

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра комп'ютеризованих
електротехнічних систем та технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ (БАКАЛАВРСЬКОЇ) РОБОТИ
НА ТЕМУ

**Система електропостачальних підприємств по виробництву
спеціального технологічного обладнання зі встановленою потужністю
950 кВт**

Виконала: студентка групи ЕЕ-415
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Соломчак Яна Михайлівна

Керівник: Квасніков В.П.

Київ - 2023

РЕФЕРАТ

«Система електропостачальних підприємств по виробництву спеціального технологічного обладнання зі встановленою потужністю 950 кВт»

Пояснювальна записка:

76 сторінка, 21 рисунків, 18 таблиць, 16 посилань

В проекті побудована система електропостачання підприємств по виробництву спеціального технологічного обладнання зі встановленою потужністю 950 кВт.

В одній із частин створено мікропроцесорний пристрій захисту кабельного приєднання низьковольтної електромережі:

- створено алгоритм працездатності пристрою релейного захисту
- внесено структуру пристрою
- розроблена електрична схема
- проведено заходи щодо безпечної експлуатації пристрою захисту.

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, ПРИСТРІЙ, МЕРЕЖА, ТРАНСФОРМАТОР,
ЗАМИКАННЯ, РЕЛЕ, МІКРОПРОЦЕСОР

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Характеристика підприємств по виробництву. Вибір спеціального технологічного обладнання.....	10
1.2 Розрахунок силового навантаження на першому рівні електропостачання.....	14
1.3 Розрахунок силового навантаження на другому рівні електропостачання.....	17
1.4 Розрахунок силового навантаження на третьому рівні електропостачання.....	17
1.5 Розрахунок освітлювальних навантажень.....	24
1.6 Визначення сумарних навантажень підприємств.....	24
1.7 Вибір кількості та потужності трансформаторів підстанції.....	26
1.8 Компенсація реактивних навантажень	27
1.9 Вибір перерізу провідників мережі напругою до 1 кВ	29
1.10 Вибір перерізу провідників розподільчої мережі напругою до 1 кВ.....	30
1.11 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ.....	33
1.12 Вибір електричних апаратів в мережі напругою до 1 кВ	35
1.13 Вибір силових шаф низької напруги трансформаторної підстанції.....	38
1.13.1 Вибір розподільних силових шаф цехової мережі.....	38
1.13.2 Перевірка автоматичних вимикачів.....	39
1.13.3 Охорона праці.....	40
1.14 Техніко-економічне обґрунтування ефективності прийнятих технічних рішень.....	44
1.15 Визначення кошторисної вартості елементів системи електропостачання.....	47
1.15.1 Планування електропостачання цеху.....	47
1.15.2 Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію обладнання.....	48

1.15.3 Техніко-економічні показники системи електропостачання.....	5 0
1.16 Висновки	5 3
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. РОЗРОБЛЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ ЗАХИСТУ КАБЕЛЬНОГО ПРИЄДНАННЯ НИЗЬКОВОЛЬТНОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ.....	5 4
2.1 Актуальність питання та його зв'язок з прикладними задачами.....	5 4
2.2 Критичний аналіз стану питання.....	5 6
2.3 Мета спеціальної частини.....	6 0
2.4 Основний матеріал, результати та їх аналіз.....	6 1
2.4.1 Розроблення алгоритму функціонування пристрою РЗ.....	6 1
2.4.2 Обґрунтування структури пристрою РЗ.....	6 6
2.4.3 Проектування принципової електричної схеми.....	6 7
2.4.4 Забезпечення безпечної експлуатації пристрою РЗ.....	7 8
2.5 Висновки по спеціальній частині.....	7 8
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	7 9
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	8 0
ДОДАТОК А. Лист зауважень.....	8 1

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДЖ	– джерело живлення;
ЕМ	– електрична мережа;
ЕП	– електроприймач;
ЕПС	– електропостачальна система;
КЗ	– коротке замикання;
КТП	– комплектна трансформаторна підстанція;
ЛЕП	– лінія електропередачі;
ПР	– пункт розподільчий;
РП	– розподільчий пристрій;
СЕП	– система електропостачання;
ТП	– трансформаторна підстанція;
ЦЕН	– центр електричних навантажень.

ВСТУП

У системах електропостачання промислових підприємств та установок енерго- та ресурсозбереження досягається головним чином зменшенням втрат електроенергії при її передачі та перетворенні, а також застосування менш матеріаломістких та надійніших конструкцій всіх елементів цієї системи. Одним із випробуваних шляхів мінімізації втрат електроенергії є компенсація реактивної потужності споживачів за допомогою місцевих джерел реактивної потужності, причому важливе значення має правильний вибір їх типу, потужності, розташування та способу автоматизації.

Головним завданням проектування підприємств є розробка раціонального електропостачання з урахуванням новітніх досягнень науки і техніки на основі техніко-економічного обґрунтування рішень, за яких забезпечується оптимальна надійність постачання споживачів електроенергією у необхідних розмірах, необхідної якості з найменшими витратами. Реалізація цього завдання пов'язана з розглядом низки питань, що виникають в різних етапах проектування. При техніко-економічному порівнянні варіантів електропостачання основними критеріями вибору технічного рішення є його економічна доцільність. Вирішальними факторами повинні бути: вартісні показники, а саме наведені витрати, що враховують одноразові капітальні вкладення та розрахункові щорічні витрати виробництва.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

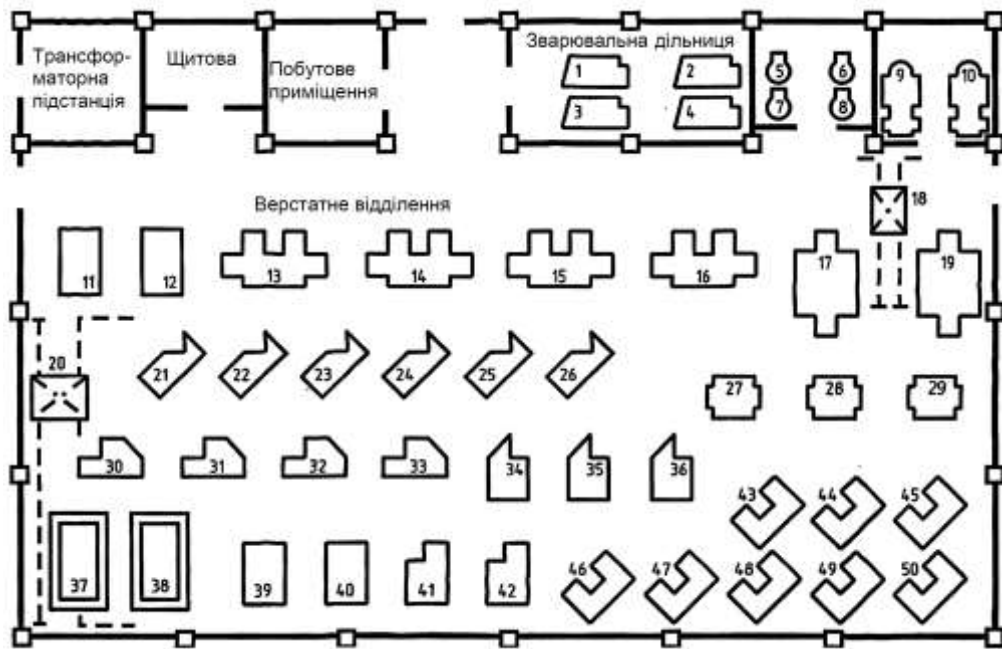
Система електропостачальних підприємств по виробництву спеціального технологічного обладнання зі встановленою потужністю 950 кВт

1.1 Характеристика підприємств по виробництву. Вибір спеціального технологічного обладнання.

