллю) мають особливість, що їх опір нульової послідовності практично дорівнює опору прямої послідовності. Це важливий аспект, який вказує на те, що струми однофазного та трифазного короткого замикання при пошкодженнях на виводах низької напруги (НН) трансформаторів мають приблизно однакові значення. Іншими словами, незалежно від того, чи відбувається однофазне або трифазне коротке замикання, очікувані струми будуть

приблизно однаковими. Важливим є те, що у обох випадках пошкодження повинні відключатися третім ступенем струмового захисту трансформатора, що гарантує їх безпеку і надійність в експлуатації.

Перевірка трансформаторів струму з похибкою 10%

Розглянемо трансформатор струму ТПЛ-10-200/5-0,5, який використовується для захисту кабельної лінії.

Визначимо кратність первинного струму:

$$K_{10} = \frac{I_{1calc}}{K_1 \cdot I_{1n}} = \frac{K_2 \cdot I_{1max}}{K_1 \cdot I_{1n}}; \quad (3.30)$$

де: $K_1 = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує можливість погіршення характеристик намагнічування встановленого трансформатора струму;

$K_2 = 1,2 \div 1,3$ – коефіцієнт, що враховує вплив аперіодичної складової струму;

$I_{1n} = 200$ А – номінальний первинний струм трансформатора;

I_{1max} – максимальне значення первинного струму, при якому трансформатор струму повинен працювати з похибкою не більше 10%;

$$I_{1max} = 1,1 \cdot I_{pp}; \quad (3.31)$$

$$I_{pp} = 777 \text{ А};$$

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

Тоді:

$$K_{10} = \frac{1,2 \cdot 777}{0,8 \cdot 200} = 5,82. \quad (3.32)$$

Згідно з кривою 10% похибки для трансформаторів струму ТПЛ-10-200/5-0,5 при значенні $K_{10} = 5,82$ знайшли допустимий опір навантаження $Z_{2 доп} = 0,9$ Ом

Опір навантаження, яке підключено до трансформатора струму, визначається відповідно до схеми з'єднання трансформатора струму. Важливо зазначити, що схема з'єднання може відрізнитися в залежності від конкретного застосування трансформатора струму. В даному випадку, коли трансформатори струму з'єднані за схемою повної зірки, опір визначається у режимі трифазного короткого

замикання. Для цього використовують спеціальну формулу. Ця формула дає змогу визначити опір з точністю, що необхідна для оптимальної роботи обладнання.

$$Z_2 = 0,5 \cdot Z_{2\text{calc}}; \quad (3.33)$$

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

де Z_{rf} – опір реле, підключеного в фазу, Ом;

$$Z_{\text{rf}} = \frac{S_{\text{rf}}}{I_{\text{regminf}}^2}; \quad (3.34)$$

$S_{\text{rf}} = 1 \text{ ВА}$ – споживана потужність реле АЛ-1;

$I_{\text{regminf}} = 5 \text{ А}$ – мінімальний струм встановлення реле АЛ-1;

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

R_{cond} – опір з'єднувальних проводів;

$$R_{\text{cond}} = \rho \frac{l}{S}; \quad (3.35)$$

де: $\rho = 0,0178 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ – відносна провідність міді;

$S = 6 \text{ мм}^2$ – поперечний переріз з'єднуваного проводу;

$l = 16 \text{ м}$ – довжина проводу від трансформатора струму до реле АЛ-1;

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

$R_{\text{cont}} = 0,12 \text{ Ом}$ – опір контактів;

$$Z_{2\text{calc}}^{(3)} = 0,07 + 0,04 + 0,12 = 0,23 \text{ Ом}. \quad (3.36)$$

$$Z_{2\text{доп}} > Z_{2\text{calc}};$$

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

Отже, трансформатор струму працює з похибкою менше 10%.

3.3 Автоматичне підключення резерву на напругу 0,38 кВ на ТП9

Для систем електропостачання з 2 (або більше) джерелами живлення найчастіше рекомендується працювати за іншою схемою. У цьому випадку всі джерела включені, але не підключені один до одного, тому кожен з них забезпечує харчуванням виділеного споживача. Такий режим роботи мережі пояснюється необхідністю зниження струму короткого замикання, спрощення захисного реле, створення необхідного режиму напруги і зниження втрат електроенергії. Однак в цьому випадку при відключенні одного джерела живлення припиняється подача електроенергії всім споживачам, тому надійність електропостачання в розподільній мережі нижче, ніж в замкнутій. Електропостачання споживачів, які втратили подачу електроенергії, може бути відновлено шляхом автоматичного підключення до іншого джерела живлення за допомогою пристрою автоматичного резервного живлення (AVR).

Для ТП9 використовується блок автоматичного резервного включення (BOIVR), призначений для управління автоматичним переходом від мережі до резервної, зміною порядку чергування фаз, перериваннями 1 або більше фаз "основний" або "резервної" мережі в разі неприпустимих відхилень напруги фази, асиметрія або відхилення фази.

Блок Управління Автоматичним Включенням Резерва (BOIVR) може застосовуватися в мережах електропостачання як частина для приладів AVR.

BOIVR забезпечує контроль стану введів, керування магнітними пускачами, автоматичними вимикачами з моторним приводом, індикацію стану входів та виходів.

Застосовуються різні схеми Устрої Автоматичного Включення Резерва (УАВР), але всі вони повинні відповідати наведеним нижче основним вимогам.

1. Пристрій автоматичного попереднього введення (УАВР) знаходиться в постійній готовності до дії і спрацьовує, коли джерело живлення для споживача з будь-якої причини відключається, якщо на іншому джерелі живлення є нормальна напруга, яке не потрібно цим споживачам.

Щоб запобігти заміні резервного джерела живлення на коротке замикання, перед спрацюванням УАВР необхідно замінити робочу лінію електроживлення вимикачем на бічній стороні споживчої шини.

Положення відключення цього вимикача контролюється допоміжними контактами або реле положення, які повинні використовуватися в ланцюгах, що містять вимикачі резервного живлення.

Напруга зазвичай є значенням впливу приладу AVR, оскільки ознакою відключення електроенергії є втрата напруги шини споживача. Коли напруга падає до певного значення, спрацює УАВР.

2. Мати якомога менший час відгуку $t_{авр1}$. Це необхідно для зменшення часу відключення електроенергії споживачем і забезпечення самостійної роботи електродвигуна. Мінімальний час визначається необхідністю усунення спрацювання БУАВР в разі короткого замикання елементів мережі, підключених до робочого джерела живлення, і при цьому напруга на резервній шині нижче, ніж робоча напруга прилада AVR. Ці пошкодження усуваються за рахунок швидкого захисту пошкодженого елемента. При виборі часу також необхідно узгодити дію пристрою з дією при падінні і з дією інших пристроїв AVR, розташованих поблизу працюючого джерела живлення.

3. Мати одноразовість дії, що необхідно для запобігання багаторазовому ввімкненню резервного джерела на стійке коротке замикання.

4. Крім захисту, він забезпечує швидке включення і нормальну роботу резервного джерела живлення і його споживачів з пошкоджених запасних частин шини.

5. Уникайте небезпечного асинхронного перемикавання синхронного двигуна та перевантаження обладнання. Залежно від конструкції комутаційного пристрою, схеми живлення і номінальної напруги основні вимоги до пристроїв AVR задовольняються по-різному (наприклад, мережеві пристрої AVR, пристрої YAVR в мережі).

3.4 Схема обліку та вимірювання на ТП9 на напругу 0,38 кВ

Лічильник прямого включення марки E230 в конфігурації ZMR110CRefRS призначений для вимірювання та реєстрації споживання активної та реактивної електроенергії в трифазних чотирипровідних мережах.

Лічильник може використовуватися для вимірювання електроенергії в таких типах мереж:

- **Однофазних мережах (лише фаза і нейтраль):** В цьому режимі лічильник буде вимірювати лише активну та реактивну електроенергію в одній фазі.
- **Двофазних мережах (лише дві фази і нейтраль):** В цьому режимі лічильник буде вимірювати лише активну та реактивну електроенергію в двох фазах.
- **Трифазних мережах з нейтраллю або без нейтралі:** В цьому режимі лічильник буде вимірювати активну та реактивну електроенергію у всіх трьох фазах, незалежно від наявності або відсутності нейтралі.
- **Трифазних трипровідних мережах з дельта-конфігурацією (F-схема Арона):** В цьому режимі лічильник може вимірювати активну та реактивну електроенергію, використовуючи лише три дроти.

