

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
В.П. Квасніков
“ _____ ” _____ 2023 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

Тема: «Система електропостачання цеху точного лиття авіаційних деталей загальною споживаною потужністю 1300 кВт»

Виконавець: _____ студент групи Е-501-Бз Катченков Сергій Сергійович
(підпис)

Керівник: _____ дтн, професор Квасніков Володимир Павлович
(підпис)

Нормоконтролер: _____ ктн, Катаєва Марія Олександрівна
(підпис)

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра: комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Освітній ступень: «Бакалавр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕСТ

В.П. Квасніков

« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проекту

Катченков Сергій Сергійович

1. Тема проекту «Система електропостачання цеху точного лиття авіаційних деталей загальною споживаною потужністю 1300 кВт» затверджена наказом ректора від 01.12.2022р., № 2259/Ст.
2. Термін виконання проекту: з 17 січня 2023 року по 28 лютого 2023 року.
3. Вихідні дані до проекту: проектування є система електропостачання цеху лиття авіаційних деталей, машини для лиття алюмінію-
4. Зміст пояснювальної записки: визначення координат центру електричних навантажень для розміщення ЦТП; визначення силових навантажень електроприймачів на нижчих та вищих рівнях системи електропостачання; розрахунок кількості та потужності трансформаторів цехової підстанції з урахуванням компенсації реактивної потужності; перевірка автоматичних вимикачів на правильність спрацювання.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: схеми, фото обладнання, графіки.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Аналіз літературних джерел	17.01-25.01.23	
2	Система електропостачання	26.01-01.02.23	
3	Центр електричних навантажень	02.02-08.02.23	
4	Заводська трансформаторна підстанція	09.02-14.02.23	
5	Розподільчий пункт	15.02-21.02.23	
6	Кабельні лінії, автоматика захисту	22.02-28.02.23	

7. Дата видачі завдання: “ 10 січня ” 2023 р.

Керівник дипломної роботи (проекту) _____ Квасніков В.П

Завдання прийняв до виконання _____ Катченков С.С

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту
«Система електропостачання цеху точного лиття авіаційних деталей загальною
споживаною потужністю 1300 кВт»:

60 сторінок, 3 рисунки, 16 таблиць, 10 посилань.

Об'єктом проектування є система електропостачання цеху точного лиття авіаційних деталей.

Метою даного дипломного проекту є оволодіння основами проектування, закріплення теоретичних знань і відпрацювання практичних навичок розрахунку характеристик трансформаторів та електричних машин (ЕМ) змінного струму в системах електропостачання промислових підприємств.

Проектування здійснювалось на основі електротехнічних розрахунків: визначення координат центру електричних навантажень для розміщення ЦТП; визначення силових навантажень електроприймачів на нижчих та вищих рівнях системи електропостачання; розрахунок кількості та потужності трансформаторів цехової підстанції з урахуванням компенсації реактивної потужності; перевірка автоматичних вимикачів на правильність спрацювання.

У результаті дипломного проектування було спроектовано систему електропостачання цеху точного лиття.

На основі розробленого проекту можна перейти до практичної частини та впровадити дану систему електропостачання цеху точного лиття.

ЗМІСТ

Стор.

Перелік умовних скорочень.....	7
ВСТУП.....	8
1. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ ТОЧНОГО ЛИТТЯ	9
1.1 Характеристика електрообладнання цеху. Вибір напруги живлення заводської мережі та місце розташування трансформаторної підстанції.....	9
1.2 Розрахунок силового навантаження на першому рівні електропостачання	12
1.3 Вибір схеми цехової мережі та варіанта конструктивного виконання.....	15
1.4 Розрахунок силового навантаження на другому рівні електропостачання.....	16
1.5 Розрахунок силового навантаження на третьому рівні електропостачання.....	21
1.6 Розрахунок навантажень освітлювальних мереж цеху.....	22
1.7 Розрахунок сумарних навантажень цеху.....	24
2. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	25
2.1 Вибір кількості та обґрунтування номінальної потужності трансформаторів цехової підстанції.....	25
2.2 Розрахунок потужності компенсуювальних пристроїв реактивних навантажень.....	28
2.3 Розрахунок і вибір магістральних і розподільчих мереж напругою до 1000В	29
2.4 Розрахунок струмів перевантажень та короткого замикання в мережі напругою до 1000В.....	37

2.5 Вибір електричної комутаційної апаратури в мережі напругою до 1000В.....	44
2.5.1 Вибір основного обладнання розподільних пристроїв низької напруги трансформаторної підстанції.....	44
2.5.2 Вибір розподільних силових шаф заводської мережі.....	45
2.5.3 Підбір та перевірка автоматичних вимикачів.....	48
2.6 Розрахунок захисного заземлення заводської трансформаторної підстанції.....	56
2.7 Висновки	59

УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ

СЕП – система електропостачання

ДЖ –джерело живлення

ДРП – джерело реактивної потужності

ЕД – електричний двигун

ЕП – електроприймач

ПРЕ – пункт розподілу електроенергії

СРШ – силова розподільча шафа

ШНВ – шафа низької напруги вводу

ШНЛ – шафа низької напруги лінійна

ЕРС – електрорушійна сила

КРП – комплектний розподільчий пристрій

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

ВСТУП

Системою електропостачання називають складний виробничий комплекс, всі елементи якого працюють в єдиному виробничому процесі та призначені для виробництва, передачі і розподілу електричної енергії. До його складу входять: джерела електричної енергії, лінії електропостачання, трансформаторні та розподільчі підстанції, а також до нього належить вимірювальні і захисні обладнання.

При проектуванні системи електропостачання потрібно виконати ряд вимог: безпека персоналу, проста та зручна в експлуатації, економна та надійна, забезпечувати необхідний рівень напруги та якісну електроенергію. Враховують також категорію споживачів за надійністю електропостачання, для забезпечення електричної енергії на визначеному рівні. До цього потрібно дуже ретельно ставитися, тому що це пов'язано з безпекою людей, з технологічним процесом та випуском продукції.

Цех, для якого проектується система електропостачання, належить до III категорії надійності. Для цієї категорії електропередача виконується від одного джерела живлення, і перерва яка потрібна для ремонту і заміни пошкоджених елементів, не перевищує однієї доби.

Завданням даного проекту є забезпечити необхідні параметри надійності та безпеки системи електропостачання промислового підприємства з мінімальними витратами. Для того щоб не допускалися аварійні ситуації, виконується попередній розрахунок вибору електричних установок відповідно спожитої потужності. Для забезпечення високого рівня надійності і безпеки, суворо дотримуються норм і правил викладених у ПУЕ, при виборі обладнання і елементів захисту.

РОЗДІЛ 1.

РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ ТОЧНОГО ЛИТТЯ

1.1 Характеристика електрообладнання цеху. Вибір напруги живлення заводської мережі та місце розташування трансформаторної підстанції

Перелік ЕП які знаходяться в цеху занесені до таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Перелік електроприймачів цеху

№	Найменування ЕП	Кількість	P_n , кВт	$\cos \varphi$	k_z	k_v
1	Ливарна машина	8	22	0,85	0,9	0,9
2	Очисний барабан	3	17	0,95	0,9	0,6
3	Електротермічна піч	2	30	0,95	0,8	0,7
4	Плавальна електропіч	8	55	1	0,75	0,8
5	Електротермічна піч	4	24	1	0,8	0,9
6	Сушильна шафа	2	12	0,95	0,7	0,7
7	Електрогартувальна піч	4	19	1	0,8	0,85
8	Електротермічна піч	2	75	1	0,9	0,93
9	Електропіч індукційна	2	60	1	0,85	0,87
10	Галтувальний барабан	1	12	0,96	0,85	0,75
11	Кран-балка	3	10	0,88	0,8	0,7
12	Вентилятор	5	13	0,85	0,7	0,65
	Всього		1300			

Цех точного лиття авіаційних деталей спеціалізується на виробництві виливок з алюмінієвих сплавів методом лиття по моделях, що виплавляються, і чавунів методом литва в піщані форми. Відповідальні деталі із спеціальних сплавів виготовляються за технологією заливки у вакуумі. Всі електроприймачі які розташовані в цеху, розраховані на трифазний змінний струм і напругу 380 В промислової частоти, по надійності електропостачання відносяться до III категорії. Для облаштування цехової трансформаторної підстанції (ЦТП) потрібно визначити координати центру електричних навантажень (ЦЕН) цеху. Розрахунки центру електричних навантажень за активною потужністю розраховується за наступною формулою (1.1):

$$X_{ц} = \frac{\sum_i P_{ни} x_i}{\sum_i P_{ни}} ; \quad Y_{ц} = \frac{\sum_i P_{ни} y_i}{\sum_i P_{ни}}, \quad (1.1)$$

де $P_{ни}$ – номінальна активна потужність і-го ЕП; x_i , y_i – координати і-го ЕП.

Визначимо центр електричних навантажень цеху:

$$X_{ц} = \frac{26526}{1321} = 20,08; \quad Y_{ц} = \frac{19111}{1321} = 14,5$$

КТП слід розташовувати в центрі електричних навантажень цеху, але в нашому випадку це не можливо, тому що вона буде заважати технологічному процесу. Тому комплектну трансформаторну підстанцію розташовуємо біля зовнішньої стіни цеху, у напрямку зі сторони живлення. КТП повинна обслуговуватись, тому мусить мати загородження та вхідні двері. В таблиці 1.2 наведено розрахунки координат центру електричних навантажень.

Таблиця 1.2

Розрахунок координат центру електричних навантажень цеху

№	Найменування ЕП	$P_{н}$, кВт	X_i	Y_i
1	Ливарна машина	22	5,2	5,1
2	Ливарна машина	22	9,5	5,6
3	Ливарна машина	22	13,8	6,1
4	Ливарна машина	22	18	6,6
5	Ливарна машина	26	4,4	20,4
6	Ливарна машина	26	8,5	21,8
7	Ливарна машина	26	12,8	23,1
8	Ливарна машина	26	17	24,7
9	Очисний барабан	17	4,5	11,2
10	Очисний барабан	17	9	11,2
11	Очисний барабан	17	13,3	11,2
12	Електротермічна піч	30	38	20,6
13	Електротермічна піч	30	40,7	20,6
14	Плавальна електропіч	55	3	3,5
15	Плавальна електропіч	55	7,5	4,1
16	Плавальна електропіч	55	12	4,7

Розрахунок координат центру електричних навантажень цеху

№	Найменування ЕП	P_n , кВт	X_i	Y_i
17	Плавальна електропіч	55	16,3	5,2
18	Плавальна електропіч	55	2,8	18,7
19	Плавальна електропіч	55	6,8	20
20	Плавальна електропіч	55	11	21,4
21	Плавальна електропіч	55	15,3	22,8
22	Електротермічна піч	24	25,5	24,2
23	Електротермічна піч	24	28,4	24,2
24	Електротермічна піч	24	31,3	24,2
25	Електротермічна піч	24	34,2	24,2
26	Сушильна шафа	12	38	25
27	Сушильна шафа	12	40,7	25
28	Електрогартувальна піч	19	39,4	11,3
29	Електрогартувальна піч	19	39,4	8,3
30	Електрогартувальна піч	19	39,4	5,3
31	Електрогартувальна піч	19	39,4	2,3
32	Електротермічна піч	70	33	10,3
33	Електротермічна піч	70	27,1	10,3
34	Електропіч індукційна	55	33	19,7
35	Електропіч індукційна	55	27,1	19,7
36	Галтувальний барабан	17	18,2	11,2
37	Кран-балка	10	21,3	22
38	Кран-балка	10	21,3	7,9
39	Кран-балка	10	29,9	26,9
40	Вентилятор	13	27	3,1
41	Вентилятор	13	36,6	-1,25
42	Вентилятор	13	8,2	-1,25
43	Вентилятор	13	36,6	31,25
44	Вентилятор	13	8,2	31,25
Кординати ЦЕН		1300	20,08	14,5