Розміри проєктованого підприємства $A \times B \times H = 48 \times 24 \times 10$ м.

Параметри СЕП підприємства виробництва спеціального обладнання:

напруга живлення цехової підстанції, кВ.....	10
категорія споживачів за надійністю електропостачання.....	II
час використання найбільшого навантаження $T_{НБ}$, год.....	3200
фактична температура навколишнього середовища $T_{сер}$, °C.....	24
струм трифазного КЗ з боку ВН ЦТП $I_{кз}$, кА.....	10,7
кількість змін.....	2
кількість робочих годин на тиждень для однієї зміни.....	38



План підприємства з виробництва спеціального обладнання

ЕП підприємства з виробництва спеціального обладнання:

Поз.	Назва електроприймача	$P_{нi}$, кВт	$\cos\varphi$	k_3	k_5
1...4	Апарат для зварювання	50,0	0,9	0,8	0,65
5...8	Вентилятор радіальний ВР 287-46 №4,5	4,5	0,8	0,65	0,8
9, 10	Компресор гвинтовий <i>CECCATO CSC 50/10M</i>	50,0	0,84	0,7	0,45
11, 12, 39, 40	Верстат розточувальний <i>Pro S2800</i>	2,8	0,87	0,9	0,3
13...16	Верстат горизонтально-розточувальний <i>FFG Feeler SHM</i>	18,0	0,88	0,75	0,52
17, 19	Верстат поздовжньо-стругальний С7233	40,0	0,85	0,5	0,3
18	Кран-балка м/п 3,2 т	10,0	0,78	0,72	0,57
20	Кран мостовий КМЭ-15+3т/12м	55,0	0,6	0,65	0,25
21...26	Верстат горизонтально-розточувальний 2А622Ф4	14,0	0,74	0,63	0,47
27...29	Верстат поперечно-стругальний 7Б35	7,5	0,68	0,55	0,61
30...33	Верстат радіально-свердильний 2Н55	5,0	0,73	0,92	0,63
34...36	Верстат свердильний <i>AL-FA ALDP40</i>	4,0	0,62	0,96	0,32
37, 38	Шафа сушильна <i>Ecocell 707-Standard</i>	45,0	1,0	0,82	0,69
41, 42	Верстат заточувальний 3Е642	2,5	0,66	0,44	0,51
43...50	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	8,5	0,67	0,49	0,42
Встановлена потужність		847,7			

ЕП при напрузі 0,38 кВ.

Координати ЦЕН:

$$X_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{нi} x_i}{\sum_{i=1}^n P_{нi}}, \quad Y_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{нi} y_i}{\sum_{i=1}^n P_{нi}}, \quad (1.1)$$

де $P_{нi}$ – потужність i -го ЕП, x_i, y_i – координати i -го ЕП.

Координати ЦЕН підприємства з виробництва спеціального обладнання є у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Координати ЦЕН

Поз. позн.	Найменування ЕП	P_n , кВт	x_i	y_i
1	2	3	4	5
1	Апарат для зварювання	100	576	412
2	Апарат для зварювання	100	618	412
3	Вентилятор радіальний ВР 287-46 №4,5	9	705	424
4	Вентилятор радіальний ВР 287-46 №4,5	4,5	370	200
5	Вентилятор радіальний ВР 287-46 №4,5	4,5	405	200
6	Компресор гвинтовий СЕССАТО CSC 50/10М	50	430	200
7	Компресор гвинтовий СЕССАТО CSC 50/10М	50	463	200
8	Верстат розточувальний Pro S2800	5,6	96	290
10	Верстат горизонтально-розточувальний FFG Feeler SHM	36	492	290
11	Верстат горизонтально-розточувальний FFG Feeler SHM	18	330	145
12	Верстат поздовжньо-стругальний С7233	40	405	145
13	Кран-балка м/п 3,2 т	10	430	145
14	Верстат поздовжньо-стругальний С7233	40	455	145
15	Кран мостовий КМЭ-15+3т/12м	55	31	96

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5
16	Верстат горизонтально-розточувальний 2А622Ф4	28	168	192
17	Верстат горизонтально-розточувальний 2А622Ф4	28	363	192

18	Верстат поперечно-стругальний 7Б35	22,5	363	96
19	Верстат радіально-свердлильний 2Н55	5	31	77
20	Верстат радіально-свердлильний 2Н55	5	204	77
21	Верстат свердлильний AL-FA ALDP40	4	145	77
22	Верстат свердлильний AL-FA ALDP40	4	288	77
23	Верстат свердлильний AL-FA ALDP40	4	330	77
24	Шафа сушильна Ecocell 707-Standard	90	96	40
25	Верстат розточувальний Pro S2800	2,8	119	20
26	Верстат заточувальний 3E642	2,5	145	20
27	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	8,5	455	20
Координати ЦЕН		950	$x=27,427$	$Y_{\text{ц}}=13,1$

Координати ЦЕН:

$$X_{\text{ц}} = \frac{230269}{847} = 27,427$$

$$Y_{\text{ц}} = \frac{111137}{84,7} = 13,1$$

Встановимо ТП в спеціально відведеному приміщенні, а не в ЦЕН підприємства.

1.2 Розрахунок силового навантаження на першому рівні електропостачання

Навантаження P_p, q_p, S_p :

$$P_p = k_z \cdot P_H, \quad q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad S_p = \sqrt{P_p^2 + q_p^2}, \quad (1.2)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi)), \quad (1.3)$$

де $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Струм I_p :

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (1.4)$$

Значення усіх ЕП підприємства з виробництва спеціального обладнання є у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Навантаження підприємства вироблення спеціального обладнання

Поз. поз.	Найменування ЕП	P_H , кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_p , кВт	q_p , кВАр	S_p , кВА	I_p , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Апарат для зварювання	50	0,9	0,48	40	19,37	44,44	67,53
2	Апарат для зварювання	50	0,9	0,48	40	19,37	44,44	67,53
3	Вентилятор радіальний ВР 287-46 №4,5	9	1,6	1,40	5,86	2,38	4,32	6,12
4	Вентилятор радіальний ВР 287-46 №4,5	4,5	0,8	0,75	2,93	2,19	3,66	5,56
5	Вентилятор радіальний ВР 287-46 №4,5	4,5	0,8	0,75	2,93	2,19	3,66	5,56
6	Компресор гвинтовий СЕССАТО CSC 50/10М	50	0,84	0,65	35	22,61	41,67	63,31