Таким чином, лічильник E230 в конфігурації ZMR110CRefRS є універсальним пристроєм, який може використовуватися для вимірювання електроенергії в різних типах мереж.

У Молдову постачаються лічильники E230 у конфігурації ZMR110CRefRS з такими основними характеристиками:

- Напруга: 3x230/400 В;
- Струм: 5 (100) А (на замовлення можливі варіанти зі струмом 5 (120) А або 5 (60) А);
- Клас точності: 1.0 для активної енергії, 2.0 для реактивної енергії;
- Багатотарифний облік електроенергії: до 6 тарифів.

Для запобігання маніпуляціям і шахрайству лічильник оснащений такими функціями:

- Вимірювання активної енергії як суми абсолютних значень по всіх фазах;
- Вимірювання з високою точністю при відключеній нейтралі;
- Реєстрація несанкціонованих втручань у журналі подій та спеціальних реєстрах;
- Індикація маніпуляцій (шахрайства) за допомогою двох індикаторів;
- Профіль реєстрації показників за періодами: 30 хвилин (за замовчуванням), 1 година, 1 доба;
- Журнал подій із програмованими уставками контрольованих параметрів;
- Запломбована (червона) кнопка для механічного захисту від несанкціонованого програмування.

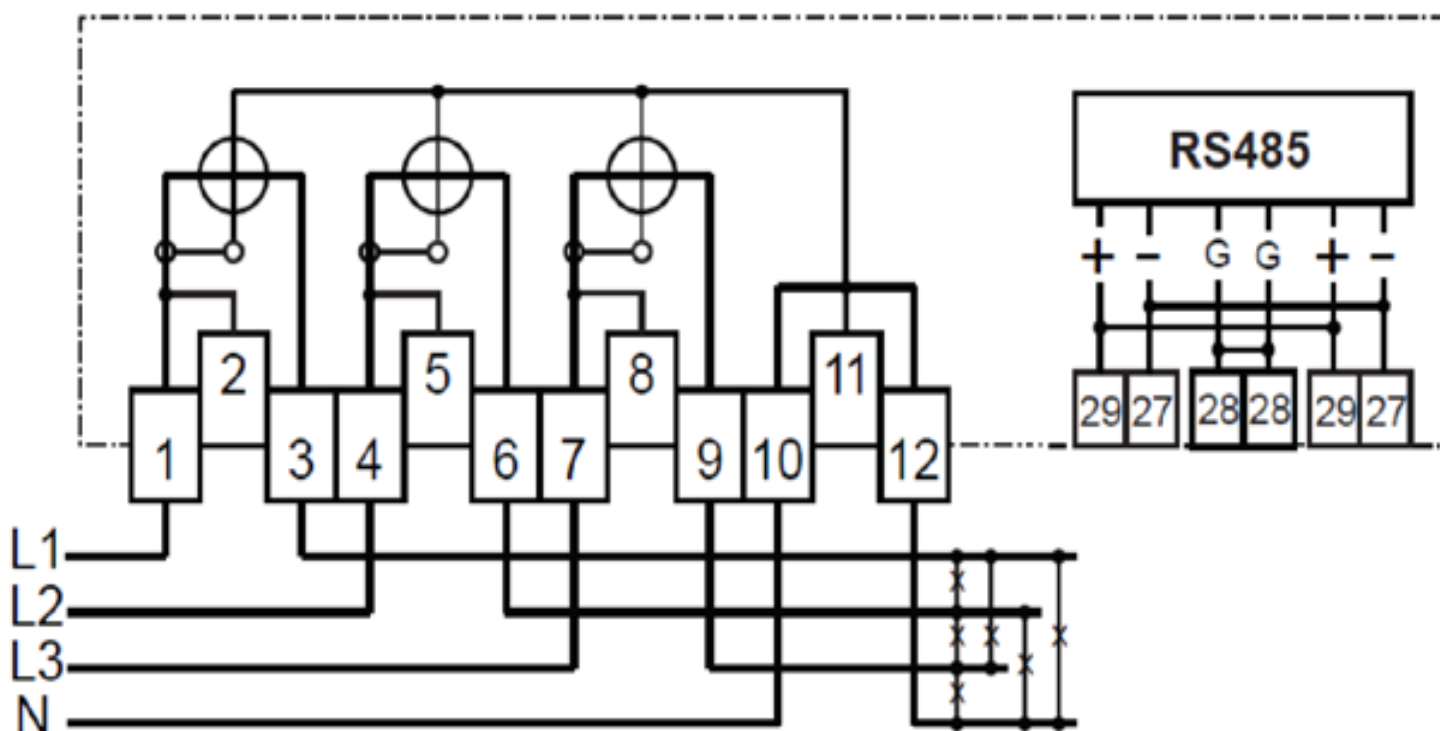


Рисунок 3.1 Схема підключення лічильника ZMR110CRefRS

4 ДЖЕРЕЛО-ОЦІНКА ПРАВИЛ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ (РСЕЕ) ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИСТРОЇВ UF2M

4.1 Мета використання та умови використання

Вимірювач якості електроенергії Resurs-UF2M призначений для вимірювання характеристик напруги, включаючи основний індикатор якості електроенергії (РСЕ), а також характеристик струму, потужності і енергії в автономному режимі, а також змінного трифазного і однофазного струмів. як частина інформаційно-вимірювальної системи.

Область застосування: вимірювання параметрів якості, в промисловості і на підприємствах системи живлення електричної величини у разі визнання організації, підприємства в електричній мережі управління (енергоефективність), облік потоків потужності в енергосистемах, міжсистемні перетікання, виробництво та використання електроенергії.

Лічильник може використовуватися як еталонний електролічильник для перевірки та перевірки електролічильників на місці, включаючи клас 0,5 (0,5 сек.) і менш точні (модифікація джерело UF2C, джерело UF2M), а також клас 1,0 (1,0 сек.) і менш точні (модифікація "джерело UF2").

Пристрій призначений для роботи з однофазним, трифазним трипровідним, трифазним чотирипровідним (всі модифікації) і трифазним п'ятипровідним (модифікації зварювання-UF2C і зварювання-Uf2M).

Використовується лічильник зі знімним трансформатором струму (струмовий затиск), який поставляється в комплекті. Це включає в себе КТ52, КР15, КР46 і т.д. в комплект входять струмові затискачі типу. (Тут цифри вказують максимальний діаметр провідників, до яких вони можуть бути підключені.) Поточний Затискач контролюється разом з лічильником.

Нормальні умови експлуатації приладу відповідно до ГОСТ 22261:

Температура навколишнього повітря	+20 °С, допустимі відхилення ± 5 °С
Відносна вологість повітря	від 30 до 80 %
Атмосферний тиск	від 84 до 106 кПа (від 630 до 795 мм рт. ст.)
Частота живлення мережі	50 Гц, допустимі відхилення $\pm 0,5$ Гц
Напруга живлення змінного струму	220 В, допустимі відхилення $\pm 4,4$ В
Коефіцієнт спотворення синусоїдальності напруги живлення	не більше 5 %

Умови експлуатації приладу для забезпечення стійкості до кліматичних впливів згідно з групою 4 за ГОСТ 22261-94:

Температура навколишнього повітря	від -20 до +55 °С
Відносна вологість повітря	90 % при температурі +30 °С
Атмосферний тиск	від 70 до 106,7 кПа (від 537 до 800 мм рт. ст.)

Живлення пристрою здійснюється від окремого входу Джерела живлення з середньоквадратичним значенням від 80 до 260 вольт і однофазним змінним напругою з частотами від 40 до 50 Гц.

Максимальний коефіцієнт спотворення синусоїдальної напруги живлення становить 20%.

Технічні характеристики

Пристрій модифікації Ресурс-UF2М має 1 трифазний вимірювальний вхід і 2 групи входів вимірювання напруги, які підключені за схемою "зірка" і мають один загальний вимірювальний вхід. грудні грудня. одна група входів для вимірювання напруги працює в діапазоні вимірювань з номінальним середньоквадратичним значенням напруги $(220 \leq 3) / 220$ В, в той час як друга група входів для вимірювання напруги працює в діапазоні вимірювань з номінальним середньоквадратичним значенням напруги $(100 / \leq 3) / 100$ в.