1.2 Розрахунок силового навантаження на першому рівні електропостачання

За формулою (1.2) можна визначити активну p_p , реактивну q_p та повну s_p потужності одного електроспоживача, який створює навантаження на лінії першого рівня електропостачання.

$$p_p = k_z \cdot p_n; \quad q_p = p_p \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad s_p = \sqrt{p_p^2 + q_p^2}, \quad (1.2)$$

де значення $\operatorname{tg} \varphi$ вираховується за величиною коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ визначається за формулою (1.3):

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} [\arccos(\cos \varphi)]. \quad (1.3)$$

Отже, для ливарної машини №1 :

$$\begin{aligned} p_p &= 0,9 \cdot 22 = 19,8 \text{ кВт}; \\ \operatorname{tg} \varphi &= \operatorname{tg} [\arccos(0,82)] = 0,69; \\ q_p &= 19,8 \cdot 0,69 = 13,66 \text{ кВАр}; \\ s_p &= \sqrt{19,8^2 + 13,66^2} = 24,06 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

За формулою (1.4) визначається розрахунковий струм приєднання:

$$I_p = \frac{s_p}{\sqrt{3} U_n}, \quad (1.4)$$

де U_n – номінальна напруга, зокрема для даного цеху $U_n=0,38$ кВ.

Розрахунковий струм приєднання для ливарної машини №1 становить:

$$I_p = \frac{24,06}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 36,55 \text{ А}$$

По аналогії виконуємо обрахунки для кожного електроприймача, результати заносимо до таблиці 1.3. В кінці таблиці розраховується сума всіх номінальних потужностей ЕП цеху та приблизне значення сумарного розрахункового струму $I_{p\Sigma} = \Sigma I_p$ ЕП цеху.

Таблиця 1.3

Розрахункове силове навантаження на першому рівні електропостачання

№	Найменування ЕП	P_n , кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	I_p , А
1	Ливарна машина	22	0,82	0,69	19,8	13,66	24,06	36,55
2	Ливарна машина	22	0,82	0,69	19,8	13,66	24,06	36,55
3	Ливарна машина	22	0,82	0,69	19,8	13,66	24,06	36,55
4	Ливарна машина	22	0,82	0,69	19,8	13,66	24,06	36,55
5	Ливарна машина	26	0,85	0,62	23,4	14,51	27,53	41,83
6	Ливарна машина	26	0,85	0,62	23,4	14,51	27,53	41,83
7	Ливарна машина	26	0,85	0,62	23,4	14,51	27,53	41,83
8	Ливарна машина	26	0,85	0,62	23,4	14,51	27,53	41,83
9	Очисний барабан	17	0,95	0,33	15,3	5,05	16,11	24,48
10	Очисний барабан	17	0,95	0,33	15,3	5,05	16,11	24,48
11	Очисний барабан	17	0,95	0,33	15,3	5,05	16,11	24,48
12	Електротермічна піч	30	0,95	0,33	24	7,92	25,27	38,40
13	Електротермічна піч	30	0,95	0,33	24	7,92	25,27	38,40
14	Плавальна електропіч	55	1	0	41,25	0,00	41,25	62,67
15	Плавальна електропіч	55	1	0	41,25	0,00	41,25	62,67
16	Плавальна електропіч	55	1	0	41,25	0,00	41,25	62,67
17	Плавальна електропіч	55	1	0	41,25	0,00	41,25	62,67
18	Плавальна електропіч	55	1	0	41,25	0,00	41,25	62,67
19	Плавальна електропіч	55	1	0	41,25	0,00	41,25	62,67
20	Плавальна електропіч	55	1	0	41,25	0,00	41,25	62,67

Розрахункове силове навантаження на першому рівні електропостачання

№	Найменування ЕП	P_n , кВт	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	I_p , А
21	Плавальна електропіч	55	1	0	41,25	0,00	41,25	62,67
22	Електротермічна піч	24	1	0	19,2	0,00	19,20	29,17
23	Електротермічна піч	24	1	0	19,2	0,00	19,20	29,17
24	Електротермічна піч	24	1	0	19,2	0,00	19,20	29,17
25	Електротермічна піч	24	1	0	19,2	0,00	19,20	29,17
26	Сушильна шафа	12	0,95	0,33	8,4	2,77	8,85	13,44
27	Сушильна шафа	12	0,95	0,33	8,4	2,77	8,85	13,44
28	Електрогартувальна піч	19	1	0	15,2	0,00	15,20	23,09
29	Електрогартувальна піч	19	1	0	15,2	0,00	15,20	23,09
30	Електрогартувальна піч	19	1	0	15,2	0,00	15,20	23,09
31	Електрогартувальна піч	19	1	0	15,2	0,00	15,20	23,09
32	Електротермічна піч	70	1	0	67,5	0,00	67,50	102,56
33	Електротермічна піч	70	1	0	67,5	0,00	67,50	102,56
34	Електропіч індукційна	55	1	0	51	0,00	51,00	77,49
35	Електропіч індукційна	55	1	0	51	0,00	51,00	77,49
36	Галтувальний барабан	17	0,96	0,29	14,45	4,19	15,05	22,86
37	Кран-балка	10	0,88	0,52	8	4,16	9,02	13,70
38	Кран-балка	10	0,88	0,52	8	4,16	9,02	13,70
39	Кран-балка	10	0,88	0,52	8	4,16	9,02	13,70
40	Вентилятор	13	0,85	0,62	9,1	5,64	10,71	16,27
41	Вентилятор	13	0,85	0,62	9,1	5,64	10,71	16,27
42	Вентилятор	13	0,85	0,62	9,1	5,64	10,71	16,27
43	Вентилятор	13	0,85	0,62	9,1	5,64	10,71	16,27
44	Вентилятор	13	0,85	0,62	9,1	5,642	10,71	16,27
Всього:		1300						1706,5

1.3 Вибір схеми цехової мережі та варіанта конструктивного виконання

Цехова силова електрична мережа поділяється на живлячі та розподільчі лінії. Мережу заданого цеху пропонуємо виконати за радіальною схемою, тому що ця схема має простоту в експлуатації, високу надійність та зручність автоматизації. На стороні низької напруги комплектної трансформаторної підстанції розташовані чотири лінійних шафи (ШНЛ), з лінійними вимикачами, від яких відходить лінія яка живить розподільчу мережу. Розподільча мережа постачає електроенергію по окремим ЕП. В даному випадку для розподілення електроенергії встановлюємо чотири силових розподільчих шаф (СРШ).

1.4 Розрахунок силового навантаження на другому рівні електропостачання

Загальна потужність P_H однотипних ЕП визначається за формулою (1.5):

$$P_H = n \cdot p_H \quad (1.5)$$

де n – кількість ЕП, p_H – потужність одного ЕП.

Для кожного пункту розподілу електроенергії (ПРЕ) визначають груповий коефіцієнт використання K_B (1.6):

$$K_B = \frac{\sum_i k_{Bi} P_{Hi}}{\sum_i P_{Hi}} \quad (1.6)$$

де k_B – коефіцієнт використання.

Ефективне число ЕП n_e обчислюють так (1.7):

$$n_e = \frac{(\sum_i P_{Hi})^2}{\sum_i n_i p_{Hi}^2} \quad (1.7)$$

Коефіцієнт розрахункового навантаження K_p , визначається за таблицею [2, с.21-22,табл.1] за допомогою значень ефективного числа ЕП n_e та групового коефіцієнта використання K_B .

Для визначення коефіцієнта розрахункового навантаження використовують залежність (1.8):

$$K_p = (K_{p2} - K_{p1}) \cdot \frac{K_B - K_{B1}}{K_{B2} - K_{B1}} + K_{p1} \quad (1.8)$$

За формулою (1.9) обчислюється розрахункова активна потужність P_p навантаження пункту розподілу електроенергії:

$$P_p = K_p \cdot \sum_i k_{Bi} P_{ni} \quad (1.9)$$

За формулою (1.10) визначається розрахункова реактивна потужність Q_p навантаження пункту розподілу електроенергії:

$$Q_p = \begin{cases} 1.1 \sum k_{Bi} P_{ni} \operatorname{tg} \varphi_i, & \text{якщо } n_e \leq 10 \\ \sum k_{Bi} P_{ni} \operatorname{tg} \varphi_i, & \text{якщо } n_e > 10 \end{cases} \quad (1.10)$$

За формулою (1.11) визначається повну розрахункова потужність S_p :

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.11)$$

Для визначення коефіцієнта потужності ПРЕ обчислюємо за наступною формулою (1.12):

$$\cos_{npe} = \frac{P_p}{S_p}; \quad \operatorname{tg}_{npe} = \frac{Q_p}{P_p} \quad (1.12)$$

Згідно залежності (1.13) можна вирахувати розрахунковий струм пункту розподілу електроенергії:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} \quad (1.13)$$

Проведемо даний розрахунок на ПРЕ 1.

Сумарна номінальна потужність:

$$P_n = n \cdot p_n = 4 \cdot 26 + 4 \cdot 55 + 1 \cdot 17 + 1 \cdot 17 + 1 \cdot 10 + 1 \cdot 13 = 381 \text{ кВт}$$

Груповий коефіцієнт використання K_B :

$$K_B = \frac{308}{381} = 0,81$$

Ефективне число ЕП n_e :

$$n_e = \frac{(381)^2}{4 \cdot 26^2 + 4 \cdot 55^2 + 1 \cdot 17^2 + 1 \cdot 17^2 + 1 \cdot 10^2 + 1 \cdot 13^2} = 9,3$$

n_e округлюється до 9. За отриманими даними K_e та n_e можна знайти K_p . Значення $K_e=0,81$ знаходиться між двома вузловими точками: $K_{e1}=0,8$ та $K_{e2}=0,9$. Цим вузловим значенням K_e при $n_e=9$ відповідають наступні значення K_p : $K_{p1}=1$ та $K_{p2}=1$. Тоді K_p буде дорівнювати:

$$K_p = (1-1) \cdot \frac{0,81-0,8}{0,9-0,8} + 1 = 1$$

Розрахункова активна потужність P_p навантаження ПРЕ 1:

$$P_p = 1 \cdot 308 = 308 \text{ кВт}$$

Розрахункова реактивна потужність Q_p навантаження ПРЕ 1 при $n_e=9 < 10$:

$$Q_p = 1,1 \cdot 73,97 = 81,37 \text{ кВАр}$$

Повна розрахункова потужність S_p ПРЕ 1:

$$S_p = \sqrt{308^2 + 81,37^2} = 318,57 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт потужності ПРЕ 1:

$$\cos n_{pe} = \frac{308}{318,57} = 0,97;$$

$$\text{tg } n_{pe} = \frac{81,37}{308} = 0,26$$

Розрахунковий струм ПРЕ 1:

$$I_p = \frac{318,57}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 484,01 \text{ А}$$

Аналогічно проводимо розрахунок для інших ПРЕ і зводимо їх в таблицю 1.4 за формою Ф636-92.