7	Компресор гвинтовий CECCATO CSC 50/10M	50	0,84	0,65	35	22,61	41,67	63,31
8	Верстат розточувальний Pro S2800	2,8	0,87	0,57	2,52	1,43	2,90	4,4
9	Верстат горизонтально- розточувальний FFG Feeler SHM	18	0,88	0,54	13,5	7,29	15,34	23,31
10	Верстат горизонтально- розточувальний FFG Feeler SHM	18	0,88	0,54	13,5	7,29	15,34	23,31
11	Верстат поздовжньо- стругальний C7233	40	0,85	0,62	20	12,39	23,53	35,75
12	Кран-балка м/п 3,2 т	10	0,78	0,8	7,2	5,78	9,23	14,02
13	Верстат поздовжньо- стругальний C7233	40	0,85	0,62	20	12,39	23,53	35,75

Продовження табл. 1.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	Кран мостовий КМЭ- 15+3т/12м	55	0,6	1,33	35,75	47,67	59,58	90,53
15	Верстат горизонтально- розточувальний 2A622Ф4	14	0,74	0,91	8,82	8,02	11,92	18,11
16	Верстат горизонтально- розточувальний 2A622Ф4	14	0,74	0,91	8,82	8,02	11,92	18,11
17	Верстат горизонтально- розточувальний 2A622Ф4	14	0,74	0,91	8,82	8,02	11,92	18,11
18	Верстат горизонтально- розточувальний 2A622Ф4	14	0,74	0,91	8,82	8,02	11,92	18,11
19	Верстат горизонтально- розточувальний 2A622Ф4	14	0,74	0,91	8,82	8,02	11,92	18,11
20	Верстат горизонтально- розточувальний 2A622Ф4	14	0,74	0,91	8,82	8,02	11,92	18,11
21	Верстат поперечно- стругальний 7Б35	7,5	0,68	1,08	4,13	4,45	6,07	9,22
22	Верстат поперечно- стругальний 7Б35	7,5	0,68	1,08	4,13	4,45	6,07	9,22
23	Верстат поперечно- стругальний 7Б35	7,5	0,68	1,08	4,13	4,45	6,07	9,22
24	Верстат радіально- свердильний 2Н55	5	0,73	0,94	4,6	4,31	6,3	9,57
25	Верстат радіально- свердильний 2Н55	5	0,73	0,94	4,6	4,31	6,3	9,57
26	Верстат радіально- свердильний 2Н55	5	0,73	0,94	4,6	4,31	6,3	9,57
27	Верстат радіально- свердильний 2Н55	5	0,73	0,94	4,6	4,31	6,3	9,57
28	Верстат свердильний AL- FA ALDP40	4	0,62	1,27	3,84	4,86	6,19	9,41

29	Верстат свердлильний AL-FA ALDP40	4	0,62	1,27	3,84	4,86	6,19	9,41
30	Верстат свердлильний AL-FA ALDP40	4	0,62	1,27	3,84	4,86	6,19	9,41
31	Шафа сушильна Ecosell 707-Standard	45	1	0	36,9	0	36,9	56,06
32	Шафа сушильна Ecosell 707-Standard	45	1	0	36,9	0	36,9	56,06
33	Верстат розточувальний Pro S2800	2,8	0,87	0,57	2,52	1,43	2,9	4,4
34	Верстат розточувальний Pro S2800	2,8	0,87	0,57	2,52	1,43	2,9	4,4
35	Верстат заточувальний 3E642	2,5	0,66	1,14	1,1	1,25	1,67	2,53
36	Верстат заточувальний 3E642	2,5	0,66	1,14	1,1	1,25	1,67	2,53

Продовження табл. 1.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
37	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	8,5	0,67	1,11	4,17	4,61	6,22	9,44
38	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	8,5	0,67	1,11	4,17	4,61	6,22	9,44
39	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	8,5	0,67	1,11	4,17	4,61	6,22	9,44
40	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	8,5	0,67	1,11	4,17	4,61	6,22	9,44
41	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	8,5	0,67	1,11	4,17	4,61	6,22	9,44
42	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	8,5	0,67	1,11	4,17	4,61	6,22	9,44
43	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	8,5	0,67	1,11	4,17	4,61	6,22	9,44
44	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	8,5	0,67	1,11	4,17	4,61	6,22	9,44
Всього		950	0,82	0,64	593,27	377,25	724,92	1101,4

1.3 Розрахунок силового навантаження на другому рівні електропостачання

Потужність $P_{\text{н}}$ ЕП:

$$P_{\text{н}} = n \cdot p_{\text{н}}, \quad (1.5)$$

Коефіцієнт використання:

$$k_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\text{в}i} \cdot p_{\text{н}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{н}i}}, \quad (1.6)$$

де $\sum_{i=1}^n P_{\text{н}i}$ – потужність ЕП в групі.

Ефективна кількість ЕП:

$$n_{\text{еф}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{\text{н}i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n n_i \cdot p_{\text{н}i}^2}. \quad (1.7)$$

Потужність $P_{\text{р}}$ ПРЕ:

$$P_{\text{р}} = k_{\text{р}} \cdot \sum_{i=1}^n k_{\text{в}i} \cdot p_{\text{н}i}. \quad (1.8)$$

Потужність $Q_{\text{р}}$ ПРЕ:

– як $n_{\text{еф}} \leq 10$, то:

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n k_{\text{вi}} \cdot P_{\text{вi}} \cdot \text{tg}\varphi_i, \quad (1.9)$$

– як $n_{\text{еф}} > 10$, то:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n k_{\text{вi}} \cdot P_{\text{вi}} \cdot \text{tg}\varphi_i. \quad (1.10)$$

Потужність S_p :

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

$\cos\varphi$ та $\text{tg}\varphi$ для ПРЕ підприємства з виробництва спеціального обладнання

$$\cos\varphi = \frac{P_p}{S_p}, \quad \text{tg}\varphi = \frac{Q_p}{P_p}. \quad (1.12)$$

Струм I_p ПРЕ:

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

де $U_n = 0,38 \text{ кВ}$.

Навантаження підприємства з виробництва спеціального обладнання у
табл. 1.3.

Таблиця 1.3 Навантаження підприємства з виробництва
спеціального обладнання

Поз. по з.	Найменування ЕП	n , шт.	P_H , кВт	Заг. P_H , кВт	k_B	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_{3M} , кВт	Q_{3M} , кВАр	$n \cdot P_H$	n	k_p	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	I_p , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	14	15	16	17
43	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	1	8,5	8,5	0,42	0,67	1,11	3,57	3,96	72	-	-	-	-	-	-
44	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	1	8,5	8,5	0,42	0,67	1,11	3,57	3,96	72	-	-	-	-	-	-
45	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	1	8,5	8,5	0,42	0,67	1,11	3,57	3,96	72	-	-	-	-	-	-
46	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	1	8,5	8,5	0,42	0,67	1,11	3,57	3,96	72	-	-	-	-	-	-
47	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	1	8,5	8,5	0,42	0,67	1,11	3,57	3,96	72	-	-	-	-	-	-
48	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	1	8,5	8,5	0,42	0,67	1,11	3,57	3,96	72	-	-	-	-	-	-
49	Верстат	1	8,	8,5	0,	0,6	1,	3,5	3,9	72	-	-	-	-	-	-