Пристрої Ресурс-UF2С, Ресурс-UF2М і Resurs-UF2МВ мають 4 фазних входу для вимірювання напруги і 1 Загальний вимірювальний вхід. Вхід для вимірювання напруги працює в грудні 2 вимірювань з номінальними середньоквадратичними значеннями напруги $(220 \leq 3) / 220$ В і $(100 / \leq 3) / 100$ в.

Вхід для вимірювання напруги гальванічно ізольований від інших частин пристрою.

Прилад модифікації «Ресурс-UF2» має три групи вимірювальних входів струму для кожного діапазону вимірювання. Пристрої з модифікаціями Resource-UF2С, Ресурс-UF2М і Ресурс-LT2МВ мають чотири групи входів для вимірювання струму для кожного діапазону. Кожна група струмових входів включає контакти для підключення генератора і навантаження.

Прилад здатний працювати при прямому підключенні вимірювальних входів струму на двох діапазонах вимірювання з номінальними середньоквадратичними значеннями сили струму 1 А і 5 А.

Пристрої з модифікаціями Ресурс-UF2М і Ресурс-UF2МВ працюють з використанням струмовимірювальних ножиць, підключених до діапазону вимірювання більше 1 грудня, при вимірюванні вхідних струмів. Номінальне середньоквадратичне значення первинного струму визначається щипцями для вимірювання струму.

Струмо вимірювальні кліщі вимірювання струму підключені до спеціально розробленого входу.

Входи для вимірювання струму гальванічно ізольовані один від одного і від інших частин пристрою.

Різні входи вимірювання струму, що належать до однієї фази, не можуть використовуватися одночасно.

Таблиця 3.1 - Основні технічні характеристики щипців для вимірювання струму

Тип кліщів	Діаметр вимірювального вікна, мм	Номінальний первиний струм, А	Максимальний первиний струм, А	Номінальний вторинний струм (навантаження)	Максимальний вторинний струм (навантаження)
КТ52-5-100-1000	52	5	10	0.05 А	0.01 А
		100	120	0.1 А	0.12 А
		1000	1200	1 А	1.2 А
КП15-5	15	5	10	0.05 В	0.1 В
КП15-50	15	50	60	0.05 В	0.1 В
КП46-50-500	46	5	100	0.05 В	0.1 В
		500	600	0.5 В	0.06 В 0.4 В
КТ64-3000	64	3000	3600	1 А	1.2 А
Примітка "Т" - струмовимірювальні кліщі зі струмовим виходом, "П" - струмовимірювальні кліщі з потенційним виходом.					

Пристрій модифікації Resource-UF2MB має 4 входи для вимірювання напруги до 10 В для вимірювання середньоквадратичних значень напруги (далі звані входами для вимірювання низької напруги).

Низьковольтні вимірювальні входи гальванічно ізольовані один від одного і від інших частин пристрою.

Вхідні опори пристрою модифікації «Ресурс-UF2»:

- Для вхідного сигналу вимірювання напруги з номінальним середньоквадратичним значенням напруги $220 \text{ В}/(220 \cdot \sqrt{3})$ - 400 кОм або нижче;
- Номінальне середньо квадратичне значення напруги $(100/\sqrt{3})/100$ В - при вимірюванні вхідної напруги не менше 100 кОм.

Вхідний опір приладу модифікацій «Ресурс-UF2С», «Ресурс-UF2М» і «Ресурс-UF2MB» для вимірювальних входів напруги становить не менше 400 кОм.

Вхідний опір для вимірювальних входів струму з номінальним середньоквадратичним значенням сили струму 5 А не перевищує 0,05 Ом.

Вхідний опір для вимірювальних входів струму з номінальним середньоквадратичним значенням сили струму 1 А не перевищує 0,25 Ом.

Вхідний опір приладу модифікації «Ресурс-UF2MB» для вимірювальних входів низьковольтної напруги становить не менше 30 кОм.

4.2 Вимірювані величини

У трифазних чотирипровідних мережах вимірюють:

а) ПКЕЕ (тут і надалі, якщо не вказано інше, під напругами мається на увазі фазні та міжфазні напруги, номер гармонічної складової напруги та струму змінюється від 2 до 40):

- встановилося відхилення напруги;
- коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю;
- коефіцієнт n-ого гармонічного складника напруги;
- відхилення частоти;
- тривалість відмови напруги;
- тривалість тимчасової перенапруги;
- глибина відмови напруги;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги;
- амплітуда зміни напруги;
- короткочасна доза мерехтіння;
- довготривала доза мерехтіння;

б) інші характеристики напруги:

- дійсне значення напруги;
- дійсне значення напруги основної частоти;
- дійсне значення напруги прямої послідовності для трифазної системи міжфазних напруг;
- дійсне значення напруги нульової послідовності для трифазної системи фазних напруг.
- дійсне значення напруги зворотної послідовності для трифазної системи міжфазних напруг;
- значення частоти;

в) характеристики струму:

- дійсне значення струму;
- дійсне значення струму основної частоти;

- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму;
- коефіцієнт n-ої гармонічної складової струму;
- дійсне значення струму нульової послідовності;
- дійсне значення струму прямої послідовності;
- дійсне значення струму зворотної послідовності;

г) фазові характеристики:

- фазовий кут між фазними напругами основної частоти;
- фазовий кут між n-ми гармонічними складовими фазних напруг;
- фазовий кут між струмом та напругою основної частоти

однакових фаз;

- фазовий кут між n-ми гармонічними складовими струму та напруги однакових фаз;
- фазовий кут між симетричними складовими струму та напруги трьохфазної системи (прямої, зворотної та нульової послідовності);

д) характеристики потужності у прямому та зворотньому напрямках по кожній фазі та по трьом фазам:

- активна потужність;
- реактивна потужність;
- повна потужність;

е) характеристики енергії у прямому та зворотньому напрямках по трьом фазам:

- активна енергія;
- реактивна енергія.

В трифазних трипровідних мережах вимірюються:

а) ПKE:

- установивше відхилення міжфазної напруги;
- коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої міжфазної напруги;
- коефіцієнт n-ої гармонічної складової міжфазної напруги;

- відхилення частоти;
- тривалість відмови міжфазної напруги;
- тривалість тимчасового перенапруги міжфазної напруги;
- глибина провалу міжфазної напруги;
- коефіцієнт часового перенапруги міжфазної напруги;
- амплітуда зміни напруги;
- короткотривала доза флікера;
- довгочасна доза флікера;

б) Інші характеристики напруги:

- дійсне значення міжфазної напруги;
- дійсне значення міжфазної напруги основної частоти (першої гармоніки);
- дійсне значення напруги прямої послідовності;
- дійсне значення напруги зворотної послідовності;
- значення частоти;

в) Характеристики струму:

- дійсне значення струму;
- дійсне значення струму основної частоти (першої гармоніки);
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму;
- коефіцієнт n-ої гармонічної складової струму;
- дійсне значення струму нульової послідовності;
- дійсне значення струму прямої послідовності;
- дійсне значення струму зворотної послідовності;

г) фазові характеристики:

- фазовий кут між симетричними складовими струму та напруги трьохфазної системи (прямої та зворотної послідовності);

д) характеристики потужності (прямого та зворотнього напрямків, загальна по трьох фазах):

- активна потужність;
- реактивна потужність;

- повна потужність;

е) характеристики енергії (у прямому та зворотньому напрямках, загальна по трьох фазах):

- активна енергія;
- реактивна енергія.

У однофазних мережах (вимірювальних ланцюгах) вимірюються:

а) ПКЕ:

- установивше відхилення фазної напруги;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої фазного

напруги;

- коефіцієнт n-ої гармонічної складової фазного напруги;
- відхилення частоти;
- тривалість відмови фазного напруги;
- тривалість тимчасового перенапруги фазного напруги;
- глибина відмови фазного напруги;
- коефіцієнт тимчасового перенапруги фазного напруги;
- амплітуда зміни напруги;
- короткотривала доза флікера;
- довготривала доза флікера;

б) Інші характеристики напруги:

- ефективне значення фазної напруги;
- ефективне значення фазної напруги при основній частоті;
- значення частоти;

в) Характеристики струму:

- ефективне значення сили струму;
- ефективне значення сили струму при основній частоті;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму;
- коефіцієнт n-ої гармонічної складової струму;

г) Фазові характеристики:

- фазовий кут між струмом і напругою при основній частоті;

- фазовий кут між n -ими, гармонічними складовими струму та напруги

д) Характеристики потужності (в прямому та зворотному напрямках):

- активна потужність;
- реактивна потужність;
- повна потужність;

е) Характеристики енергії (в прямому та зворотному напрямках):

- активна енергія;
- реактивна енергія.