Таблиця 1.4 - Розрахунок електричних навантажень (форма Ф636-92)

№	Найменування ЕП	Вихідні дані				Додаткові дані		Розрахункові велечини			Коефіцієнт розрахункової потужності K_p	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм I_p, A		
		По завданню технологів		Встановлена потужність, кВт.		Коефіцієнт використання K_e	Коефіцієнт поужності		Активна, кВт $K_e * P_{ном}$	Реактивна, кВАр $K_e * P_{ном} * tg\phi$		d_{*n}^2	Ефективне число ЕП n_e	Активна $P_p, кВт$		Реактивна $Q_p, кВАр$	Повна $S_p, кВА$
		Кількість ЕП, шт.	Одного ЕП $P_{ном}$	Загальна $P_{ном} = n * P_{ном}$	cosφ		tgφ										
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
	ПРЕ 1																
5...8	Ливарна машина	4	26	104	0,9	0,85	93,6	58,0	2704	—	—	—	—	—	—		
18...21	Плавальна електропіч	4	55	220	0,8	1	176	0,0	12100	—	—	—	—	—	—		
11	Очисний барабан	1	17	17	0,6	0,95	10,2	3,37	289	—	—	—	—	—	—		
36	Галтувальний барабан	1	17	17	0,75	0,96	12,75	3,70	289	—	—	—	—	—	—		
37	Кран-балка	1	10	10	0,7	0,88	7	3,64	100	—	—	—	—	—	—		
44	Вентилятор	1	13	13	0,65	0,85	8,45	5,24	169	—	—	—	—	—	—		
	Всього по ПРЕ 1	12	—	381	0,81	0,97	308	73,97	15651	9,3	1	308	81,4	318,5	484		
	ПРЕ 2																
1...4	Ливарна машина	4	22	88	0,9	0,82	79,2	54,65	1936	—	—	—	—	—	—		
9, 10	Очисний барабан	2	17	34	0,6	0,95	20,4	6,73	578	—	—	—	—	—	—		
14...17	Плавальна електропіч	4	55	220	0,8	1	176	0,0	12100	—	—	—	—	—	—		
38	Кран-балка	1	10	10	0,7	0,88	7	3,64	100	—	—	—	—	—	—		
42	Вентилятор	1	13	13	0,65	0,85	8,45	5,24	169	—	—	—	—	—	—		
	Всього по ПРЕ 2	12	—	365	0,78	0,96	291,5	70,26	14883	9,0	1	291,1	77,3	301,1	457,5		

Продовження табл. 1.4 - Розрахунок електричних навантажень (форма Ф636-92)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ПРЕ 3														
22..25	Електроtermічна піч	4	24	96	0,9	1	0	86,4	0	2304	—	—	—	—
32, 33	Електроtermічна піч	2	75	150	0,93	1	0	139,5	0	11250	—	—	—	—
34, 35	Електропіч індукційна	2	60	120	0,87	1	0	104,4	0	7200	—	—	—	—
39	Кран-балка	1	10	10	0,7	0,88	0,52	7	3,64	100	—	—	—	—
40	Вентилятор	1	13	13	0,65	0,85	0,62	8,45	5,239	169	—	—	—	—
Всього по ПРЕ 3		10	—	389	0,53	0,99	0,03	345,8	8,88	21023	7,2	1	345,8	9,77
ПРЕ 4														
12, 13	Електроtermічна піч	2	30	60	0,7	0,95	0,33	42	13,86	1800	—	—	—	—
26, 27	Сушильна шафа	2	12	24	0,7	0,95	0,33	16,8	5,544	288	—	—	—	—
28..31	Електрогартувальна піч	4	19	76	0,85	1	0	64,6	0	1444	—	—	—	—
41, 43	Вентилятор	2	13	26	0,65	0,85	0,62	16,9	10,48	338	—	—	—	—
Всього по ПРЕ 4		10	—	186	0,75	0,97	0,23	140,3	29,88	3870	8,94	1	140,3	32,9
Третій рівень		44	—	1321	0,82	0,99	0,17	1085	182,9	55427	35,2	0,85	922,3	155,6
Робоче освітлення		—	—	23,76	—	0,5	1,73	—	—	—	—	—	22,57	7,22
Аварійне освітлення		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,26	0,72
Освітлення території		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,26	0,72
Разом по цеху		—	—	—	—	—	—	—	—	—	949,4	164,2	963,5	1463,9

1.5 Розрахунок силового навантаження на третьому рівні електропостачання

Через те, що на третьому рівні електропостачання велика кількість електроприймачів, ефективне число ЕП вираховується за такою формулою (1.14):

$$n_e = \frac{2 \sum P_{ni}}{P_{n \max}} \quad (1.14)$$

Внаслідок обрахунку визначили найбільшу номінальну активну потужність електроприймача цеху, яка становить $P_{n \max} = 75$ кВт, тоді ефективне число ЕП буде дорівнювати:

$$n_e = \frac{2 \cdot 1321}{75} = 32,5$$

Для визначення коефіцієнта розрахункового навантаження на шинах низької напруги ЦТП, використаємо таблицю [2, с.22, табл.2]. За таблицею знаходимо: $K_p = 0,85$.

Щоб знайти розрахункову активну потужність P_p на третьому рівні електропостачання, потрібно обрахувати за формулою (1.9).

$$\text{Отже, } P_p = 0,85 \cdot 1085 = 922,34 \text{ кВт}$$

Для обрахунку розрахункової реактивної потужності Q_p навантаження на третьому рівні використовують дану формулу (1.15):

$$Q_p = K_p \cdot \sum_i k_{Bi} P_{ni} \operatorname{tg} \alpha_i \quad (1.15)$$

Отже,

$$Q_p = 0,85 \cdot 182,9 = 155,6 \text{ кВАр}$$

Повну розрахункову потужність обраховується згідно формули (1.11):

$$S_p = \sqrt{922,3^2 + 155,6^2} = 935,4 \text{ кВА}$$

Розрахунковий струм I_p споживачів третього рівня знаходимо за формулою (1.13):

$$I_p = \frac{935,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1421 \text{ А}$$

1.6 Розрахунок навантажень освітлювальних мереж цеху

Навантаження робочого освітлення цеху можна визначити за формулою (1.16):

$$P_{вст.о} = k_{пра} \cdot p_{н.о} \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (1.16)$$

$k_{пра}$ – коефіцієнт, що враховує потужність пускових приладів залежно від джерела світла. Для ламп типу ДРЛ $k_{пра}=1,1$; $p_{н.о}$ – питома встановлена потужність загального освітлення цеху; F - площа цеху.

Визначимо з початку площу, довжина цеху становить 48 метрів, а ширина – 30 метрів. Для освітлення цеху беремо лампи типу ДРЛ, питома потужність якого згідно табличних даних становить $p_{н.о}=15$ Вт/м².

Площа цеху:

$$F = 48 \cdot 30 = 1440 \text{ м}^2$$

Отже, номінальне навантаження робочого освітлення цеху:

$$P_{вст.о} = 1,1 \cdot 15 \cdot 1440 \cdot 10^{-3} = 23,76 \text{ кВт}$$

За формулою (1.17) можна визначити сумарну активну $P_{р.о}$, реактивну $Q_{р.о}$ та повну $S_{р.о}$ потужність робочого освітлювального навантаження:

$$P_{р.о} = K_{н.о} P_{вст.о} ; \quad Q_{р.о} = P_{р.о} \operatorname{tg} \varphi_o ; \quad S_{р.о} = \sqrt{P_{р.о}^2 + Q_{р.о}^2} . \quad (1.17)$$

Для невеликого приміщення приймаємо $K_{н.о}=0,95$.

Отже,

$$P_{р.о} = 0,95 \cdot 23,76 = 22,6 \text{ кВт}$$

Для ламп типу ДРЛ значення коефіцієнта потужності становитиме $\cos \varphi_o = 0,95$. Скориставшись формулою $\operatorname{tg} \varphi_o = \operatorname{tg}[\arccos(0,95)] = 0,32$.

Отже, реактивна потужність становитиме:

$$Q_{р.о} = 22,6 \cdot 0,32 = 7,22 \text{ кВАр}$$

Повна потужність робочого освітлення:

$$S_{p.o} = \sqrt{22,6^2 + 7,22^2} = 45,1 \text{кВА}$$

Для визначення розрахункового струму $I_{p.o}$ робочого освітлювального навантаження використаємо залежність (1.18):

$$I_{p.o} = \frac{S_{p.o.}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (1.18)$$

Отже:

$$I_{p.o} = \frac{45,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 62,2 \text{ А}$$

Розрахункова потужність аварійного освітлення становить 10% від робочого освітлення (1.19):

$$P_{p.a.o} = 0,1 \cdot P_{p.o}; \quad Q_{p.a.o} = 0,1 \cdot Q_{p.o}. \quad (1.19)$$

Отже,

$$P_{p.a.o} = 0,1 \cdot 22,6 = 2,26 \text{ кВт}$$

$$Q_{p.a.o} = 0,1 \cdot 7,22 = 0,72 \text{кВАр}$$

Розрахункова потужність освітлення території навколо цеху, становить 10% від робочого освітлення (1.20):

$$P_{p.m.o} = 0,1 \cdot P_{p.o}; \quad Q_{p.m.o} = 0,1 \cdot Q_{p.o} \quad (1.20)$$

Тоді обчислюємо:

$$P_{p.m.o} = 0,1 \cdot 22,6 = 2,26 \text{ кВт}$$

$$Q_{p.m.o} = 0,1 \cdot 7,22 = 0,72 \text{кВАр}$$

1.8 Розрахунок сумарних навантажень цеху

Щоб визначити сумарне розрахункове активне та реактивне навантаження цеху, потрібно додати всі розрахункові потужності силового та освітлювального навантаження (1.21):

$$P_{p\Sigma} = P_p + P_{p.o} + P_{p.a.o} + P_{p.m.o} \quad (1.21)$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_p + Q_{p.o} + Q_{p.a.o} + Q_{p.m.o} \quad (1.22)$$

де P_p , Q_p - сумарні розрахункові активне і реактивне силові навантаження цеху. Отже,

$$P_{p\Sigma} = 922,3 + 22,6 + 2,6 + 2,6 = 949,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\Sigma} = 155,6 + 7,22 + 0,72 + 0,72 = 164,2 \text{ кВАр}$$

Для обчислення сумарного певного навантаження цеху використовуємо формулу (1.23):

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{P_{p,\Sigma}^2 + Q_{p,\Sigma}^2} \quad (1.23)$$

Отже,

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{949,4^2 + 164,2^2} = 963,5 \text{ кВА}$$

Сумарний розрахунковий струм цеху:

$$I_{p\Sigma} = \frac{963,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1463,9 \text{ А}$$

РОЗДІЛ 2.

ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

2.1 Вибір кількості та обґрунтування номінальної потужності трансформаторів цехової підстанції

Для того щоб дізнатися яку кількість трансформаторів потрібно встановити у підстанції треба врахувати величину розрахункового навантаження цеху, а також для забезпечення надійної роботи електроприймачів дотримуватись до вимог ПУЕ .