	токарний з ЧПУ 1У340Ф30		5		42	7	11	7	6							
50	Верстат токарний з ЧПУ 1У340Ф30	1	8,5	8,5	0,42	0,67	1,11	3,57	3,96	72	-	-	-	-	-	-
Всього по ПРЕ1		8	-	68	0,42	0,67	1,11	28,56	31,64	578	8	1,1	31,42	34,81	46,89	71,24
11	Верстат розточувальний Pro S2800	1	2,8	2,8	0,3	0,87	0,57	0,84	0,48	8	-	-	-	-	-	-
12	Верстат розточувальний Pro S2800	1	2,8	2,8	0,3	0,87	0,57	0,84	0,48	8	-	-	-	-	-	-
13	Верстат горизонтально-розточувальний FFG Feeler SHM	1	18	18	0,52	0,88	0,54	9,36	5,05	324	-	-	-	-	-	-
20	Кран мостовий КМЭ-15+3т/12м	1	55	55	0,25	0,6	1,33	13,75	18,33	3025	-	-	-	-	-	-
21	Верстат горизонтально-розточувальний 2А622Ф4	1	14	14	0,47	0,74	0,91	6,58	5,98	196	-	-	-	-	-	-
22	Верстат горизонтально-розточувальний 2А622Ф4	1	14	14	0,47	0,74	0,91	6,58	5,98	196	-	-	-	-	-	-
30	Верстат радіальний свердильний 2Н55	1	5	5	0,63	0,73	0,94	3,15	2,95	25	-	-	-	-	-	-
31	Верстат радіальний	1	5	5	0,63	0,73	0,94	3,15	2,95	25	-	-	-	-	-	-

	свердильный 2H55															
37	Шафа сушильна Ecocell 707-Standard	1	45	0,69	1	0	31,05	0	2025	-	-	-	-	-	-	
38	Шафа сушильна Ecocell 707-Standard	1	45	0,69	1	0	31,05	0	2025	-	-	-	-	-	-	
39	Верстат розточувальний Pro S2800	1	2,8	0,3	0,87	0,57	0,84	0,48	8	-	-	-	-	-	-	
40	Верстат розточувальний Pro S2800	1	2,8	0,3	0,87	0,57	0,84	0,48	8	-	-	-	-	-	-	
Всього по ПРЕ2		12	-	21,22	0,51	0,93	0,4	108,03	43,15	7872	5	1,15	124,23	47,46	132,99	202,06

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
14	Верстат горизонтально-розточувальний FFG Feeler SHM	1	18	18	0,52	0,88	0,54	9,36	5,05	324	-	-	-	-	-	-
15	Верстат горизонтально-розточувальний FFG Feeler SHM	1	18	18	0,52	0,88	0,54	9,36	5,05	324	-	-	-	-	-	-

23	Верстат горизонтально-розточувальний 2А622Ф4	1	14	14	0,47	0,74	0,91	6,58	5,98	196	-	-	-	-	-	-
24	Верстат горизонтально-розточувальний 2А622Ф4	1	14	14	0,47	0,74	0,91	6,58	5,98	196	-	-	-	-	-	-
25	Верстат горизонтально-розточувальний 2А622Ф4	1	14	14	0,47	0,74	0,91	6,58	5,98	196	-	-	-	-	-	-
26	Верстат горизонтально-розточувальний 2А622Ф4	1	14	14	0,47	0,74	0,91	6,58	5,98	196	-	-	-	-	-	-
32	Верстат радіально-свердильний 2Н55	1	5	5	0,63	0,73	0,94	3,15	2,95	25	-	-	-	-	-	-
33	Верстат радіально-свердильний 2Н55	1	5	5	0,63	0,73	0,94	3,15	2,95	25	-	-	-	-	-	-
34	Верстат свердильний AL-FA ALDP40	1	4	4	0,32	0,62	1,27	1,28	1,62	16	-	-	-	-	-	-
41	Верстат заточувальний 3Е642	1	2,5	2,5	0,51	0,66	1,14	1,28	1,45	6	-	-	-	-	-	-
42	Верстат заточувальний 3Е642	1	2,5	2,5	0,51	0,66	1,14	1,28	1,45	6	-	-	-	-	-	-
Всього по ПРЕЗ		11	-	111	0,5	0,78	0,81	55,17	44,45	1511	8	1,08	59,58	48,89	77,08	117,1

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
16	Верстат горизонтально-розточувальний FFG Feeler SHM	1	18	0,52	0,88	0,54	9,36	5,05	324	-	-	-	-	-	-	-
17	Верстат поздовжньо-стругальний С7233	1	40	0,3	0,85	0,62	12	7,44	1600	-	-	-	-	-	-	-
19	Верстат поздовжньо-стругальний С7233	1	40	0,3	0,85	0,62	12	7,44	1600	-	-	-	-	-	-	-
27	Верстат поперечно-стругальний 7Б35	1	7,5	7,5	0,61	0,68	1,08	4,58	4,93	56	-	-	-	-	-	-
28	Верстат поперечно-стругальний 7Б35	1	7,5	7,5	0,61	0,68	1,08	4,58	4,93	56	-	-	-	-	-	-
29	Верстат поперечно-стругальний 7Б35	1	7,5	7,5	0,61	0,68	1,08	4,58	4,93	56	-	-	-	-	-	-
35	Верстат свердлильний ALFA ALDP40	1	4	4	0,32	0,62	1,27	1,28	1,62	16	-	-	-	-	-	-
36	Верстат свердлильний ALFA ALDP40	1	4	4	0,32	0,62	1,27	1,28	1,62	16	-	-	-	-	-	-
Всього по ПРЕ4		8	-	128,5	0,39	0,79	0,76	49,65	37,96	3725	4,43	1,27	63,05	41,76	75,63	114,9

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Апарат для зварювання	1	50	50	0,65	0,9	0,48	32,5	15,74	2500	-	-	-	-	-	-
2	Апарат для зварювання	1	50	50	0,65	0,9	0,48	32,5	15,74	2500	-	-	-	-	-	-
3	Апарат для зварювання	1	50	50	0,65	0,9	0,48	32,5	15,74	2500	-	-	-	-	-	-
4	Апарат для зварювання	1	50	50	0,65	0,9	0,48	32,5	15,74	2500	-	-	-	-	-	-
5	Вентильотор радіальний ВР 287-46 №4,5	1	4,5	4,5	0,8	0,8	0,75	3,6	2,7	20	-	-	-	-	-	-
6	Вентильотор радіальний ВР 287-46 №4,5	1	4,5	4,5	0,8	0,8	0,75	3,6	2,7	20	-	-	-	-	-	-
7	Вентильотор радіальний ВР 287-46 №4,5	1	4,5	4,5	0,8	0,8	0,75	3,6	2,7	20	-	-	-	-	-	-
8	Вентильотор радіальний ВР 287-46 №4,5	1	4,5	4,5	0,8	0,8	0,75	3,6	2,7	20	-	-	-	-	-	-