Вимірювання згідно з пунктом 2 здійснюється в разі підключення фазної напруги та струму до відповідних вимірювальних входів одного (будь-якого) фазного каналу.

У трифазних п'ятипровідних мережах вимірюються ті характеристики, які перераховані в пункті 2, а також наступні характеристики:

- а) ефективне значення напруги нейтралі.
- б) ефективне значення напруги нейтралі при основній частоті;
- в) ефективне значення сили струму нейтралі;
- г) ефективне значення сили струму нейтралі при основній частоті;
- д) фазовий кут між напругою та струмом нейтралі при основній частоті;
- е) коефіцієнт спотворення синусоїдальності напруги нейтралі;
- ж) коефіцієнт спотворення синусоїдальності струму нейтралі;
- з) коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги нейтралі;
- и) коефіцієнт n -ої гармонічної складової струму нейтралі;
- к) фазовий кут між n -ою гармонічною складовою напруги та струму нейтралі.

4.3 Метрологічні характеристики

а) Номінальне значення фазної / міжфазної напруги становить:

$$(100 / \sqrt{3}) / 100 \text{ В};$$

$$220 / (220 \cdot \sqrt{3}) \text{ В}.$$

б) Номінальне значення вимірюваного струму визначають за допомогою підключенням вимірювальних входів струму (пряме або за допомогою струмовимірювальних кліщів) і воно дорівнює:

1 А (пряме);

5 А (пряме і за допомогою струмовимірювальних кліщів);

50 А (за допомогою струмовимірювальних кліщів);

100 А (за допомогою струмовимірювальних кліщів);

500 А (за допомогою струмовимірювальних кліщів);

1000 А (за допомогою струмовимірювальних кліщів);

3000 А (за допомогою струмовимірювальних кліщів).

Електропостачання вимірювача повинно здійснюватися змінним однофазним напругою від 85 до 265 В і частотою від 45 до 55 Гц.

Електропостачання може здійснюватися від однієї з фаз контрольованої мережі з аналогічними параметрами.

в) Потужність, що споживає вимірювач по ланцюгу живлення, становить не більше 20 ВА.

г) Час встановлення робочого режиму - не більше 5 хвилин.

д) Вимірювач забезпечує безперервну роботу без обмеження часу.

Склад та робота

- прилад має у своєму складі:
- блок вимірювання напруги (БВН);
- блок вимірювання струму (БВС);
- пристрій узгодження (ПУ);

- цифровий сигнальний процесор (ЦСП);
- блок живлення (БЖ);
- центральний процесор (ЦП);
- постійний запам'ятовуючий прилад(ПЗП);
- оперативний запам'ятовуючий прилад (ОЗП);
- таймер (Т);
- інтерфейсний модуль (ІМ);
- екран (Е);
- клавіатура (КЛ);
- модуль usb-інтерфейсу.

Блок вимірювання напруги складається з трьох (для модифікації Ресурс-UF2) або чотирьох (для модифікацій Ресурс-UF2С, Ресурс-UF2М, Ресурс-UF2МВ) ідентичних каналів, в кожному з яких є вхідний подільник напруги (ВПН1-ВПН4), буферний підсилювач (БП1-БП4), 16-бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП3-АЦП7) з послідовним синхронним інтерфейсом, джерело опорної напруги. Блок вимірювання напруги гальванічно ізольований від решти частин приладу за допомогою гальванічної роз'єднання (ПГР1).

Блок вимірювання струму складається з трьох або чотирьох однакових, гальванічно ізольованих один від одного та від решти приладу каналів (ПГР2-ПГР5). У кожному вимірювальному каналі струму є вимірювальні шунти (Ш1-Ш4), диференційний підсилювач (ДП1-ДП4), 16-бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП4-АЦП6, АЦП8) зі синхронним послідовним інтерфейсом, джерело опорної напруги.

Пристрій узгодження складається з зсувного регістра та лічильника. Він призначений для введення через послідовний інтерфейс до ЦСП послідовних кодів, що надходять від синхронно працюючих АЦП вимірювальних каналів напруги та струму.

Цифровий сигнальний процесор призначений для керування блоками вимірювання напруги та струму, а також для обробки вимірювальної інформації, що надходить в

ід АЦП каналів напруги та струму.

Цифровий сигнальний процесор (ЦСП) здійснює підгонку частоти дискретизації аналого-цифрового перетворення під частоту основної (першої) гармоніки вхідного сигналу таким чином, щоб протягом періоду основної частоти вхідних сигналів відбувалося 512 вимірювань миттєвих значень вхідних сигналів. На основі отриманих значень, через кожні пів періода основної частоти вхідних сигналів, ЦСП виконує спектральний аналіз завдяки швидкому перетворення Фур'є (ШПФ).

Результати ШПФ представляють собою комплексні значення спектральних коефіцієнтів, на основі яких розраховуються середньоквадратичні значення напруг і струмів основної частоти, а також коефіцієнти n-их гармонічних складових напруг і струмів. Крім цього, ЦСП, на основі миттєвих значень вхідних сигналів, обчислює середньоквадратичні значення напруг, струмів і активної потужності. Середні результати оброблення вимірювальної інформації доступні центральному процесору через інтерфейс прямого доступу до внутрішньої пам'яті ЦСП.

Блок живлення складається з вхідного фільтра живлення, перетворювача змінного напруги в постійне (AC-DC), перетворювачів постійного напруги в постійне (DC-DC) та лінійних стабілізаторів.

Вихідна напруга AC-DC становить 5 В. Лінійні стабілізатори виробляють напруги 3,3 В і 2,5 В, необхідні для роботи інтегральних мікросхем.

Перетворювачі DC-DC використовуються для живлення гальванічно ізольованих каналів струму та блока напруги. На вхід перетворювача DC-DC надходить напруга 5В з виходу перетворювача AC-DC. Вихідними напругами перетворювачів DC-DC є +5В і -5В.

Прилад має плавкі запобіжники в двох лініях живлення.

Центральний процесор керує двома рядками 16-символьного екрана та восьмикнопковою клавіатурою, здійснює інтерфейс користувача.

Для реалізації годин, ведення календаря та прив'язки результатів вимірювань до часу використовується енергонезалежний таймер реального часу.

Для контролю живильної напруги використовується супервізор, який генерує сигнал перезапуску ЦП при відхиленні напруги плюс 3,3 В за допустимі межі ($\pm 10\%$). Одночасно він забезпечує безперебійне живлення таймера та ОЗП, підключаючи їх до батарейки (літієвого елемента) при зменшенні напруги живлення плюс 3,3 В до менше ніж 3 В.

Інтерфейсний модуль призначений для формування електричних сигналів інтерфейсів RS-485 та RS-232.

Модуль USB-інтерфейсу призначений для керування підключеним зовнішнім накопичувачем даних типу флеш-диска, отримання команд і даних від ЦП, перетворення їх і запису на флеш-диск у вигляді файлів визначеного формату, а також контролю виконання операцій пристроєм зберігання.

В пристрої модифікацій «Ресурс-UF2» та «Ресурс-UF2С» у вимірювальному модулі, в відсіку зовнішніх підключень, розташовані гвинтові клемні з'єднання, призначені для підключення вимірювальних кабелів напруги та струму, а також кабелю електроживлення. Тут також розташовані мережеві запобіжники, гвинтові клемні з'єднання для підключення ліній інтерфейсу RS-485 та перемичка, що підключає термінальний резистор інтерфейсу RS-485. Доступ до клемних з'єднань можливий лише після демонтажу знімної кришки, яка пломбується користувачем після виконання необхідних підключень.

В обчислювальному модулі розташовані такі пристрої: цифровий сигнальний процесор, центральний процесор, оперативна та постійна запам'ятовувальна установка, таймер, супервізор, інтерфейсний модуль. Екран та клавіатура закріплені на передній панелі приладу. Усередині пластикового корпусу приладу є металевий бокс, призначений для забезпечення вимог електромагнітної сумісності.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра була розроблена система електропостачання електромеханічної установки.