За даною залежністю (2.1) можна визначити Питому густину навантаження:

$$S_{num} = \frac{S_{p\Sigma.}}{F} \quad (2.1)$$

де $S_{p\Sigma.}$ – сумарне навантаження цеху, F - площа цеху.

Якщо $S_{num} > 0,4$ кВА/м², тоді встановлюють двох трансформаторну підстанцію.

Питома густина навантаження:

$$S_{num} = \frac{963,5}{1140} = 0,67 \text{ кВА/м}^2$$

Отже, з обрахунку видно що встановлення двох трансформаторної підстанції буде доцільним. (N=2).

Для визначення певної розрахункова потужності цехових трансформаторів використовують формулу (2.2):

$$S_{н.т.р.} = \frac{P_{p\Sigma.}}{Nk_3} \quad (2.2)$$

де k_3 – коефіцієнт завантаження, для електроприймачів III категорії $k_3 = 0,9-0,95$.

Після розрахунку обирається номінальна стандартна потужність трансформатора S_n , яка близька до обрахованого значення $S_{н.т.р.}$ [1, с.239,табл.Л1].

$$S_{н.т.р.} = \frac{536}{2 \cdot 0,9} = 595,5$$

Отже, з таблиці Л.1 [1] було вибрано ТМЗ-630/10, його параметри наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Технічні дані трансформаторів

Тип трансформатора	Номінальна потужність S_n , кВА	Номінальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ,%	Струм ХХ,%
		ВН	НН	ХХ	КЗ		
ТМЗ-630/10	630	6,10	0,4 ; 0,69	1,31	4,6	5,5	1,8

У таблиці 2.2 за формою Ф202-90, представлені результати розрахунку навантажень для трансформаторної підстанції та вибір потужності трансформаторів.

Таблиця 2.2

Форма Ф202-90

Найменування цеху	$\cos \varphi / \text{tg } \varphi$	Розрахункове навантаження			Кількість та потужність трансформаторів, шт*кВА
		$P_{p\Sigma}$, кВт	$Q_{p\Sigma}$, кВАр	$S_{p\Sigma}$, кВА	
Цех точного лиття	0,99/0,17	949,4	164,2	963,5	2 · 630

На рисунку 2.1 зображено загальний вигляд трансформатора типу ТМЗ-630/10



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд трансформатора типу ТМЗ-630/10

2.2 Розрахунок потужності компенсувальних пристроїв реактивних навантажень

За даною формулою (2.3) можна визначити найбільшу реактивну потужність, яка передається через цехові трансформатори у мережу до 1 кВ:

$$Q_{\max T} = \sqrt{(N \cdot S_H \cdot k_3)^2 - P_{p\Sigma}^2} \quad (2.3)$$

Відповідно залежності (2.4), визначається потужність низьковольтної конденсаторної установки:

$$Q_{HK} = Q_{p\Sigma} - Q_{\max T} \quad (2.4)$$

Якщо $Q_{HK} < 0$, то приймаємо що воно дорівнює нулю $Q_{HK} = 0$, тоді не потрібно встановлювати компенсатори на стороні НН підстанції

Отже, потужність низьковольтної конденсаторної установки:

$$Q_{\max T} = \sqrt{(2 \cdot 630 \cdot 0,9)^2 - 949,4^2} = 620,1 \text{ кВАр}$$

Потужність низьковольтної конденсаторної установки:

$$Q_{HK} = 164,2 - 620,2 = -455,9 \text{ кВАр}$$

Отже, з даного виразу бачимо, що отримане значення $Q_{HK} > 0$, тому не потрібно встановлювати компенсатори на стороні НН підстанції, оскільки трансформатори можуть пропустити всю реактивну потужність зі сторони ВН у мережу НН.

2.3 Розрахунок і вибір магістральних і розподільчих мереж напругою до 1000В

Значення $I_{дон}$ вибираємо, як найближче більшим до I_p , тоді з врахуванням умов прокладання, можна визначити $I'_{дон}$ за формулою (2.5):

$$I'_{дон} = K_{сер} K_{пр} K_{нопр} I_{дон} \quad (2.5)$$

$K_{пр}$ - поправочний коефіцієнт на кількість працюючих кабелів, що лежать поруч; $K_{нопр}$ - поправковий коефіцієнт; $K_{сер}$ - коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, обраховується так (2.6):

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{T_{ж.н.} - T_{сер}}{T_{ж.н.} - T_{сер.н.}}}, \quad (2.6)$$

де, $T_{ж.н.}$ - нормована тривало допустима температура жил; $T_{сер}$ - температура навколишнього середовища; $T_{сер.н.}$ - фактична нормована температура середовища.

Якщо умова (2.7) виконується, то попередньо обраний кабель, приймається за умовою нагрівання:

$$I'_{дон} \geq I_p, \quad (2.7)$$

Для кабелю марки АВВГ з полівінілхлоридною ізоляцією вибираємо [2, с.90, табл. 4.1] $T_{ж.н.} = 55^\circ\text{C}$, $T_{сер.н.} = 25^\circ\text{C}$ та $T_{сер} = 12^\circ\text{C}$.

Тоді :

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{55-12}{55-25}} = 1,2$$

За формулою (2.8) визначаються фактичні активний та реактивний опори кабелю:

$$R_{кб} = r_n \cdot l_{кб}; \quad X_{кб} = x_n \cdot l_{кб} \quad (2.8)$$

де, r_n та x_n – активний та реактивний опори, визначаються згідно [1, с.248, табл. М11]

Щоб перевірити кабель за втратою напруги використовують залежність (2.9):

$$\Delta U_{кб} = \frac{P_p \cdot R_{кб} + Q_p \cdot X_{кб}}{10 \cdot U_n^2}, \% \quad (2.9)$$

де P_p, Q_p - розрахункові активна та реактивна потужності навантаження ПРЕ, кВт та кВАр; U_n - номінальна напруга, кВ.

Допустима втрата напруги, не має перевищувати 5%.

Поправковий коефіцієнт, який враховується при прокладанні кабелю всередині приміщення цеху, визначається згідно [1, с.243, табл. М5] $K_{np} = 0,87$, $K_{нопр} = 0,92$ [2, с. 246]. Розрахунковий струм СРШ-1 $I_{pl} = 484$ А.

З таблиці М.9 додатка М [1] для чотирижильного кабелю при прокладанні в землі, вибираємо дані, як для трижильного. Близьких допустимих струмів для I_{pl} в таблиці немає, тоді приймаємо до встановлення два кабелі зі стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{ст} = 95$ мм² в яких сумарний допустимий струм для стандартних умов $I_{дон} = 510$ А. Тоді:

$$I'_{дон} = 0,92 \cdot 1,2 \cdot 0,87 \cdot 510 = 488,7 \text{ А}$$

Таким чином умова виконується.

Активний та реактивний опори згідно таблиці М.11 додатка М [2], для кабелю з перерізом струмопровідної жили $S_{ст} = 95$ мм² приймаються: $r_n = 0,329$ мОм/м, $x_n = 0,081$ мОм/м. Довжина кабелю $l_{кб} = 0,013$ км.

Тоді:

$$R_{np} = 0,329 \cdot 0,013 = 0,004 \text{ Ом}$$

$$X_{np} = 0,081 \cdot 0,013 = 0,001 \text{ Ом}$$

Тоді втрата напруги в кабелі:

$$\Delta U_{кб} = \frac{308 \cdot 0,004 + 81,4 \cdot 0,001}{10 \cdot 0,38^2} = 0,89\%$$

З даного виразу бачимо, що величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5%), то переріз кабелю вибраний правильно. До встановлення приймається чотирьох жильний кабель АВВГ (4×95).

Аналогічно проводимо розрахунок інших кабелів. Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Розрахунок перерізів провідників живильної мережі напругою до 1 кВ.

Кабель до ПРЄ	I_p, A	$P_p, кВт$	$Q_p, кВАр$	$I_{доп}, A$	$I'_{доп}, A$	$S, мм^2$	Тип кабеля	$l_{кб}, км$	$r_n, Ом/км$	$x_n, Ом/км$	$R_{кб}, Ом$	$X_{кб}, Ом$	$\Delta U, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ПРЕ 1	484	308	81,37	510	488,7	95	2 х АВВГ 4х95	0,013	0,329	0,081	0,004	0,001	0,89
ПРЕ 2	457,5	291,1	77,28	510	488,7	95	2 х АВВГ 4х95	0,037	0,329	0,081	0,012	0,003	2,8
ПРЕ 3	525,5	345,8	9,77	590	565,4	120	2 х АВВГ 4х120	0,008	0,261	0,08	0,002	0,0006	0,5
ПРЕ 4	218,9	140,3	32,87	255	244,4	95	АВВГ 4х95	0,015	0,329	0,081	0,005	0,001	0,5

Вибір перерізу провідників розподільчої мережі напругою до 1 кВ

Для обрахунку номінальний струму I_n ЕП використовують дану формулу (2.10):

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \cos \alpha \eta} , \quad (2.10)$$

де η - номінальний коефіцієнт корисної дії ЕП

За формулою (2.11) знаходимо допустимий тривалий струм $I'_{\partial on}$:

$$I'_{\partial on} = K_{сер} K_{np} I_{\partial on} , \quad (2.11)$$

де K_{np} - поправочний коефіцієнт на кількість кабелів, що лежать поруч [1]; $K_{сер}$ - поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, обраховується згідно (2.5).

Якщо умова (2.12) виконується, то попередньо обраний кабель, приймається за умовою нагрівання :

$$I'_{\partial on} > I_n , \quad (2.12)$$

Для ливарної машини №1 $\cos \alpha = 0,82$, ККД приймається $\eta = 1$.

Тоді номінальний струм буде становити:

$$I_n = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,82 \cdot 1} = 40,76 \text{ А}$$

Після обрахунку, обираємо з таблиці М.10 додатка М [1] чотирьох одножильний провід, який прокладені в одній трубі, з допустимим струмом $I_{\partial on} = 55$ А та перерізом струмопровідної жили $S_{cm} = 16$ мм².

Визначимо допустимий струм з врахуванням умов навколишнього середовища і умов прокладання:

$$I'_{\partial on} = 1,13 \cdot 0,87 \cdot 55 = 54,3 \text{ А}$$

Здійснюємо перевірку.

$$I'_{\partial on} = 54,3 > I_n = 40,8 \text{ А}$$

Отже, умова виконується.

Для даного проводу, активний та реактивний питомі опори обираємо з таблиці М.11 додатка М [2]:

$r_n=1,95$ мОм/м, $x_n=0,095$ мОм/м. Довжина проводу до ЕП №1 $l_{np}=0,01$ км.

Тоді:

$$R_{np} = 1,95 \cdot 0,01 = 0,0195 \text{ Ом}$$

$$X_{np} = 0,095 \cdot 0,01 = 0,001 \text{ Ом}$$

Таким чином вибираємо провід АВВГ (4×16).

Аналогічно проводимо розрахунок до інших ЕП та результати заносимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Переріз провідників живильної мережі напругою до 1 кВ.