9	Компресор гвинтовий СЕСС АТО CSC 50/10 М	1	50	0,45	0,84	0,65	22,5	14,53	2500	-	-	-	-	-	-
10	Компресор гвинтовий СЕСС АТО CSC 50/10 М	1	50	0,45	0,84	0,65	22,5	14,53	2500	-	-	-	-	-	-
18	Кран-балка м/п 3,2 т	1	10	0,57	0,78	0,8	5,7	4,57	100	-	-	-	-	-	-
Всього по ПРЕ5		11	328	0,59	0,88	0,55	195,1	107,4	15181	7	1,05	204,86	118,14	236,48	359,3
Третій рівень		50	847,7	0,51	0,86	0,61	436,51	264,61	28867	24	1	436,51	264,61	510,44	775,54
Робоче освітлення		-	16,59	-	0,95	0,33	-	-	-	-	-	15,76	5,18	16,59	25,2
Аварійне освітлення		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,58	0,52	-	-
Освітлення території		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,58	0,52	-	-
Разом на підприємстві		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	455,42	270,82	529,86	805,04

1.4 Розрахунок силового навантаження на третьому рівні електропостачання

Ефективне значення $n_{\text{еф}}$:

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{нi}}}{P_{\text{н.мах}}}, \quad (1.14)$$

де $P_{н.мах}$ – потужність максимального ЕП.

Потужність Q_p для цеху вироблення нестандартного обладнання:

$$Q_p = k_p \cdot \sum_{i=1}^n k_{вi} \cdot P_{нi} \cdot \text{tg}\varphi_i, \quad (1.15)$$

1.5 Розрахунок освітлювальних навантажень

Значення потужності $P_{вст. о}$:

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

де $k_{ПРА} = 12$; $\rho_{н.о} = 1 \text{ Вт}^2/\text{м}$; F – площа цеху, м^2 .

Параметри підприємства з виробництва спеціального обладнання:
48x24м.

Навантаження для освітлення $P_{р. о}$, $Q_{р. о}$, $S_{р. о}$:

$$P_{р.о} = k_{п.о} \cdot P_{вст.о}, \quad Q_{р.о} = P_{р.о} \cdot \text{tg}\varphi, \quad S_{р.о} = \sqrt{P_{р.о}^2 + Q_{р.о}^2}, \quad (1.17)$$

де $k_{п.о} = 0.95$; $\text{tg}\varphi = 0.33$.

Струм $I_{р. о}$:

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

Навантаження $P_{p.a.o}$, $Q_{p.a.o}$:

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

Навантаження $P_{p.t.o}$, $Q_{p.t.o}$:

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

Навантаження освітлення підприємства з виробництва спеціального обладнання в табл. 1.3.

1.6 Визначення сумарних навантажень підприємства

Загальні навантаження $P_{p\Sigma}$, $Q_{p\Sigma}$:

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

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

де P_p, Q_p – розрахункові навантаження цеху підприємства з виробництва спеціального обладнання

Навантаження $S_{p\Sigma}$:

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

Струм $I_{p\Sigma}$ із формули (1.13):

1.7 Вибір кількості та потужності трансформаторів підстанції

Густина потужності $S_{птг}$:

$$S_{птг} = \frac{S_{p\Sigma}}{F}. \quad (1.24)$$

Потужність трансформатора $S_{\text{н.т.р}}$:

$$S_{\text{н.т.р}} = \frac{S_{\text{p}\Sigma}}{N \cdot k_3}, \quad (1.25)$$

де: $k_3 = 0,708$.

При умові: $S_{\text{н}} \geq S_{\text{н.т.р}}$, потужність трансформатора складе 400 кВА.

Перевантаження аварійне:

$$1,4 \cdot S_{\text{н.т.р}} \geq S_{\text{p}\Sigma}. \quad (1.26)$$

Залишаємо ці трансформатори (табл. 1.4) в підстанції.

Таблиця 1.4 – Дані трансформаторів

Тип трансформатора	$S_{\text{н}}$, кВА	Номінальна напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга $\underline{K3}$, %	Струм \underline{XX} , %
		ВН	НН	\underline{XX} P_{xx}	$\underline{K3}$ P_{K3}		
ТМФ-400/10/0,4 У1	400	10	0,4	0,95	5,9	4,5	2,1

Силкові навантаження ЦТП є у табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Силкові навантаження ЦТП

Найменування цеху	$\frac{\cos\varphi}{\text{tg}\varphi}$	Розрахункове навантаження			К-сть/потужність трансформаторів, шт./кВА
		$P_{p\Sigma}$, кВт	$Q_{p\Sigma}$, кВАр	$S_{p\Sigma}$, кВА	
Вироблення нестандартного обладнання	$\frac{0,86}{0,59}$	455,42	270,82	529,86	2/400



Рисунок 1.1 – Фото трансформатора ТМФ-400/10/0,4 У1

1.8 Компенсація реактивних навантажень

Реактивна потужність Q_{maxT} :

$$Q_{\max T} = \sqrt{(N \cdot S_H \cdot k_3)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (1.27)$$

Реактивна потужність $Q_{нк}$:

$$Q_{нк} = Q_{p\Sigma} - Q_{\max T}, \quad (1.28)$$

$Q_{нк} < 0$ компенсації потужності реактивної на НН ПС не треба.

1.9 Вибір перерізу провідників мережі напругою до 1 кВ

Допустимий струм $I'_{\text{доп}}$:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{попр}} \cdot I_{\text{доп}}, \quad (1.29)$$

де $K_{\text{пр}} = 0,92$ – коефіцієнт на кабель; $K_{\text{попр}} = 0,92$; $K_{\text{сер}}$:

$$K_{\text{сер}} = \sqrt{\frac{T_{\text{ж.н}} - T_{\text{сер}}}{T_{\text{ж.н}} - T_{\text{сер.н}}}}, \quad (1.30)$$

де $T_{\text{ж.н}} = 24^{\circ}\text{C}$ – допустима температура кабелю; $T_{\text{сер}} = 24^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{сер.н}} = 23^{\circ}\text{C}$.

$$K_{\text{сер}} = \sqrt{\frac{7024}{7025}} = 1,01$$

Обиратимемо проводи по умові:

$$I'_{\text{доп}} > I_{\text{н}}, \quad (1.31)$$

Фактичні опори $R_{\text{кб}}, X_{\text{кб}}$:

$$R_{\text{кб}} = r_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб}}, \quad X_{\text{кб}} = x_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб}}, \quad (1.32)$$

Втрати за напругою $\Delta U_{\text{кб}}$:

$$\Delta U_{\text{кб}} = \frac{P_{\text{р}} \cdot R_{\text{кб}} + Q_{\text{р}} \cdot X_{\text{кб}}}{10 \cdot U_{\text{н}}^2}, \quad \%, \quad (1.33)$$

де $P_{\text{р}}, Q_{\text{р}}$ – розрахункові навантаження ПРЄ.