Підприємство відноситься до категорії споживачів середньої потужності, його встановлена потужність становить 21 МВт. Він розташований в 1 км від джерела живлення.

Електропостачання підприємства здійснюється по дволанцюжковій лінії електропередачі 110 кВ. основна підстанція 2/кВ з двома трансформаторами ТДН-10000/110/10 110/10 кВ була обрана за схемою "2 блоки з перемичками, що перемикаються по лінії і неавтоматичними". Ремонтні перемички дозволяють перевірити будь-які перемикачі на краю лінії. Газовий пусковий вимикач серії GL-312 встановлений на стороні 110 кВ.

Розподільний пристрій 10 кВ складається з камери ВВ/ТЕЛ-10 КРУ2-10 з вакуумним вимикачем. Він виготовлений з власного мережевого кабелю аашv напругою 10 кВ. у цеху встановлена повна підстанція.

Мережа здійснюється за допомогою збірних шин і кабелів. Подача живлення від розподільного пункту електричного приймача здійснюється по проводах APV, прокладеним в трубах підлоги. Автоматичний вимикач забезпечує захист електричного приймача. Теплові реле використовуються для захисту від перевантаження двигуна. Контактори використовуються для запуску, зупинки та захисту від втрати потужності та падіння напруги.

Проблема компенсації реактивної потужності була вирішена під час проектування. Компенсація проводиться на місці споживання з боку 0,4 кВ з використанням конденсаторної батареї.

Розроблено систему релейного захисту кабельних ліній зі схемою автоматичного включення резерву (АВР) при напрузі 0,4 кВ і схемою обліку електричної енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Буцьо З. Ю., Мартинюк В. І. Аналіз втрат електричної енергії в електромережах усіх рівнів напруги в енергосистемах провідних зарубіжних країн та України. Енергетика та електрофікація, № 2, 2020 р.
2. Зеркалов Д.В. Енергозбереження в Україні [Електронний ресурс] : У п'яти книгах. Книга друга: Організація використання енергоресурсів. Довідник / Д. В. Зеркалов. – Електрон. дані. – К. : Основа, 2009.
3. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017.
4. М.С. Сегеда «Електричні мережі та системи». Підручник - Львів. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007.
5. Зорін В.В., Штогрін Є.А., Буйний Р.О. Електричні мережі та системи: навчальний посібник для студентів вищ. техн. навч. закл.— Ніжин ТОВ “Видавництво”Аспект-поліграф”, 2011.
6. Чорний. О.П. Моделювання електромеханічних систем: підручник для ВНЗ/ О.П. Чорний, А.В. Луговий, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовий. —Кременчуг, 2001.
7. Онушко В.В., Шефер О.В. Електричні машини: навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, 2015.
8. Онушко, В.В. Моделювання електромеханічних систем: навчальний посібник / В.В. Онушко, Д.В. Стрижеус. – Полтава, ПолтНТУ, 2010. – 81с.
9. Онушко, В.В. Опорний конспект лекцій з дисципліни «Моделювання електротехнічних систем» / В.В. Онушко. – Полтава, ПолтНТУ, 2003. – 120с.
10. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016.
11. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посібник для вищ. навч. закл., за ред. Поповича М.Г., Лозинського О.Ю. – К.:Либідь, 2005.

ДОДАТОК

1. ANALYTICAL REVIEW

1.1 Characteristics of the Enterprise

The selected electromechanical plant is designed for the production of a range of AC and DC motors, generators, electric motors, and special-purpose equipment. Modern manufacturing would be impossible without the use of electric motors (various drives, machining centers, cranes, blowers, fans, etc.). The planned electromechanical plant is intended for the production of various AC and DC motors, generators, electric motors, and special-purpose equipment.

The plant includes an administrative and utility building, an auxiliary building, a tooling building, and a building for the production of special-purpose electric motors. All electricity consumers at the facility are classified into II and III categories according to the reliability of the power supply. The plant's power supply is provided through a balanced load schedule, indicating a stable operating mode with minimal daily load fluctuations. This enterprise consumes a medium amount of electricity with an approximate capacity of 21 MW. Generally, issues with the power supply cause a reduction in production output but do not pose a risk of equipment damage or threats to employee health. The goal of this project is to develop a reliable power supply for the enterprise.

1.2 Characteristics of the Workshops and Production Technology

Mechanical Workshop: Produces the main components of the machines. Main equipment includes general-purpose metalworking machines of various power and purposes. The workshop has a standard environment with a concrete floor, contaminated with metal scraps. Power interruptions do not disrupt the production process or lead to product downtime, thus categorized as II category consumers.

Plant Management: Houses the administrative and management staff. Main equipment includes air conditioners and computing equipment in accounting, clerical, etc. Grounded equipment is available. The environment is normal. Consumers are classified as II category.

Shaft Processing Area: Includes all necessary equipment for performing special processes on stator and rotor shafts. This includes plasma spraying, sandblasting equipment, grinding, balancing, and special control of these parts. The environment is dusty, with a concrete floor. Power interruptions lead to equipment and labor downtime. Consumers are classified as II category.

Assembly Workshop: Assembles the finished products. Main equipment includes crane beams, welding machines, and grounded equipment. The environment is normal, with a concrete floor. Consumers are classified as II category.

Winding Workshop: Produces windings from copper and aluminum winding materials. Main equipment includes winding machines, wedge-making machines, guillotine shears for cutting insulation materials, welding and soldering tools for connecting winding wires. The environment is normal, with a concrete floor. Consumers are classified as II category.

Repair Workshop: Conducts repair and preventive maintenance of primary and auxiliary equipment, with grounded equipment. The environment is dry, with a concrete floor. Consumers are classified as III category.

Press Workshop: Conducts preliminary processing of metal blanks. Main equipment includes floor equipment such as plasma cutting machines, presses, and

guillotines. The environment is normal, with a concrete floor. Consumers are classified as III category.

Tooling Workshop: Produces and repairs molds and cutting tools for metalworking machines. Main equipment includes general-purpose metalworking machines, grinding, and polishing machines. Power interruptions lead to equipment and labor downtime. Consumers are classified as II category.

Electrical Workshop: Employees perform repair work for electrical equipment installed at the plant, including motor rewinding and electromagnetic clutches. The environment is standard, with a concrete floor. Consumers are classified as II category.

Preparation Workshop: Conducts preliminary processing of metal blanks. Main equipment includes plasma cutting installations, presses, guillotines, milling machines, and drilling machines. The environment is normal, with a concrete floor. Consumers are classified as II category.

Storages: Intended for storing materials and corresponding components for production. Main equipment includes crane beams and bridge cranes, with grounded equipment. Consumers are classified as II category.

roduction buildings usually consist of three main zones: diagnostics, maintenance, and repair. The diagnostic zone determines the technical condition of the machine's systems and units. The maintenance zone consists of universal or specialized posts where control and adjustment work is carried out. The building environment is normal, with a concrete floor. Consumers are classified as II category.

1.3 Determination of Electrical Loads for Workshops and the Enterprise

Determination of Electrical Loads for the Tooling Workshop

Power Distribution System in Workshops:

- To ensure the necessary reliability of the power supply to the energy receiver depending on its category;
- It must be convenient and safe to use;
- It should have optimal technical and economic indicators;
- It should have a structural design that allows the use of industrial and high-speed installation methods.

Electric receivers are distributed by nodes and groups, considering their characteristics and location. The main electric receivers in the tooling workshop are three-phase machines, evenly distributed throughout the workshop.

The ability to calculate the load of a node using ordered diagrams appears when the nominal capacities of all electric receivers, their operating mode, and location on the general plan of the workshop are known.

Table 1.1 - Technical Characteristics of Electrical Consumers (EC) for Group No.1 (PS-1)

No.	Name of Electrical Consumers	Number of Consumers	Installed Power of EC, P _{nom} , kW	K _i	cosφ
1	Surface Grinding Machine	3	1,8	0,14	0,6
2	Vertical Drilling Machine	1	2,9		
3	Special Bench Grinder	1	1		
4	Slotting Machine	1	3,5		

The average active load of the node under the most loaded shift is calculated using the formula:

$$P_{cm} = P_{nom\Sigma} \cdot K_i \quad (1.1)$$

where:

$P_{BCT\Sigma}$ is the total nominal (installed) active power of the electric receivers (ER) included in the node;

$$P_{nom\Sigma} = 3 \cdot 1,8 + 2,9 + 1 + 3,5 = 12,8 \text{ kVa.}$$

$K_u = 0,14$ is the utilization factor of the active energy of the group of electric receivers.