№ обладнання на плані	$P_{\text{н}}, \text{кВт}$	$I_{\text{н}}, \text{А}$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$I_{\text{доп}}, \text{А}$	$S, \text{мм}^2$	Тип кабеля	$I_{\text{кб}}, \text{кМ}$	$R_{\text{н}}, \text{ОМ/кМ}$	$X_{\text{н}}, \text{ОМ/кМ}$	$R_{\text{кб}}, \text{ОМ}$	$X_{\text{кб}}, \text{ОМ}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	22	40,8	55	54,3	16	АВВГ 4х16	0,01	1,95	0,095	0,0195	0,001
2	22	40,8	55	54,3	16	АВВГ 4х16	0,005	1,95	0,095	0,00975	0,0005
3	22	40,8	55	54,3	16	АВВГ 4х16	0,002	1,95	0,095	0,0039	0,0002
4	22	40,8	55	54,3	16	АВВГ 4х16	0,006	1,95	0,095	0,0117	0,0006
5	26	46,5	55	54,3	16	АВВГ 4х16	0,011	1,95	0,095	0,02145	0,001
6	26	46,5	55	54,3	16	АВВГ 4х16	0,005	1,95	0,095	0,00975	0,0005
7	26	46,5	55	54,3	16	АВВГ 4х16	0,004	1,95	0,095	0,0078	0,0004
8	26	46,5	55	54,3	16	АВВГ 4х16	0,007	1,95	0,095	0,01365	0,0007
9	17	27,2	30	29,63	6	АВВГ 4х6	0,016	5,21	0,1	0,08336	0,0016
10	17	27,2	30	29,63	6	АВВГ 4х6	0,013	5,21	0,1	0,06773	0,0013
11	17	27,2	30	29,63	6	АВВГ 4х6	0,028	5,21	0,1	0,14588	0,0028
12	30	48,0	55	54,3	16	АВВГ 4х16	0,006	1,95	0,095	0,0117	0,0006
13	30	48,0	55	54,3	16	АВВГ 4х16	0,006	1,95	0,095	0,0117	0,0006
14	55	83,6	85	83,9	35	АВВГ 4х35	0,011	0,894	0,088	0,009834	0,001
15	55	83,6	85	83,9	35	АВВГ 4х35	0,007	0,894	0,088	0,006258	0,0006
16	55	83,6	85	83,9	35	АВВГ 4х35	0,004	0,894	0,088	0,003576	0,0004
17	55	83,6	85	83,9	35	АВВГ 4х35	0,004	0,894	0,088	0,003576	0,0004
18	55	83,6	85	83,9	35	АВВГ 4х35	0,015	0,894	0,088	0,01341	0,0013
19	55	83,6	85	83,9	35	АВВГ 4х35	0,009	0,894	0,088	0,008046	0,0008
20	55	83,6	85	83,9	35	АВВГ 4х35	0,006	0,894	0,088	0,005364	0,0005

Продовження табл. 2.4 - Переріз провідників живильної мережі напругою до 1 кВ.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
21	55	83,6	85	83,9	35	АВВГ 4x35	0,009	0,894	0,088	0,008046	0,0008
22	24	36,5	39	38,5	10	АВВГ 4x10	0,002	3,12	0,099	0,00624	0,0002
23	24	36,5	39	38,5	10	АВВГ 4x10	0,005	3,12	0,099	0,0156	0,0005
24	24	36,5	39	38,5	10	АВВГ 4x10	0,008	3,12	0,099	0,02496	0,0008
25	24	36,5	39	38,5	10	АВВГ 4x10	0,011	3,12	0,099	0,03432	0,0011
26	12	19,2	21	20,7	4	АВВГ 4x4	0,002	10,94	0,111	0,02188	0,0002
27	12	19,2	21	20,7	4	АВВГ 4x4	0,003	10,94	0,111	0,03282	0,0003
28	19	28,9	30	29,63	6	АВВГ 4x6	0,015	5,21	0,1	0,07815	0,0015
29	19	28,9	30	29,63	6	АВВГ 4x6	0,02	5,21	0,1	0,1042	0,0020
30	19	28,9	30	29,63	6	АВВГ 4x6	0,023	5,21	0,1	0,11983	0,0023
31	19	28,9	30	29,63	6	АВВГ 4x6	0,026	5,21	0,1	0,13546	0,0026
32	75	114,0	120	118,53	50	АВВГ 4x50	0,018	0,625	0,085	0,01125	0,0015
33	75	114,0	120	118,53	50	АВВГ 4x50	0,012	0,625	0,085	0,0075	0,001
34	60	91,2	120	118,53	50	АВВГ 4x50	0,009	0,625	0,085	0,005625	0,0008
35	60	91,2	120	118,53	50	АВВГ 4x50	0,002	0,625	0,085	0,00125	0,0002
36	17	26,9	30	29,63	6	АВВГ 4x6	0,025	5,21	0,1	0,13025	0,0025
37	10	17,3	19	18,77	2,5	АВВГ 4x2,5	0,012	12,5	0,116	0,15	0,0014
38	10	17,3	19	18,77	2,5	АВВГ 4x2,5	0,011	12,5	0,116	0,1375	0,0013
39	10	17,3	19	18,77	2,5	АВВГ 4x2,5	0,006	12,5	0,116	0,075	0,0007
40	13	23,2	30	29,63	6	АВВГ 4x6	0,018	5,21	0,1	0,09378	0,0018
41	13	23,2	30	29,63	6	АВВГ 4x6	0,029	5,21	0,1	0,15109	0,0029
42	13	23,2	30	29,63	6	АВВГ 4x6	0,007	5,21	0,1	0,03647	0,0007
43	13	23,2	30	29,63	6	АВВГ 4x6	0,006	5,21	0,1	0,03126	0,0006
44	13	23,2	30	29,63	6	АВВГ 4x6	0,003	5,21	0,1	0,01563	0,0003

2.4 Розрахунок струмів перевантажень та короткого замикання в мереж напругою до 1000В

Щоб розрахувати струми короткого замикання, складається спрощена однолінійна схема мережі, з всіма її елементами та параметрами, які впливають на струм короткого замикання.

Щоб визначити індуктивний опір джерела живлення використовують формулу (2.13):

$$Z_C = X_C = \frac{U_{с.н}}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з}} \quad (2.13)$$

де $U_{с.н}$ – середня напруга ступеня мережі, де відбулося КЗ; $I_{к.з}$ – струм трифазного КЗ з боку високої напруги ЦТП.

З вихідних даних отримуємо: $U_{с.н}=6,3$ кВ, $I_{кз}=9,6$ кА.

Отже,

$$Z_C = X_C = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 9,6} = 0,38 \text{ мОм}$$

Для розрахунку струмів короткого замикання визначаємо опір окремих ділянок мережі на ступені 0,4 кВ:

Активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора визначаються за формулою (2.14) та (2.15) :

$$X_T = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{к.ном}}{S_{ном.т}} \right)^2} \cdot \frac{U_{ном.НН}^2}{S_{ном.т}} \cdot 10^4, \quad (2.14)$$

$$R_T = \frac{P_{к.ном} \cdot U_{ном.НН}^2}{S_{ном.т}} \cdot 10^6, \quad (2.15)$$

де u_k – напруга короткого замикання, %; $P_{к.ном}$ – номінальні втрати КЗ у трансформаторі, кВт; $U_{ном.НН}$ – номінальна напруга обмотки низької напруги трансформатора, кВ.

З таблиці Л.1 додатка Л [1], для трансформатора типу ТМЗ 630/10 обираємо $u_k = 5,5\%$, $P_{к.ном} = 7,6$ кВт та $U_{ном.НН} = 0,4$ кВ.

Отже,

$$X_T = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{630}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^4 = 13,6 \text{ мОм}$$

$$R_T = \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 3,1 \text{ мОм}$$

З таблиці Н.1 додатка Н [1] для автомата QF1 (ВА55-43) приймається $R_{a1} = 0,14$ мОм, $X_{a1} = 0,08$ мОм; для QF2 (ВА51-39) $R_{a2} = 0,41$ мОм, $X_{a2} = 0,13$ мОм; для QF3 (ВА51-31) $R_{a3} = 2,15$ мОм, $X_{a3} = 1,2$ мОм.

З таблиці Н.2 додатка Н [1] для трансформатора струму (ТА1) з коефіцієнтом трансформації 1000/5 приймається $R_{ma1} = 0,05$ мОм, $X_{ma1} = 0,07$ мОм; для трансформатора струму (ТА2) з коефіцієнтом трансформації 150/5 приймається $R_{ma2} = 0,75$ мОм, $X_{ma2} = 1,2$ мОм.

Для визначення активного та індуктивного питомих опорів кабельної лінії використовують формулу (2.16):

$$X_{кб} = x_n \cdot l_{кб}, \quad R_{кб} = r_n \cdot l_{кб}. \quad (2.16)$$

З таблиці М.11 додатка М [1] для кабельної лінії Кб1 приймається $r_n = 0,329$ мОм/м, $x_n = 0,081$ мОм/м та довжина кабелю $l_{кб} = 13$ м. Отже,

$$X_{кб1} = x_n \cdot L_{кб1} = 0,329 \cdot 13 = 4,27 \text{ мОм}$$

$$R_{кб1} = r_n \cdot L_{кб1} = 0,081 \cdot 13 = 1,05 \text{ мОм}$$

Для проводу до ЕП №1 питимі опори з таблиці М.11 додатка М [1] приймаємо $x_n = 0,095$ мОм/м, $r_n = 1,95$ мОм/м та довжина проводу $l_{np} = 11$ м.

Отже,

$$X_{np} = x_n \cdot L_{np} = 0,095 \cdot 11 = 1,045 \text{ мОм}$$

$$R_{np} = r_n \cdot L_{np} = 1,95 \cdot 35 = 21,45 \text{ мОм}$$

Схема заміщення, на якій показуємо окремі елементи схеми у вигляді активного і реактивного опорів, наведена на рис. 2.2.

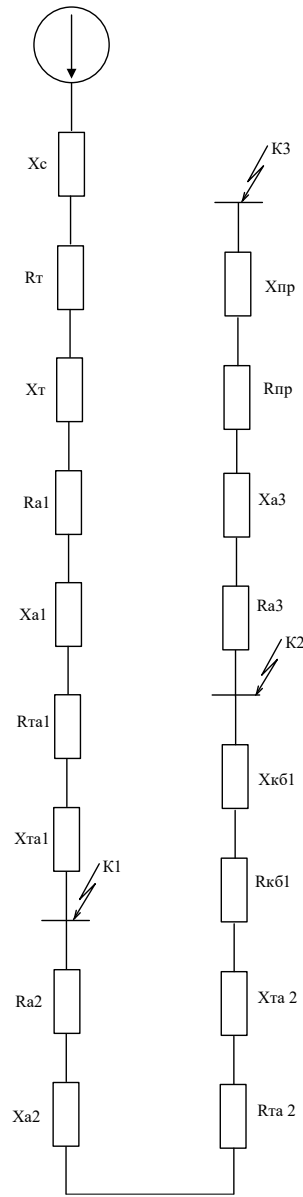


Рис. 2.2 – Схема заміщення електричної мережі

Визначаємо струм трифазного КЗ у точці К1.