Перерізи живлячого кабеля є наявні у табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Перерізи живлячого кабеля

Кабель до ПР Е	I_p , А	P_p , кВт	Q_p , кВ Ар	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	S , мм ²	тип кабелю	$l_{кб}$, км	r_n , Ом/км	x_n , Ом/км	$R_{кб}$, Ом	$X_{кб}$, Ом	$\Delta U_{кб}$, %
ЦТ П – ПР Е1	71,24	31,42	34,81	90	83,63	16	АВВ Г	0,072	1,95	0,0675	0,1404	0,00486	3,17
ЦТ П – ПР Е2	202,06	124,23	47,46	255	236,95	95	АВВ Г	0,011	0,329	0,0602	0,003619	0,0006622	0,33
ЦТ П – ПР Е3	117,1	59,58	48,89	140	130,09	35	АВВ Г	0,022	0,894	0,0637	0,019668	0,0014014	0,86
ЦТ П – ПР Е4	114,9	63,05	41,76	140	130,09	35	АВВ Г	0,035	0,894	0,0637	0,03129	0,0022295	1,43
ЦТ П – ПР Е5	384,5	220,61	123,32	255	217,99	95	АВВ Г	0,042	0,329	0,0602	0,013818	0,0025284	2,33
ЦТ П – ЩО -2	2,52	1,58	0,52	29	26,95	2,5	АВВ Г	0,016	12,5	0,104	0,2	0,001664	0,22
ГП П – ЦТ П	805,04	455,42	270,82	335	270,82	150	АВВ БШВ	0,035	0,208	0,0596	0,00728	0,002086	2,69

1.10 Переріз провідників розподільчої мережі напругою до 1 кВ

Струм на ЕП дорівнює:

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (1.34)$$

де $\eta = 1$.

Допустимий струм $I'_{\text{доп}}$:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}}. \quad (1.35)$$

Згідно виразу беремо кабелі:

$$I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{н}}. \quad (1.36)$$

Перерізи розподільчого кабелю наявні у табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Перерізи розподільчого кабелю

№ обл. на плані	$P_{\text{н}}$, кВт	$I_{\text{н}}$, А	$I_{\text{доп}}$, А	$I'_{\text{доп}}$, А	S , мм ²	Тип кабелю	$l_{\text{кб}}$, км	$r_{\text{п}}$, МОм/м	$x_{\text{п}}$, МОм/м	$R_{\text{кб}}$, Ом	$X_{\text{кб}}$, Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	50	84,41	85	85,85	35	АВВГ	0,019	0,894	0,0637	0,017	0,0012
2	50	84,41	85	85,85	35	АВВГ	0,013	0,894	0,0637	0,0116	0,0008
3	50	84,41	85	85,85	35	АВВГ	0,021	0,894	0,0637	0,0188	0,0013
4	50	84,41	85	85,85	35	АВВГ	0,015	0,894	0,0637	0,0134	0,001
5	4,5	8,55	19	19,19	2,5	АВВГ	0,011	12,5	0,104	0,1375	0,0011
6	4,5	8,55	19	19,19	2,5	АВВГ	0,007	12,5	0,104	0,0875	0,0007
7	4,5	8,55	19	19,19	2,5	АВВГ	0,013	12,5	0,104	0,1625	0,0014
8	4,5	8,55	19	19,19	2,5	АВВГ	0,009	12,5	0,104	0,1125	0,0009
9	50	90,44	120	121,2	50	АВВГ	0,007	0,625	0,0625	0,0044	0,0004
10	50	90,44	120	121,2	50	АВВГ	0,008	0,625	0,0625	0,005	0,0005

Продовження табл. 1.7.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	2,8	4,89	19	19,19	2,5	АВВГ	0,007	12,5	0,104	0,0875	0,0007
12	2,8	4,89	19	19,19	2,5	АВВГ	0,005	12,5	0,104	0,0625	0,0005
13	18	31,08	39	39,39	10	АВВГ	0,009	3,12	0,073	0,0281	0,0007
14	18	31,08	39	39,39	10	АВВГ	0,01	3,12	0,073	0,0312	0,0007

15	18	31,08	39	39,39	10	АВВГ	0,007	3,12	0,073	0,0218	0,0005
16	18	31,08	39	39,39	10	АВВГ	0,006	3,12	0,073	0,0187	0,0004
17	40	71,5	85	85,85	35	АВВГ	0,008	0,894	0,0637	0,0072	0,0005
18	10	19,48	23	23,23	4	АВВГ	0,011	7,81	0,095	0,0859	0,001
19	40	71,5	85	85,85	35	АВВГ	0,014	0,894	0,0637	0,0125	0,0009
20	55	139,27	140	141,4	70	АВВГ	0,012	0,447	0,0612	0,0054	0,0007
21	14	28,74	30	30,3	6	АВВГ	0,012	5,21	0,09	0,0625	0,0011
22	14	28,74	30	30,3	6	АВВГ	0,013	5,21	0,09	0,0677	0,0012
23	14	28,74	30	30,3	6	АВВГ	0,018	5,21	0,09	0,0938	0,0016
24	14	28,74	30	30,3	6	АВВГ	0,02	5,21	0,09	0,1042	0,0018
25	14	28,74	30	30,3	6	АВВГ	0,012	5,21	0,09	0,0625	0,0011
26	14	28,74	30	30,3	6	АВВГ	0,013	5,21	0,09	0,0677	0,0012
27	7,5	16,76	19	19,19	2,5	АВВГ	0,013	12,5	0,104	0,1625	0,0014
28	7,5	16,76	19	19,19	2,5	АВВГ	0,013	12,5	0,104	0,1625	0,0014
29	7,5	16,76	19	19,19	2,5	АВВГ	0,018	12,5	0,104	0,225	0,0019
30	5	10,41	19	19,19	2,5	АВВГ	0,014	12,5	0,104	0,175	0,0015
31	5	10,41	19	19,19	2,5	АВВГ	0,019	12,5	0,104	0,2375	0,002
32	5	10,41	19	19,19	2,5	АВВГ	0,021	12,5	0,104	0,2625	0,0022
33	5	10,41	19	19,19	2,5	АВВГ	0,015	12,5	0,104	0,1875	0,0016
34	4	9,8	19	19,19	2,5	АВВГ	0,016	12,5	0,104	0,2	0,0017
35	4	9,8	19	19,19	2,5	АВВГ	0,022	12,5	0,104	0,275	0,0023
36	4	9,8	19	19,19	2,5	АВВГ	0,018	12,5	0,104	0,225	0,0019
37	45	68,37	70	70,7	25	АВВГ	0,022	1,25	0,0662	0,0275	0,0015
38	45	68,37	70	70,7	25	АВВГ	0,019	1,25	0,0662	0,0238	0,0013
39	2,8	4,89	19	19,19	2,5	АВВГ	0,026	12,5	0,104	0,325	0,0027
40	2,8	4,89	19	19,19	2,5	АВВГ	0,03	12,5	0,104	0,375	0,0031
41	2,5	5,76	19	19,19	2,5	АВВГ	0,02	12,5	0,104	0,25	0,0021
42	2,5	5,76	19	19,19	2,5	АВВГ	0,022	12,5	0,104	0,275	0,0023
43	8,5	19,28	23	23,23	4	АВВГ	0,008	7,81	0,095	0,0625	0,0008
44	8,5	19,28	23	23,23	4	АВВГ	0,008	7,81	0,095	0,0625	0,0008
45	8,5	19,28	23	23,23	4	АВВГ	0,016	7,81	0,095	0,125	0,0015
46	8,5	19,28	23	23,23	4	АВВГ	0,014	7,81	0,095	0,1093	0,0013
47	8,5	19,28	23	23,23	4	АВВГ	0,01	7,81	0,095	0,0781	0,001
48	8,5	19,28	23	23,23	4	АВВГ	0,005	7,81	0,095	0,0391	0,0005
49	8,5	19,28	23	23,23	4	АВВГ	0,004	7,81	0,095	0,0312	0,0004
50	8,5	19,28	23	23,23	4	АВВГ	0,013	7,81	0,095	0,1015	0,0012

1.11 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Розрахункова схема (рис. 1.2) для розрахунку КЗ струмів.