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

The average reactive power of the node is calculated using the corresponding formula:

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot tg\varphi; \quad (1.2)$$

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

$\cos\varphi = 0,6$ is the power factor for the node.

$$Q_{cm} = 1,792 \cdot 1,33 = 2,383 \text{ kVAR.}$$

The average utilization factor for the node is:

$$K_u = \frac{P_{cm}}{P_{nom\Sigma}} = \frac{1,792}{12,8} = 0,14. \quad (1.3)$$

To determine the effective number of electric receivers n_3 , the value of m . needs to be established first:

$$m = \frac{P_{nom.max}}{P_{nom.min}} = \frac{3,5}{1} = 3,5; \quad (1.4)$$

where m is the ratio between the nominal power of the most powerful electric receiver in the node and the nominal power of the least powerful electric receiver in the same node.

According to the rules, if $m > 3$, a $K_u < 0,2$, then:

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

Introducing the concept of the relative effective number of electric receivers n_{3*} :

$$n_{e*} = f(n_{1*} \cdot P_{1*});$$

where n_{1*} is the number of electric receivers in the node, whose nominal power is at least half the nominal power of the most powerful electric receiver in this node;

n is the actual number of electric receivers;

P_{HOM1} is the total nominal power of these n_1 electric receivers;

P is the total nominal power of n electric receivers.

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

With the obtained values of n_{1*} and P_{1*} , $n_{3*} = 0,85$.

$$n_e = 0.85 \cdot 6 \cong 5.$$

With known values of n_3 and K_M , the maximum active power factor $K_M = 2,87$ is determined from the table.

Considering K_M , the calculated active load (half-hour maximum) is determined as:

$$P_{calc} = K_M \cdot P_{cm} = 2,87 \cdot 1,792 = 5,143kVa. \quad (1.6)$$

According to the rules, when $n_e < 10$, the calculated reactive power of the node is determined by the formula:

$$Q_{calc} = 1,1 \cdot P_{cm} \cdot tg\varphi_{avg} = 1,1 \cdot 1,792 \cdot 1,33 = 2,622kVAR. \quad (1.7)$$

where $tg\varphi_{avg} = \frac{Q_{cm}}{P_{cm}} = \frac{2,383}{1,792} = 1,33$ is the average weighted value.

The total calculated power of the node:

$$S_{calc} = \sqrt{(P_{calc})^2 + Q_{calc}^2} = \sqrt{5,143^2 + 2,622^2} = 5,773kVa. \quad (1.8)$$

The calculated current in the node is determined by the formula:

$$I_{calc} = \frac{P_{calc}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{5,143}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,6} = 12,372A. \quad (1.9)$$

The calculated load on the lighting network:

$P_{yD,o} = 0,016kVt/m^2$ is the specific load of the lighting network;

$K_{c,l} = 0,95$ is the coefficient of consumed lighting load;

$F = 4160m^2$ is the total area of the selected workshop.

$$P_o = 0,016 \cdot 0,95 \cdot 4160 = 63,232kW. \quad (1.10)$$

According to the formula, we determine the total calculated power of the tooling workshop:

$$S_{calc} = \sqrt{(P_{calc.c} + P_o)^2 + Q_{calc}^2} = \sqrt{(1383,77 + 63,232)^2 + 422^2} = 1447 kVa. \quad (1.11)$$

1.4 Calculation of Electrical Loads for Other Workshops and the Enterprise

The calculation of electrical loads for other workshops and the enterprise as a whole is carried out using the demand factor method with the aid of an electronic computing machine (ECM). The demand factor method is used to estimate the calculated maximum load of industrial enterprises at high voltages in the power supply circuit. This method requires knowledge of the installed capacities of the entire workshop, the demand factor, $\cos\varphi$, and the lighting demand factor.

Demand Factor Method Using a Computer:

Determine the calculated active power:

$$P_r = P_{inst} \cdot K_c; \quad (1.12)$$

where:

$P_{inst} = 1870 \text{ kW}$ is the installed (nominal) power of the model workshop;

$K_c = 0,45$ is the determined demand factor;

$$P_r = 1870 \cdot 0,45 = 841,5 \text{ kW}.$$

The calculated reactive power is determined by the formula:

$$Q_r = P_r \cdot \operatorname{tg}\varphi; \quad (1.13)$$

where: $\operatorname{tg}\varphi$ is the tangent of the angle φ , depending on the cosine of φ ;

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

$\cos\varphi = 0,85$ is the power factor of the selected node;

$$Q_r = 841,5 \cdot 0,62 = 521,51 \text{ kVAR}.$$

Determine the calculated active load of the lighting network:

$$P_o = P_{sp.1} \cdot K_{s.l} \cdot F; \quad (1.14)$$

where:

$P_{sp.1} = 0,016 \text{ kW/m}^2$ is the specific power (density) of lighting;

$K_{s.l} = 0,95$ is the lighting demand factor;

$F = 7330 \text{ m}^2$ is the area of the workshop;

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

Determine the total calculated power of the model workshop:

$$S_r = \sqrt{(P_r + P_o)^2 + Q_r^2} = \sqrt{(841,5 + 111,42)^2 + 521,51^2} = 990 \text{ kVa.} \quad (1.15)$$

The calculated loads of other workshops are calculated similarly. Determine the calculated active load of the lighting network for the open area:

$$P_{o.t} = K_{s.l} \cdot P_{sp.1} \cdot F_t; \quad (1.16)$$

where:

$P_{sp.1} = 0,00016 \text{ kVa/m}^2$ is the specific power (density) of lighting;

$K_{s.l} = 1,0$ is the lighting demand factor;

$F = 124455 \text{ m}^2$ is the area of the open territory of the plant;

$$P_{sp.1} = 1,0 \cdot 0,00016 \cdot 124455 = 19,91 \text{ kW.}$$

Building the Load Diagram:

Let's provide the calculation for the first workshop.

To build the load diagram, determine the radius of the circle:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_r}{\pi \cdot m}}; \quad (1.17)$$

where:

$m = 1,0 \text{ kW/mm}^2$ is the scale for determining the area of this circle;

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

Determine the load sector angle for lighting:

$$\alpha = \frac{P_o \cdot 360^\circ}{P_r} = \frac{111,42 \cdot 360^\circ}{952,92} = 42,09^\circ \quad (1.18)$$

Determination of Load on High Voltage (HV) and Low Voltage (LV)

Active power losses in workshop transformers are assumed to be 2% of the calculated total power. Active power losses in lines are 3% of the total calculated full power, and reactive power losses in workshop transformers are assumed to be 1% of the

calculated full power. Reactive power losses in the line are not considered due to significant power and the generation of reactive power for its compensation in the line.

$$\Delta P_{line} = 0,03 \cdot S_{calc.LV} = 0,03 \cdot 13765,66 = 412,97 \text{ kW}; \quad (1.19)$$

$$\Delta P_{TR} = 0,02 \cdot S_{calc.LV} = 0,02 \cdot 13765,66 = 275,31 \text{ kW}; \quad (1.20)$$

$$\Delta Q_{TR} = 0,1 \cdot S_{calc.LV} = 0,1 \cdot 13765,66 = 1376,57 \text{ kVAR}. \quad (1.21)$$

The calculated active load of the low-voltage buses at the main step-down substation (distribution substation) of the enterprise (LV MTS DS):

$$P_{calc.LV.MTS} = P_{RE} + \Delta P_{TR} + \Delta P_{line} = 12348,13 + 275,31 + 412,97 = 13036,42 \text{ kW}. \quad (1.22)$$

The calculated reactive load on the LV buses of the MTS (DS) of the enterprise:

$$Q_{calc.LV.MTS} = Q_{RE} + \Delta Q_{TR} = 6186,58 + 1376,57 = 7563,14 \text{ kVAR}. \quad (1.23)$$