Для визначення сумарних активних та індуктивних опорів щодо точки К1 використовуємо формулу (2.17):

$$R_{\Sigma K1} = R_T + R_{a1} + R_{ma1}, \quad X_{\Sigma K1} = X_c + X_T + X_{a1} + X_{ma1}, \quad (2.17)$$

Отже, сумарні опори щодо точки К1:

$$R_{\Sigma K1} = 3,1 + 0,14 + 0,05 = 3,3 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma K1} = 0,38 + 13,6 + 0,08 + 0,07 = 14,13 \text{ мОм}$$

Для визначення початкового діючого значення трифазного струму КЗ використовують формулу (2.18):

$$I_{K1(0)} = \frac{U_{б.}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}} \quad (2.18)$$

Отже, початкове діюче значення трифазного струму КЗ:

$$I_{K1(0)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3,3^2 + 14,13^2}} = 15,9 \text{ кА}$$

Визначаємо струм трифазного КЗ у точці К2.

Для визначення сумарних активних та індуктивних опорів щодо точки К2 використовуємо формулу (2.19):

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{кб} + R_{a2} + R_{ma2}, \quad X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{кб} + X_{a2} + X_{ma2}. \quad (2.19)$$

Отже, сумарні опори щодо точки К2:

$$R_{\Sigma K2} = 3,3 + 4,3 + 0,75 + 0,41 = 8,7 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma K2} = 14,13 + 1,05 + 0,13 + 1,2 = 16,5 \text{ мОм}$$

Для визначення початкового діючого значення трифазного струму КЗ використовують формулу (2.20):

$$I_{K2(0)} = \frac{U_{б.}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2}} \quad (2.20)$$

Отже, початкове діюче значення трифазного струму КЗ

$$I_{K2(0)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{8,7^2 + 16,5^2}} = 12,4 \text{ кА}$$

Визначення струму трифазного КЗ у точці К3:

Для визначення сумарних активних та індуктивних опорів щодо точки К3 використовуємо формулу (2.21):

$$R_{\Sigma K3} = R_{\Sigma K2} + R_{a3} + R_{np}, \quad X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K2} + X_{a3} + X_{np}. \quad (2.21)$$

Отже, сумарні опори щодо точки К3:

$$R_{\Sigma K2} = 8,7 + 2,15 + 21,45 = 32,33 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma K2} = 16,5 + 1,2 + 1,05 = 18,76 \text{ мОм}$$

Для визначення початкового діючого значення трифазного струму КЗ використовують формулу (2.22):

$$I_{K3(0)} = \frac{U_{\phi.}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2}} \quad (2.22)$$

Отже, початкове діюче значення трифазного струму КЗ

$$I_{K3(0)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{32,33^2 + 18,76^2}} = 6,18 \text{ кА}$$

Визначення ударних струмів у різних точках КЗ, обраховується за формулою (2.23):

$$i_{yKn} = k_{yKn} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{Kn(0)} \quad (2.23)$$

де k_y – ударний коефіцієнт, який залежить від R_{Σ}/X_{Σ} .

Ударний коефіцієнт для точки К1, становить $k_{yK1}=1,5$ [3, п.5.1, рис. 1].

Отже, ударний струм у точці К1:

$$i_{yK1} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,79 = 33,77 \text{ кА}$$

Ударний коефіцієнт для точки К2, становить $k_{yK2}=1,4$ [3, п.5.1, рис. 1].

Отже, ударний струм у точці К2:

$$i_{yK2} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 12,37 = 21 \text{ кА}$$

Ударний коефіцієнт для точки К3, становить $k_{yK3}=1,5$ [3, п.5.1, рис. 1].

Отже, ударний струм у точці К3:

$$i_{yK3} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,18 = 13,12 \text{ кА}$$

Для розрахунку струмів однофазного КЗ у різних точках, використовують формулу (2.24):

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\text{ПТ}}} \quad (2.24)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга мережі, яка становить 220 В; $Z_{\Sigma}^{(1)}$ – сумарний опір, який розраховується за формулою (2.25); $Z_{\text{ПТ}}$ – повний опір від трансформатора до точки К3, обраховується за формулою (2.26).

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{(R_{\Sigma K1} + R_{\Sigma K2} + R_{\Sigma K3})^2 + (X_{\Sigma K1} + X_{\Sigma K2} + X_{\Sigma K3})^2} \quad (2.25)$$

$$Z_{\text{ПТ}} = \sum_i^n z_{n.nm.i} \cdot l_i \quad (2.26)$$

Отже, сумарний опір:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{(3,3 + 8,73 + 32,33)^2 + (14,3 + 16,5 + 18,76)^2} = 66,38 \text{ мОм.}$$

Для точки К1 струм однофазного короткого замикання становитиме:

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{220}{\frac{66,38}{3}} = 9,94 \text{ кА.}$$

Для точки К2, з таблиці Н7 додатка Н [1] для чотирижильних алюмінієвих кабелів, питомий опір становитиме $z_{nmI}=0,78$ мОм, та довжина кабелю $l_{\kappa\phi}=13$ м.

Отже, струм однофазного короткого замикання в точці К2:

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{66,38}{3} + 0,78 \cdot 13} = 6,82 \text{ кА.}$$

Для точки КЗ, з таблиці Н7 додатка Н [1] для чотирижильних алюмінієвих проводів, питомий опір становитиме $z_{nm2}=4,43$ мОм, та довжина проводу $l_{np}=11$ м.

Отже, струм однофазного короткого замикання в точці КЗ:

$$I_{к2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{66,38}{3} + 0,78 \cdot 13 + 4,43 \cdot 11} = 2,72 \text{ кА.}$$

2.5 Вибір електричної комутаційної апаратури в мережі напругою до 1000В

Згідно з ПУЕ, провідники і кабелі, які були обрані по номінальному і максимальному струму у нормальному режимі можуть витримувати навантаження яке значно перебільшує допустиме по причині перенавантаження ЕП, при однофазних і між фазних коротких замиканнях, тому ЕП і мережі повинні захищатися апаратами захисту: плавкими запобіжниками, автоматичними вимикачами, магнітними пускачами. В якості апаратів захисту до 1000 В обираємо автоматичні вимикачі, які можуть захистити споживачів від короткого замикання, теплових перевантажень, а також від недопустимого зниження напруги. Автоматичні вимикачі мають переваги перед запобіжниками при експлуатації. Для забезпечення нормального режиму роботи, автомати та запобіжники перевіряють на електродинамічну стійкість, але автоматичні вимикачі та плавкі запобіжники, які виконують струмообмежувальні функції, не вимагають перевірки

У шафи розподільчого пристрою на стороні низької напруги ЦТП, які ми обрали, встановлені відповідні автоматичні вимикачі, тому ми не можемо обрати тип автомата, а лише вибираємо його номінальний струм, номінальний струм розмелювачів та струми спрацювання розмелювачів.

2.5.1 Вибір основного обладнання розподільних пристроїв низької напруги трансформаторної підстанції

Згідно розрахункового навантаження на шинах 0,4 кВ намічаються до встановлення два силових трансформатора потужністю $S_{ном.т.}=630$ кВА, для живлення цехової мережі, тому вибираємо КТП-630/10, яка комплектується шафою вводу типу ШНВ-3УЗ та лінійною шафою типу ШНЛ-4 УЗ. У шафі вводу встановлюємо автомат ВА55-43, який розрахований на $I_{ном}=1600$ А, та має напівпровідниковий розчеплювачі серії БПР. У лінійній шафі

встановлюємо три автомати типу ВА 51-39 $I_{ном} = 630$ А, та один автомат типу ВА 51-35 $I_{ном} = 250$ А, характеристика захисту – обмежено залежна, а для селективних автоматів – трьох ступінчата. Технічні дані шаф наводяться в таблиці 2.5. На рисунку 2.3 зображено загальний вигляд силової шафи.

Таблиця 2.5

Технічні дані силових шаф

Тип шафи	Найменування шафи	Кількість автоматів у шафі	Типи автоматів які встановлені в шафі
ШНВ-3 УЗ	вводу	1	ВА 55-43
ШНЛ-4 УЗ	лінійна	4	ВА 51-35 ВА 51-39



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд силової шафи

2.5.2 Вибір розподільних силових шаф заводської мережі

Для того щоб обрати розподільчі силові шафи, потрібно врахувати кількість приєднань електроприймачів, розрахункове навантаження та в яких умовних середовищах вони встановлюються. В цеху встановлюються чотири розподільчих силових шафи типу ПР 8501.

Технічні характеристики шаф наводяться в таблиці 2.6 та результати перевірки СРШ наводяться в таблиці 2.7. На рис. 2.4 зображено загальний вигляд силової розподільчої шафи.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд силової розподільчої шафи

Таблиця 2.6

Технічні дані розподільчих шаф

Тип силової шафи	Номінальний струм I_n , А	К-сть відходящих ліній і тип триполюсних вимикачів на лініях	
		З розчеплювачами на струм, А	
		16-100	100-250
ПР8501-151	100	10	-
ПР8501-152	100	12	-
ПР8501-152	100	12	-
ПР8501-157	160	8	2

Умови вибору і перевірки СРШ

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
ПР8501-151		
$U_n < U_{н.ш}$	380 В	660 В
$I_p < I_n$	219 А	630 А
$i_y < i_{ст.дин.}$	6,53 кА	10 кА
К-сть приєднань	10	10
ПР8501-152		
$U_n < U_{н.ш}$	380 В	660 В
$I_p < I_n$	484 А	630 А
$i_y < i_{ст.дин.}$	8,89 кА	20 кА
К-сть приєднань	12	12

ПР8501-152		
$U_n < U_{н.ш}$	380 В	660 В
$I_p < I_n$	457 А	630 А
$i_y < i_{ст.дин.}$	7,95 кА	20 кА
К-сть приєднань	12	12
ПР8501-157		
$U_n < U_{н.ш}$	380 В	660 В
$I_p < I_n$	525 А	630 А
$i_y < i_{ст.дин.}$	10,13 кА	20 кА
К-сть приєднань	10	10

2.5.3 Підбір та перевірка автоматичних вимикачів

Вибір ввідного автомата

Використовуємо автомат вводу ВА55-41 – селективний з напівпровідниковим розчеплювачем серії БПР. Для вибору автомата, він має задовольняти подальші умови.

За формулою (2.27) вибирається номінальна напруга автомата:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}, \quad (2.27)$$

де, $U_{ном.а}$ – номінальна напруга автомата, В; $U_{ном.м}$ – номінальна напруга мережі, В.

Отже, напруга автомата:

$$660В \geq 380В$$

За формулою (2.28) вибирається номінальний струм автомата:

$$I_{ном.а} \geq I_{\phi}, \quad (2.28)$$

де, I_{ϕ} – форсований струм, А.

Для визначення форсованого струму використовують формулу (2.29):

$$I_{\phi} = K_{рез} \cdot I_p, \quad (2.29)$$

де, I_p – розрахунковий струм, А; $K_{рез}$ – коефіцієнт резервування.

При двотрансформаторній підстанція, яка немає резервування коефіцієнт резервування приймається $K_{рез}=1$ тому форсований струм дорівнює:

$$I_{\phi} = 1 \cdot 1463,9 = 1463,9 \text{ А}$$

Тоді номінальний струм автомата ВА55-43

$$I_{ном.а} = 1600 \text{ А} > I_{\phi} = 1463,9 \text{ А}$$

Номінальний струм розчіплювача знаходять за формулою (2.30):

$$I_{ном.р} \geq I_{\phi} \quad (2.30)$$

$$I_{ном.р} = 1600 \text{ A} > I_{\phi} = 1463,9 \text{ A}$$

Для автоматів типу ВА55 $I_{ном.р} (I_{с.п.}/I_{ном.р}) 1,25$.