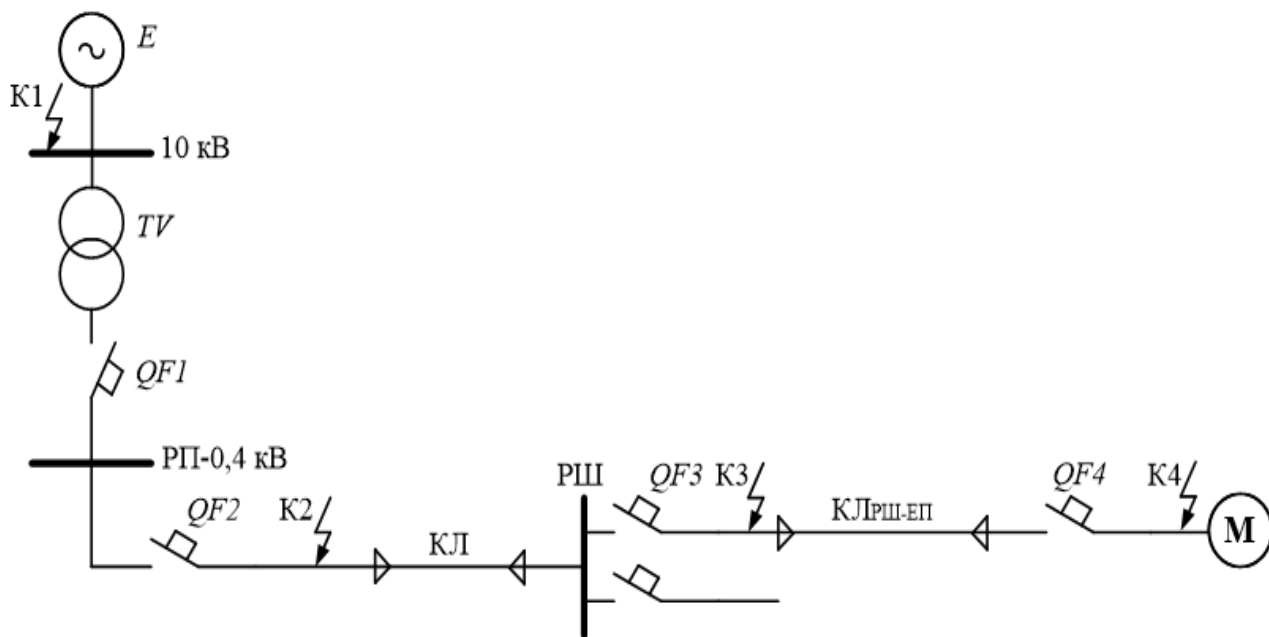


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема для КЗ струмів

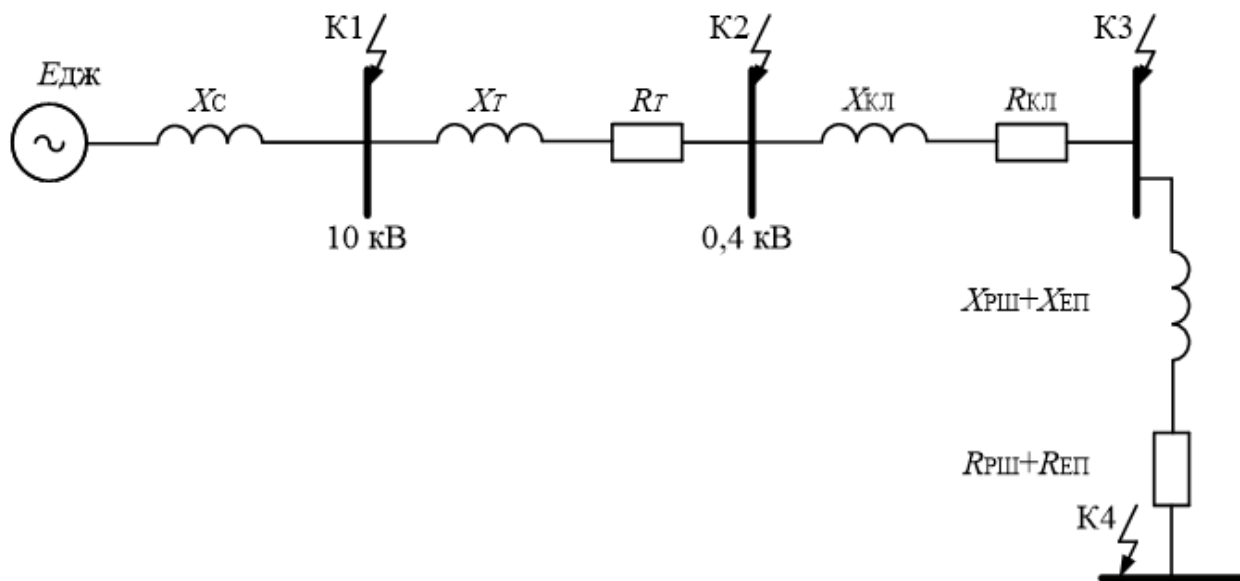


Рисунок 1.3 – Заступна схема для КЗ струмів

У джерела живлення наявний опір:

$$Z_c = X_c = \frac{U_{c.n}}{\sqrt{3} \cdot I_{K3}}, \quad (1.37)$$

де $U_{сн} = 10 \text{ кВ}$; $I_{кз} = 10 \text{ кА}$.

$$X_{\Sigma} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,58 \text{ Ом}$$

Привести опори ВН до 0,4 кВ треба так:

$$x_{\Sigma 10:0,4} = x_{\Sigma 10} \cdot k_T^2, \quad (1.38)$$

де k_T – коефіцієнт трансформації.

Опори трансформатора: $x_T = 5 \text{ Ом}$, $x_T = 1 \text{ Ом}$.

Струм трифазного КЗ $I_{п(0)}$:

$$I_{п(0)} = \frac{U_{с.н}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}, \quad (1.39)$$

де R_{Σ} , X_{Σ} – загальні опори прямої послідовності.

Струм $I_{кз2}^{(3)}$:

Ударний струм КЗ:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{н(о)}} \cdot k_{\text{уд}}, \quad (1.40)$$

де $k_{\text{уд}}$ – ударний коефіцієнт.