The total calculated load on the low-voltage buses of the main step-down substation (MTS DS) of the enterprise:

$$S_{calc.LV.MTS} = \sqrt{P_{calc.LV.MTS}^2 + Q_{calc.LV.MTS}^2} = \sqrt{13036,42^2 + 7563,14^2} = 15071,47 \text{ kVA}. \quad (1.24)$$

The calculated active load on the high-voltage buses of the main step-down substation (MTS DS) of the enterprise:

$$P_{calc.HV.MTS} = P_{calc.LV.MTS} + 0,02 \cdot S_{calc.LV.MTS} = 13036,42 + 0,02 \cdot 15071,47 = 13337,85 \text{ kW}. \quad (1.25)$$

The calculated reactive load on the HV buses of the MTS (DS) of the enterprise:

$$Q_{calc.HV.MTS} = Q_{calc.LV.MTS} + 0,1 \cdot S_{calc.LV.MTS} = 7563,14 + 0,1 \cdot 15071,47 = 7713,86 \text{ kVAR}. \quad (1.26)$$

The total calculated load on the HV buses of the MTS (DS) of the enterprise:

$$S_{calc.HV.MTS} = \kappa_{rm} \sqrt{P_{calc.HV.MTS}^2 + Q_{calc.HV.MTS}^2} = 0,95 \sqrt{13337,85^2 + 7713,86^2} = 14637,45 \text{ kW}. \quad (1.27)$$

The reactive load provided by the power system:

$$Q_C = P_{calc.HV.MTS} \cdot tg_{nor} = 13337,85 \cdot 0,28 = 3734,60 \text{ кВар}. \quad (1.28)$$

Determination of External Power Supply Voltage

The selection of the supply voltage and distribution network is determined by parameters such as the power consumed by the enterprise, the distance from the power source to the enterprise (especially for SMEs), the number of electrical devices, and their individual power ratings. When receiving power from the source at two or more voltages, the voltage selection should be based on a techno-economic comparison of the options. In cases of equal costs or a slight advantage for the lower voltage network, the higher voltage network is chosen because it significantly reduces losses in the power transmission lines.

Approximate Voltage Determination Using Still's Formula

$$U = 4,34\sqrt{L + 16P}; \quad (1.29)$$

where:

$L = 1 \text{ km}$ is the distance from the enterprise to the power source,

$P = 13,33785 \text{ MW}$ is the calculated power transmitted over one line.

Given the line construction, the power transmitted over one line can vary depending on the number of lines provided by the design.

For a double-line configuration:

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

Considering Two Options for Enterprise Power Supply:

- Option I – 35 kV double-line overhead transmission line
- Option II – 110 kV double-line overhead transmission line

Based on the techno-economic comparison of the options, the external power supply voltage chosen is 110 kV.

Міністерство освіти і науки України
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

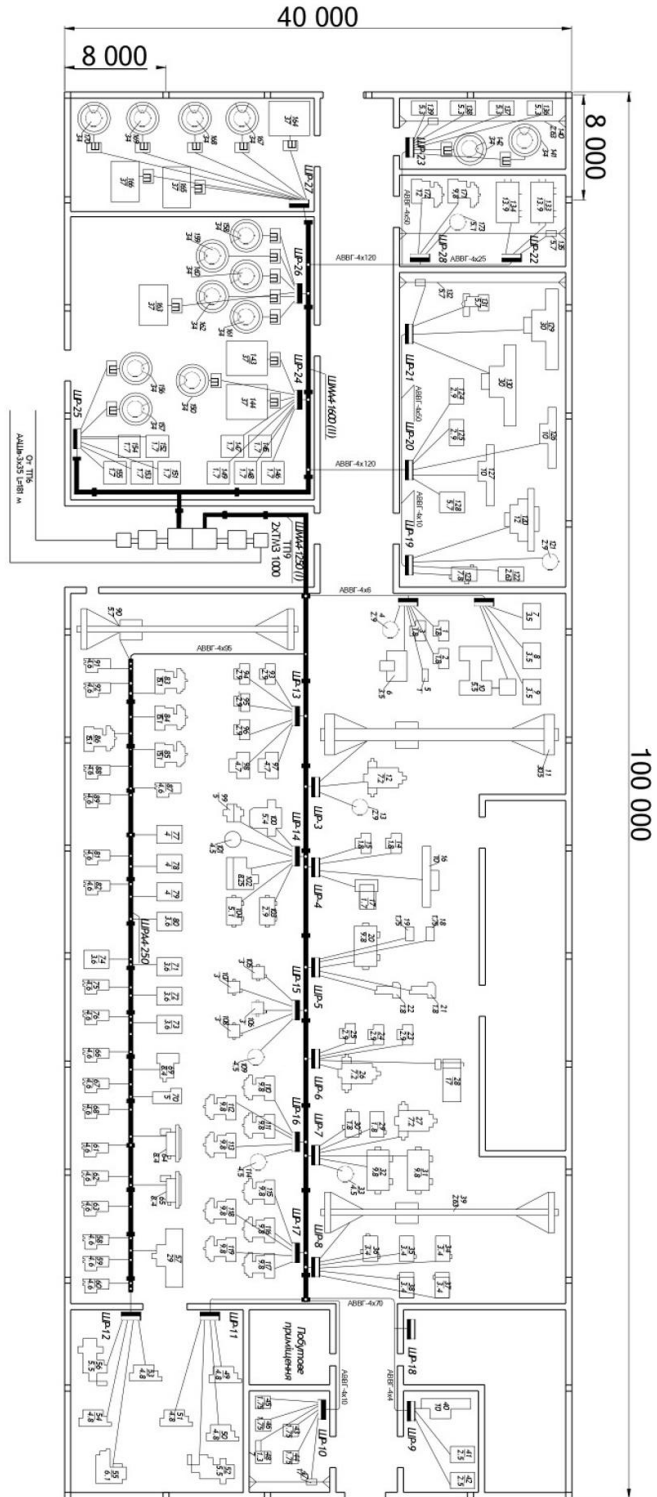
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра автотехіки, електроніки та телекомунікацій

Розроблення системи зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства

Виконав
Керівник

Шокодько М.О
Кожушко Г.М.

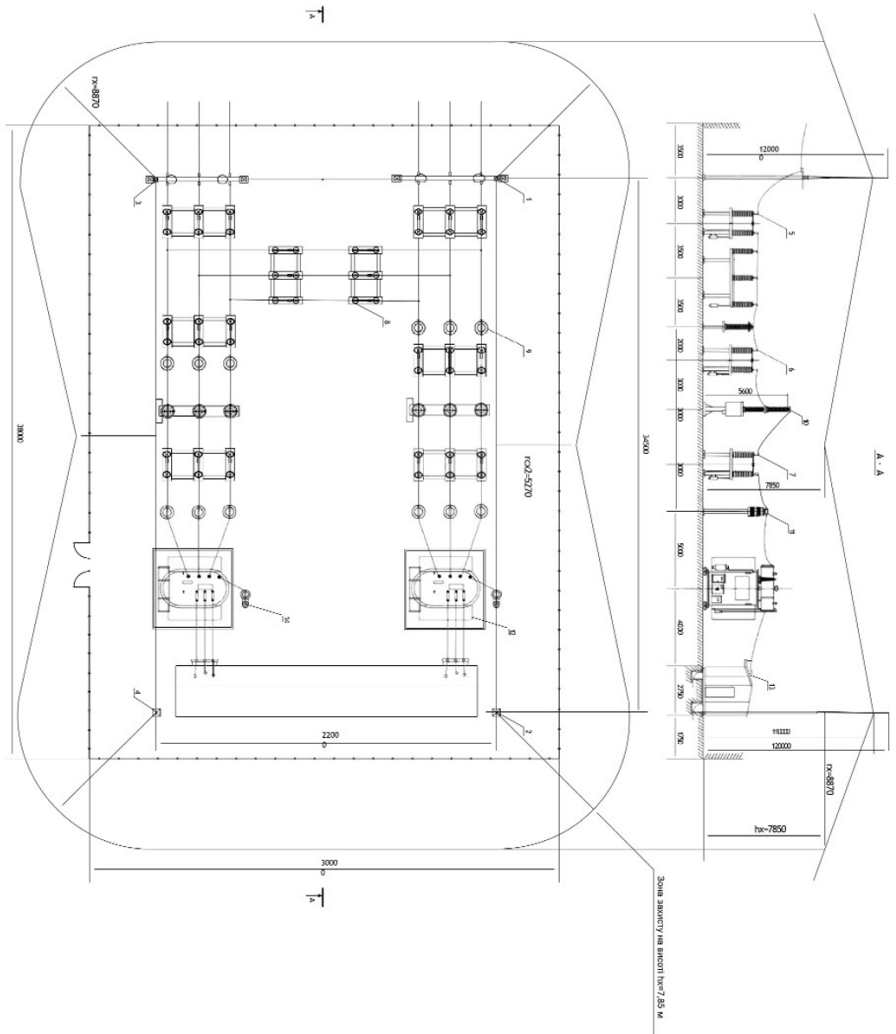


Знак	Матеріал	Категорія	Технічні дані	Елемент	Матеріал	Примітки	№ в таблиці
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	34
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	35
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	36
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	37
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	38
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	39
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	40
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	41
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	42
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	43
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	44
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	45
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	46
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	47
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	48
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	49
NS00	4ПТ/0,25 С-3,0/М ¹ К ¹ 19А	Кабель	ПТ11303	Універсальні розподільні	К ¹ -1130А	К ¹ -08,4А	50