За формулою (2.31) знаходимо струм спрацювання перевантаження теплового розщеплювача:

$$I_{с.п.} = 1,25 \cdot I_{ном.р} , \quad (2.31)$$

Струм спрацювання теплового розщеплювача дорівнює:

$$I_{с.п.} = 1,25 \cdot I_{ном.р} = 1,25 \cdot 1600 = 2000 \text{ A}$$

Для спрацювання розщеплювача має виконатися умова (2.32):

$$I_{сн} \geq 1,1 \cdot I_{\phi} \quad (2.32)$$

Тоді

$$I_{с.п.} = 2000 \text{ A} > 1,1 \cdot 1463,9 = 1610,3 \text{ A}$$

За формулою (2.33) знаходимо струм спрацювання відсічки:

$$I_{с.в} = 7 I_{ном.р} \quad (2.33)$$

Струм спрацювання відсічки дорівнює:

$$I_{с.в} = 7 I_{ном.р} = 7 \cdot 1600 = 11200 \text{ A}$$

Для спрацювання відсічки має виконуватися умова (2.34):

$$I_{с.в.} \geq 6 \cdot I_m \quad (2.34)$$

Тоді:

$$I_{с.в} = 11200 \text{ A} > 6 \cdot 1463,9 = 8783,4 \text{ A}$$

Автоматичний вимикача має вимикатись за умови (2.35):

$$I_{ном.в.а.} \geq I_{н.о.} = I_K^{(3)} \quad (2.35)$$

де, $I_{ном.в.а.}$ – вимкнення автомата при нормальних умовах; $I_{н.о.}$ – початкове діюче значення струму трифазного КЗ.

Тоді:

$$60 \text{ кА} > 15,9 \text{ кА}$$

Остаточню вибираємо автомат з такими параметрами:

$$U_{ном.а}=660 \text{ В}; I_{ном.а}=1600 \text{ А}; I_{ном.р}=1600 \text{ А}; I_{с.п.}=2000 \text{ А}; I_{с.в.}=11200 \text{ А}; I_{ном.в.а}=60 \text{ кА}$$

В таблиці 2.8 наведені каталожні та розрахункові дані автомата вводу QF1 типу ВА55-43.

Таблиця 2.8

Каталожні та розрахункові дані автомату вводу QF1 типу ВА55-43

Умови вибору	Каталожні дані автомата	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{ном.а} > U_{ном.м}$	$U_{ном.а}=660 \text{ В}$	$U_{ном.м}=380 \text{ В}$
За номінальним струмом автомата $I_{ном.а} > I_{\phi}$	$I_{ном.а}=1600 \text{ А}$	$I_{\phi} = K_{рез} \cdot I_{ном.т} =$ $= 1 \cdot 1463,9 = 1463,9 \text{ А}$
За номінальним струмом розщеплювача $I_{ном.р} > I_{\phi}$	$I_{ном.р}=1600 \text{ А}$	$I_{\phi} = K_{рез} \cdot I_{ном.т} =$ $= 1 \cdot 1463,9 = 1463,9 \text{ А}$
З аноміальним струмом автомата та його розщеплювачів $I_{ном.а} > I_{ном.р}$	$I_{ном.а}=1600 \text{ А}$	$I_{ном.р}=1600 \text{ А}$
За номінальним струмом теплового розщеплювача $I_{с.п.} > 1,1 I_{\phi}$	$I_{с.п.} = 1,25 \cdot I_{ном.р} =$ $= 1,25 \cdot 1600 = 2000 \text{ А}$	$1,1 I_{\phi} = 1,1 \cdot 1463,9 =$ $= 1610,3 \text{ А}$
За умовою відстрочки від пікових струмів $I_{с.в.} > (6-10) I_{ном.т}$	$I_{с.в.} = 7 \cdot I_{ном.р} =$ $= 7 \cdot 1600 = 11200 \text{ А}$	$I_{с.в.} = 6 \cdot I_{ном.т} =$ $= 6 \cdot 1463,9 = 8783,9 \text{ А}$
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{ном.в.а} > I_{н.о} = I_{к}^{(3)}$	$I_{ном.в.а} = 60 \text{ кА}$	$I_{н.о} = I_{кI}^{(3)} = 15,9 \text{ кА}$

Вибір лінійних автоматів

Для захисту лінії живлення до ПРЕ1 беремо автомат ВА51-39 струмообмежувальний з тепловим та електромагнітними розщеплювачами.

Розрахунки проводяться аналогічно як для автомата вводу, і занесенні до таблиці 2.9 разом з каталожними даними. Результати вибору автоматичних вимикачів наводяться в таблиці 2.10.

Таблиця 2.9

Каталожні і розрахункові дані автомата типу ВА51-39

Умови вибору	Каталожні дані автомата	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{ном.а} > U_{ном.м}$	$U_{ном.а} = 660 \text{ В}$	$U_{ном.м} = 380 \text{ В}$
За номінальним струмом автомата $I_{ном.а} > I_{р2}$	$I_{ном.а} = 630 \text{ А}$	$I_{р.2} = 484 \text{ А}$
За номінальним струмом розщеплювача $I_{ном.р} > I_{р2}$	$I_{ном.р} = 500 \text{ А}$	$I_{р2} = 484 \text{ А}$
За номінальним струмом автомата та його розщеплювачів $I_{ном.а} > I_{ном.р}$	$I_{ном.а} = 630 \text{ А}$	$I_{ном.р} = 500 \text{ А}$
За струмом уставки теплового розщеплювача $I_{у.т.р.} > I, II_{р.2}$	$I_{у.т.р.} = 1,25 \cdot I_{ном.р} = 1,25 \cdot 500 = 625 \text{ А}$	$1,1 \cdot I_{р.2} = 1,1 \cdot 484 = 532,4 \text{ А}$
За умовою відстрочки від пікових струмів $I_{у.е.р.} > 1,25 I_{нік}$	$I_{у.е.р.} = 10 \cdot I_{ном.р} = 10 \cdot 500 = 5000 \text{ А}$	$1,25 \cdot I_{нік} = 1,25 \cdot 592,8 = 741 \text{ А}$
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{ном.в.а} > I_{н.о} = I_{к}^{(3)}$	$I_{ном.в.а} = 40 \text{ кА}$	$I_{н.о} = I_{к2}^{(3)} = 12,4 \text{ кА}$

Результати вибору автоматичних вимикачів

Живильна лінія	Тип автомата	$U_{ном.а},$ В	$I_{ном.а},$ А	$I_{ном.т.р},$ А	$I_{у.т.р.},$ А	$I_{у.е.р},$ А	$I_{ном.в.а},$ кА
До ПРЕ 1	ВА 51-39	660	630	500	625	5000	40
До ПРЕ 2	ВА 51-39	660	630	500	625	5000	40
До ПРЕ 3	ВА 51-39	660	630	630	787,5	6300	40
До ПРЕ 4	ВА 51-35	660	250	250	312,5	3000	22

Вибір автоматів до ЕП

СРШ який живить лінію до ЕП №1, встановлюємо типу ПР8501-152, у якому встановлено 12 автоматів типу ВА51-31. Вибирається автомат ВА52-31 не струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачем.

Номінальна напруга автомата вибирається за формулою (2.27):

$$660В > 380В$$

Тоді номінальний струм автомата визначається за формулою (2.28):

$$I_{ном.а}=100 А > I_{ном.д.}=46,5 А$$

Вибираємо зі стандартних, для автоматів ВА51-31, номінальні струми теплового розщеплювача $I_{ном.т.р}$. 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80 і 100А.

За формулою (2.29) знаходимо номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{ном.т.р}=50 А > I_{ном.д.}=46,5 А$$

За формулою (2.31) знайдемо уставка струму теплового розщеплювача, при кратності спрацювання 1,25:

$$I_{у.т.р.}=1,25 \cdot I_{ном.т.р.}=1,25 \cdot 50=62,5 А$$

Отже,

$$I_{у.т.р.}=62,5 А > 1,25 \cdot 46,5=58,1 А.$$

Струм спрацювання відсічки розраховуємо за формулою (2.32):

$$I_{с.в.}=I_{у.е.р.}=7 \cdot I_{ном.т.р.}=7 \cdot 50=350 А$$

Отже, пусковий струм дорівнює: $I_{пуск}=5 \cdot 46,5=232,5 А$

Тоді виконуються умови:

$$I_{y.e.p.}=350 \text{ A} > 1,25 \cdot 232,5 = 406,875 \text{ A.}$$

При перевірці автомата на струми трифазного КЗ береться струм трифазного КЗ у точці КЗ. Для автоматів ВА51-31 становить $I_{ном.в.а}=15 \text{ кА}$.

$$15 \text{ кА} > 13,2 \text{ кА}$$

Остаточно вибираємо автомат ВА52-31 з такими параметрами:

$$U_{ном.а}=660 \text{ В}; I_{ном.а}=100 \text{ А}; I_{ном.т.р}=50 \text{ А}; I_{y.т.р.}=62,5 \text{ А}; I_{y.e.p.}=350 \text{ А}; I_{ном.в.а}= 15 \text{ кА}$$

Каталожні і розрахункові дані автомата ВА51-31 занесені до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

Каталожні і розрахункові дані автомата типу ВА51-31

Умови вибору	Каталожні дані автомата	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{ном.а} > U_{ном.м}$	$U_{ном.а}=660\text{В}$	$U_{ном.м}=380\text{В}$
За номінальним струмом автомата $I_{ном.а} > I_{ном.д}$	$I_{ном.а}=100\text{А}$	$I_p=46,5 \text{ А}$
За номінальним струмом теплового розщеплювача $I_{ном.т.р} > I_{ном.д}$	$I_{ном.т.р}=50\text{А}$	$I_p=46,5\text{А}$
За номінальним струмом автомата та його розщеплювачів $I_{ном.а} > I_{ном.р}$	$I_{ном.а}=100\text{А}$	$I_{ном.р}=50\text{А}$
За струмом уставки теплового розщеплювача $I_{y.т.р.} > 1,35I_{ном.д}$	$I_{y.т.р.}=1,25 I_{ном.р}=$ $=1,25 \cdot 50=62,5\text{А}$	$1,25 I_p=1,25 \cdot 46,5=$ $=58,1\text{А}$
За умовою відстрочки від пускових струмів $I_{y.e.p.} > 1,35I_{пуск}$	$I_{y.e.p.}=7 I_{ном.р}=$ $=7 \cdot 50=350\text{А}$	$1,25I_{пуск.}=1,25 \cdot 5 \cdot 46,5=$ $=406,875 \text{ А}$
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{ном.в.а} > I_{п.о}=I_k^{(3)}$	$I_{ном.в.а}=15 \text{ кА}$	$I_{п.о}= I_k^{(3)} =13,2 \text{ кА}$

Розрахунки до інших автоматичних вимикачів проводимо аналогічно і результати зводимо до таблиці 2.12.

Результати вибору автоматів

Розподільна лінія	Тип автомата	$U_{\text{ном.а, В}}$	$I_{\text{ном.а, А}}$	$I_{\text{ном.т.р. А}}$	$I_{\text{у.т.р. А}}$	$I_{\text{у.с.р. А}}$	$I_{\text{ном.в.а кА}}$
До №1	ВА 51-31	660	100	50	62,5	350	15
До №2	ВА 51-31	660	100	50	62,5	350	15
До №3	ВА 51-31	660	100	50	62,5	350	15
До №4	ВА 51-31	660	100	50	62,5	350	15
До №5	ВА 51-31	660	100	50	62,5	350	15
До №6	ВА 51-31	660	100	50	62,5	350	15
До №7	ВА 51-31	660	100	50	62,5	350	15
До №8	ВА 51-31	660	100	50	62,5	350	15
До №9	ВА 51-31	660	100	31,5	39,375	220,5	15
До №10	ВА 51-31	660	100	31,5	39,375	220,5	15
До №11	ВА 51-31	660	100	31,5	39,375	220,5	15
До №12	ВА 51-31	660	100	50	62,5	350	15
До №13	ВА 51-31	660	100	50	62,5	350	15
До №14	ВА 51-31	660	100	100	125	700	15
До №15	ВА 51-31	660	100	100	125	700	15
До №16	ВА 51-31	660	100	100	125	700	15
До №17	ВА 51-31	660	100	100	125	700	15
До №18	ВА 51-31	660	100	100	125	700	15
До №19	ВА 51-31	660	100	100	125	700	15
До №20	ВА 51-31	660	100	100	125	700	15
До №21	ВА 51-31	660	100	100	125	700	15
До №22	ВА 51-31	660	100	40	50	280	15
До №23	ВА 51-31	660	100	40	50	280	15
До №24	ВА 51-31	660	100	40	50	280	15
До №25	ВА 51-31	660	100	40	50	280	15

Результати вибору автоматів

Розподільна лінія	Тип автомата	$U_{\text{ном.а, В}}$	$I_{\text{ном.а, А}}$	$I_{\text{ном.т.р. А}}$	$I_{\text{у.т.р. А}}$	$I_{\text{у.е.р. А}}$	$I_{\text{ном.в.а кА}}$
До №26	ВА 51-31	660	100	20	25	140	15
До №27	ВА 51-31	660	100	20	25	140	15
До №28	ВА 51-31	660	100	31,5	39,375	220,5	15
До №29	ВА 51-31	660	100	31,5	39,375	220,5	15
До №30	ВА 51-31	660	100	31,5	39,375	220,5	15
До №31	ВА 51-31	660	100	31,5	39,375	220,5	15
До №32	ВА 51-33	660	160	125	156,25	875	25
До №33	ВА 51-33	660	160	125	156,25	875	25
До №34	ВА 51-31	660	100	100	125	700	15
До №35	ВА 51-31	660	100	100	125	700	15
До №36	ВА 51-31	660	100	31,5	39,375	220,5	15
До №37	ВА 51-31	660	100	20	25	140	15
До №38	ВА 51-31	660	100	20	25	140	15
До №39	ВА 51-31	660	100	20	25	140	15
До №40	ВА 51-31	660	100	25	31,25	175	15
До №41	ВА 51-31	660	100	25	31,25	175	15
До №42	ВА 51-31	660	100	25	31,25	175	15
До №43	ВА 51-31	660	100	25	31,25	175	15
До №44	ВА 51-31	660	100	25	31,25	175	15

2.6 Розрахунок захисного заземлення заводської трансформаторної підстанції

Розрахунок захисного заземлюючого пристрою являє собою визначення опору розтікання струму штучних заземлювачів які не перевищують значення нормованого опору та залежить від конструкції заземлювача та провідності ґрунту. Для внутрішньо цехової КТП встановлюють пристрій заземлення, із зовнішнього боку.

Розташовують за контуром цеху заземлювачі зі сталі, з діаметром $d = 18$ мм та довжиною $l_B = 5$ м та відстанню між ними $a = 5$ м. Вертикальні заземлювачі верхніми кінцями занурені в землю на глибину $t_l = 0,7$ та приварені до горизонтального заземлювача із сталеві смуги довжиною $l = 4$ м та шириною $b = 40$ мм.

Якщо пристрій заземлення використовується для електроустановок напругою 10 кВ та напругою до 1 кВ, то опір заземлюючого пристрою визначається за формулою (2.36) і він має не перевищувати 4 Ом:

$$R = \frac{U_3}{I_3} \quad (2.36)$$

де, $U_3 = 10$ кВ якщо, пристрій заземлення використовується для електроустановок різних напруг, $I_3 = 70$ А – розрахунковий струм на землю.

Якщо підставити:

$$R = \frac{10}{70} = 0,14 \text{ Ом.}$$

З даного прикладу можна побачити що умова виконалась, тому опір для заземлення приймається найменшим. Для напруги 380/220 В опір становитиме R_3 менше 4 Ом.

Для розрахунку питомого опору ґрунту, де встановлюється заземлення використовують формули для вологого (2.37) та сухого (2.38) району:

$$\rho = K_B \cdot \rho; \quad (2.37)$$

$$\rho = K_r \cdot \rho \quad (2.38)$$

де, $K_B=1,3$, $K_r=2,5$, $\rho=20$ Ом·м – опір для чорнозема [1, ст. 265, табл. P1].

Підставивши:

$$\rho = 1,3 \cdot 20 = 26 \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

$$\rho = 2,5 \cdot 20 = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Для визначення опору розтікання одного вертикального електрода використовують формулу (2.39) [1, ст. 266, табл. P3]:

$$R_{з.в.} = \frac{0,366\rho_{p.з.}}{l_B} \cdot \left(\lg \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t_B + l_B}{4t_B - l_B} \right) \quad (2.39)$$

де, $d = 18$ мм – діаметр, $l_B = 5$ м – довжина, $t_B=0,7$ – глибина занурення в землю.

Тоді:

$$R_{з.в.} = \frac{0,366 \cdot 130}{5} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{18 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 27,82 \text{ Ом}.$$

Попередньо вибравши кількість електродів у контурі $n=10$ шт. та відношення $a/l_B=2$, вибирається коефіцієнт використання горизонтальної смуги $K_{в.з.е.}=0,71$ [1, ст. 267, табл. P4].

За формулою (2.40) визначається к-сть вертикальних заземлювачів:

$$n = \frac{R_{з.в.}}{K_{в.з.е.} \cdot R_{з.норм}} \quad (2.40)$$

Тоді:

$$n = \frac{27,82}{0,71 \cdot 4} = 9,8 \text{ шт.}$$

Заокруглюємо до більшого і приймаємо $n=10$ шт. вертикальних заземлювачів.

Для визначення опору розтікання горизонтального заземлювача використовують формулу (2.41) [1, ст. 266, табл. P3]:

$$R_{з.г.} = \frac{0,366 \cdot \rho_{p.з.}}{l_r} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_r^2}{b t_r} \quad (2.41)$$

де, h – висота, b – ширина.

$$R_{з.з.} = \frac{0,366 \cdot 50}{5 \cdot 10} \cdot \lg \frac{2 \cdot (5 \cdot 10)^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 5,41 \text{ Ом.}$$

Попередньо вибравши $n=10$ шт. вертикальних заземлювачів в контурі та відношення $a/l_B=2$, вибирається коефіцієнт використання горизонтальної смуги $K_{в.з.е.}=0,4$ [1, ст. 267, табл. P5].

Тоді за формулою (2.42) визначаємо опір горизонтального заземлювача:

$$R_{з.з.} = \frac{R_{з.з.}}{K_{в.з.е.}} \quad (2.42)$$

$$R_{з.з.} = \frac{5,41}{0,4} = 13,53 \text{ Ом.}$$

Опір вертикальних електродів з урахування горизонтальної смуги вираховується за формулою (2.43):

$$R_{з.в.е.} = \frac{R_{з.з.} R_{з.норм.}}{R_{з.з.} - R_{з.норм.}} \quad (2.43)$$

$$R_{з.в.е.} = \frac{13,53 \cdot 4}{13,53 - 4} = 5,68 \text{ Ом}$$

За формулою (2.44) визначається уточнена к-сть вертикальних електродів:

$$n_{у.} = \frac{R_{з.в.}}{K_{в.в.е.} R_{з.в.е.}} \quad (2.44)$$

$$n_{у.} = \frac{27,82}{0,4 \cdot 5,68} = 12,5 \text{ шт.}$$

Остаточно приймається 13 вертикальних електродів.

До даного заземлюючого контра цеху через заземлюючі провідники у виді сталеної катанки $\varnothing 6$ мм заземляється все технологічне і електротехнічне обладнання цеху, яке забезпечує при пошкодженні ізоляції в обладнанні до відключення його від мережі плавкою вставкою запобіжника або автоматичним вимикачем за рахунок великих однофазних струмів КЗ.

2.7 Висновки по загальній частині

При виконанні дипломної роботи було розроблено систему електропостачання, в якій забезпечена якість електроенергії та надійна і безпечна робота електроустановок.

В результаті проектування системи електропостачання було визначені розрахункові навантаження, впроваджена радіальна схема електропостачання, яка забезпечує високу надійність, розроблена система електроосвітлення, вибрана кількість і потужність трансформаторів з урахуванням оптимального коефіцієнта їх завантаження і категорії живлення електроприймачів, підібрано найбільш надійний варіант перетину проводів та кабелів живильних і розподільних ліній. Зроблен розрахунок струмів короткого замикання. Визначена потужність компенсуючих пристроїв. Зроблен розрахунок оптимальної кількості та опір заземлюючих пристроїв, здійснено підбір та перевірку для захисної апаратури яка захищає ЕП.

Дана система електропостачання має мінімальні витрати, електробезпеку та високу надійність. На далі дану систему електропостачання можна впровадити в цех точного лиття.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ

ДЖЕРЕЛ

1. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. / Рудницький В.Г. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. – 280 с.
2. ГОСТ 28249-93 Короткі замикання в електроустановках. Методи розрахунку в електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ.
3. СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011 Визначення технологічних втрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Методика. / Затв. наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 22.09.2011 2013 № 532. – К.: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2011. – 56 с.
4. Патент на винахід 82111 (UA), МПК (2006) H02H 3/16 Спосіб захисту людини від ураження електричним струмом в мережі з ізольованою нейтраллю / К.М. Маренич, С.В. Василець. а 2006 00387. Заявл. 16.01.2006. Опубл. 11.03.2008. Бюл. №5
5. Михайлів М.І. Розрахунок електричних навантажень. Навчальний посібник. / Михайлів М.І., Соломчак О.В., Гоголюк П.Ф. - Івано-Франківськ : Факел, 2003. - 150 с.
6. Василега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. / Василега П.О. - Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. - 415 с.
7. ДСТУ 3582-97. Інформація та документація. Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі. Загальні вимоги та правила.
8. Методичні рекомендації по виконанню курсової роботи з дисципліни «Електропостачання промислових підприємств»- Житомир: ЖВІРЕ, 2007-25с.
9. Довідник з електропостачання промислових підприємств: проектування і розрахунок /а.с. Овчаренко та ін. - Київ: Техніка, 1985.- 185с.
10. Шаповалов і. Ф. "Довідник з розрахунку електричних мереж", Київ, "Будівельник" , 1974 р.