Умовні позначення:

	Кабель 0,4кВ к ПР
	Кабель 0,4кВ к ЕП
	Шини розподілу 0,4кВ
	Навантаження ЕП 0,4кВ, кВт
	Пункт ЕП
	Пункт ЕП, кВт

Електроживлення приладної секції



Захист СРС від прямих влучень блискавки

Найменування обладнання
1-4 Електролінійні
5 Апарати роз'єднання ПВД-2 110/100кВ
6-7 Роз'єднати ПВД-2 110/100кВ
8 Блок роз'єднання ПВД-2 110/100кВ У
9 Об'єкти призначення ОПН-110
10 Електролінійні СЗП
11 Опери
12 Силові трансформатори ТДН-6300/110/10
13 Конденсатори допоміжної пристрої захисної
14 Замковані ОПН 110, ОПН 110

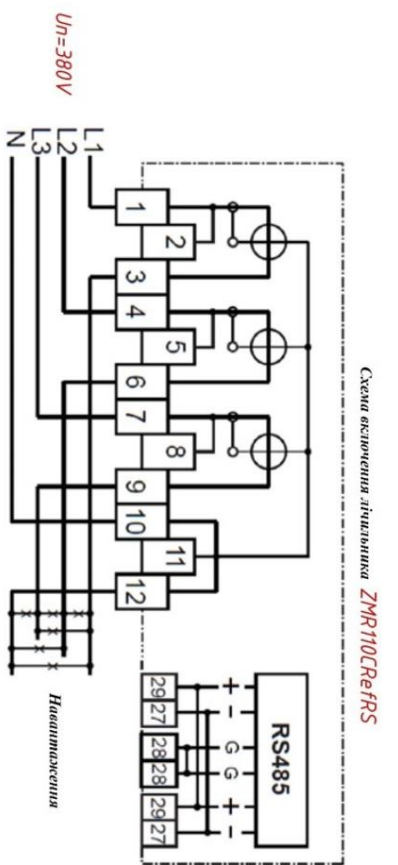
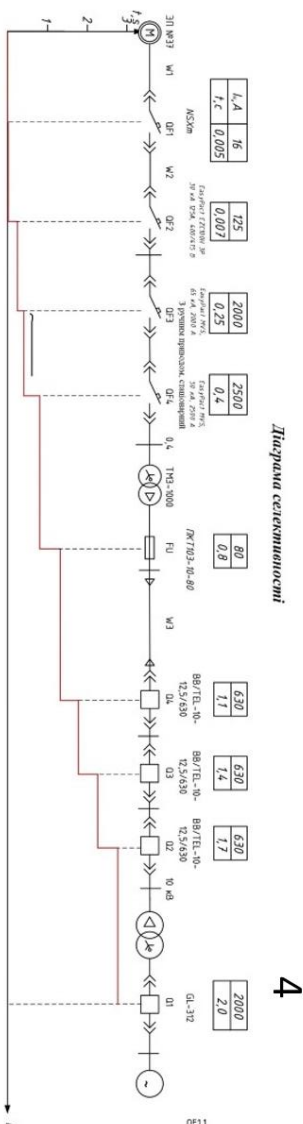
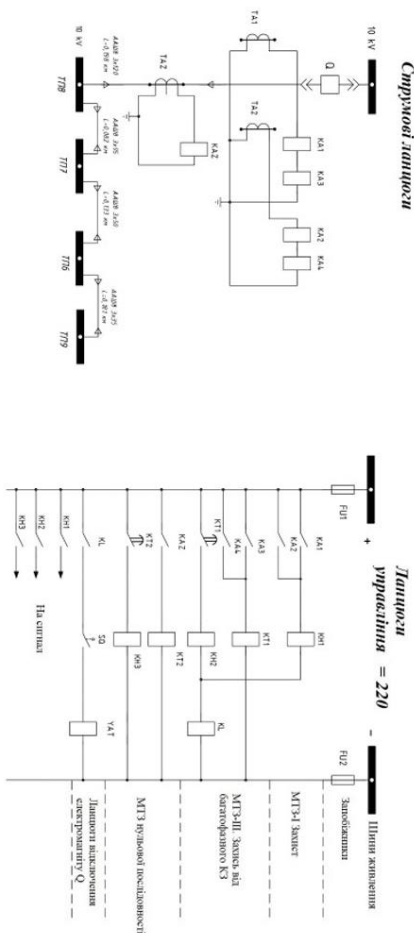
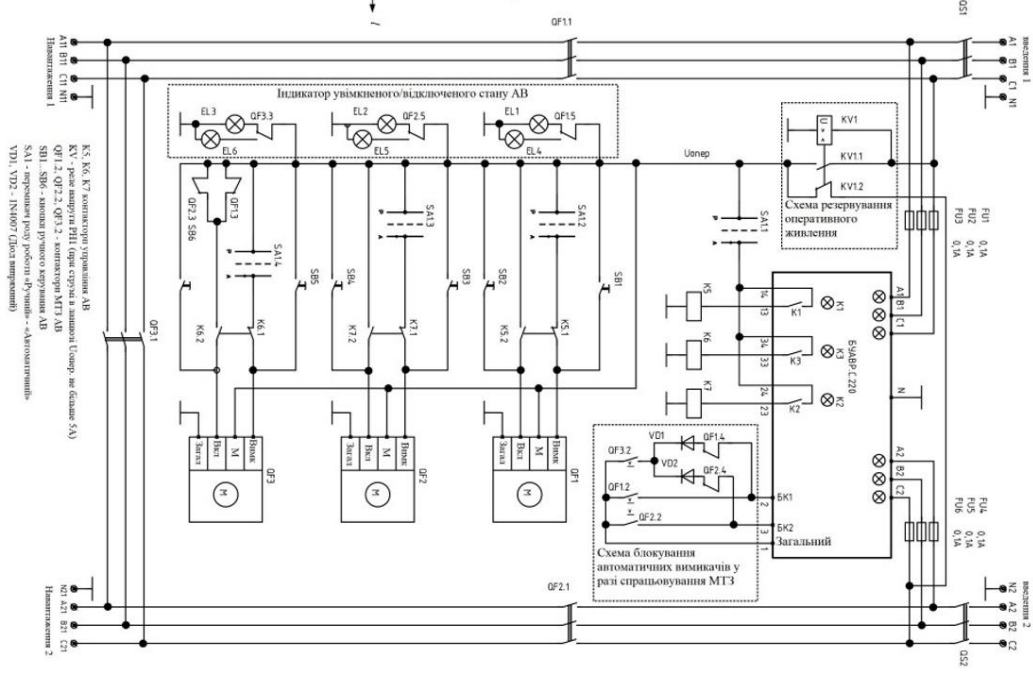


Схема АВР з керуванням від пристрою БУАВР.С.220



Підключення Однопровідної схеми

PH43-110/1000 Y1
QTH-110 XY/11
PH43-110/1000 Y1
GC-312
PH43-110/1000 Y1
VIS WI
TZH-10000/110
DLI (100x8) мм
BB/TE-10-12,5,630 Y1
HAMI-10-95
THH-10

TKT-10-80
BVA - 10/63 Y3