Струм $I_{\text{КЗ3}}^{(3)}$:

Ударний струм $i_{\text{удК3}}$:

Струм $I_{\text{КЗ4}}^{(3)}$:

Ударний струм $i_{\text{удК4}}$:

1.12 Вибір електричних апаратів в мережі напругою до 1 кВ

1.12.1 Вибір силових шаф низької напруги трансформаторної підстанції

ЦТП підприємства з 2-ма трансформаторами 400 кВА комплектується НШ серії ШНВ1М (рис. 1.4) зі ввідними вимикачами Е16В на 1600 А.



Рисунок 1.4 – Фото шафи ШНВ1М

1.12.2 Розподіл силових шаф мережі

У підприємства з виробництва спеціального обладнання беремо силові пункти ПР-11-3091 (рис. 1.5) із його перевірянням в табл. 1.8.



Рисунок 1.5 – Фото силового пункту ПР-11-3091

Таблиця 1.8 – Перевіряння силового пункту ПР-11-3091

Умова вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_n \leq U_{н.ш}$	380 В	380 В
$I_p \leq I_n$	384,5 А	400 А
$i_y \leq i_{ст.дин}$	1,07 кА	15 кА
кількість приєднань	12	12

1.12.3 Перевірка автоматичних вимикачів

ПС підприємства з виробництва спеціального обладнання має ввідний вимикач Е16В (рис. 1.6), перевірка його у табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Перевірка ввідного вимикача Е16В

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
За номінальною напругою: $U_{н.в} \geq U_{ном.уст}$	$U_{н.в} = 380В$	$U_{ном.уст} = 380В$
За номінальним струмом: $I_{н.в} > I_{р.мах}$	$I_{н.в} = 1600А$	$I_{р.мах} = 805,04А$
За номінальним струмом розчеплювача: $I_{н.р} \geq I_{р.мах}$	$I_{н.р} = 1000А$	$I_{р.мах} = 805,04А$
За номінальним струмом теплового розчеплювача: $I_{у.т.р} = 1,25 \cdot I_{н.т.р} > 1,1 \cdot I_{р.мах}$	$I_{у.т.р} = 1250 А$	$1,1 \cdot I_{р.мах} = 885,54А$
За відключаючою здатністю: $I_{в.н} \geq I_{КЗ}^{(3)}$	$I_{в.н} = 40кА$	$I_{КЗ}^{(3)} = 1,34кА$
За чутливістю до струмів однофазного КЗ: $1,25 \cdot I_{с.в} \leq I_{КЗ}^{(1)}$	$1,25 \cdot I_{с.в} = 3,75кА$	$I_{КЗ}^{(1)} = 12,22кА$



Рисунок 1.6 – Фото ввідного вимикача Е16В

Силві пункти ПР-11-3091 є вимикачі ВА88-37 (рис. 1.7), які перевіряємо в табл. 1.10.

Таблиця 1.10 – Перевіряння вимикачів ВА88-37

Умови вибору	Каталожні дані	Розрахункові дані
За номінальною напругою: $U_{нв} \geq U_{ном.уст}$	$U_{нв} = 380 \text{ В}$	$U_{ном.уст} = 380 \text{ В}$
За номінальним струмом: $I_{нв} > I_{р.мах}$	$I_{нв} = 400 \text{ А}$	$I_{р.мах} = 71,24 \text{ А},$ $I_{р.мах} = 202,06 \text{ А},$ $I_{р.мах} = 117,1 \text{ А},$ $I_{р.мах} = 114,9 \text{ А},$ $I_{р.мах} = 384,5 \text{ А}.$
За номінальним струмом розчеплювача: $I_{нр} \geq I_{р.мах}$	$I_{нр} = 250 \text{ А},$ $I_{нр} = 250 \text{ А},$ $I_{нр} = 250 \text{ А},$ $I_{нр} = 250 \text{ А},$ $I_{нр} = 400 \text{ А}.$	$I_{р.мах} = 71,24 \text{ А},$ $I_{р.мах} = 202,06 \text{ А},$ $I_{р.мах} = 117,1 \text{ А},$ $I_{р.мах} = 114,9 \text{ А},$ $I_{р.мах} = 384,5 \text{ А}.$
За номінальним струмом теплового розчеплювача: $I_{у.т.р} = 1,25 \cdot I_{н.т.р} > 1,1 \cdot I_{р.мах}$	$I_{у.т.р} = 312,5 \text{ А},$ $I_{у.т.р} = 312,5 \text{ А},$ $I_{у.т.р} = 312,5 \text{ А},$ $I_{у.т.р} = 312,5 \text{ А},$ $I_{у.т.р} = 500 \text{ А}.$	$1,1 \cdot I_{р.мах} = 78,36 \text{ А},$ $1,1 \cdot I_{р.мах} = 222,27 \text{ А},$ $1,1 \cdot I_{р.мах} = 128,81 \text{ А},$ $1,1 \cdot I_{р.мах} = 126,39 \text{ А},$ $1,1 \cdot I_{р.мах} = 422,95 \text{ А}.$
За відключаючою здатністю: $I_{в.н} \geq I_{КЗ}^{(3)}$	$I_{в.н} = 35 \text{ кА}$	$I_{КЗ}^{(3)} = 1,34 \text{ кА}$
За чутливістю до струмів однофазного КЗ: $1,25 \cdot I_{с.в} \leq I_{КЗ}^{(1)}$	$1,25 \cdot I_{с.в} = 0,63 \text{ кА}$	$I_{КЗ}^{(1)} = 0,77 \text{ кА}$



Рисунок 1.7 – Фото вимикача ВА88-37

Вимикачі біля приймачів цеху вироблення нестандартного обладнання (рис. 1.8) є в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Вимикачі біля приймачів підприємства з виробництва спеціального обладнання

Роз. лінія	Тип автомата	$U_{н.в}$, В	$I_{н.в}$, А	$I_{н.т.р}$, А	$I_{у.т.р}$, А	$I_{р.мах}$, А	$I_{в.н}$, кА
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ВА88-33	380	160	100	125	84,41	35
2	ВА88-33	380	160	100	125	84,41	35
3	ВА88-33	380	160	100	125	84,41	35
4	ВА88-33	380	160	100	125	84,41	35
5	ВА88-33	380	160	16	20	8,55	35
6	ВА88-33	380	160	16	20	8,55	35
7	ВА88-33	380	160	16	20	8,55	35
8	ВА88-33	380	160	16	20	8,55	35
9	ВА88-33	380	160	100	125	90,44	35

Продовження табл. 1.11.

1	2	3	4	5	6	7	8
10	BA88-33	380	160	100	125	90,44	35
11	BA88-33	380	160	16	20	4,89	35
12	BA88-33	380	160	16	20	4,89	35
13	BA88-33	380	160	40	50	31,08	35
14	BA88-33	380	160	40	50	31,08	35
15	BA88-33	380	160	40	50	31,08	35
16	BA88-33	380	160	40	50	31,08	35
17	BA88-33	380	160	80	100	71,5	35
18	BA88-33	380	160	25	31,25	19,48	35
19	BA88-33	380	160	80	100	71,5	35
20	BA88-33	380	160	160	200	139,27	35
21	BA88-33	380	160	32	40	28,74	35
22	BA88-33	380	160	32	40	28,74	35
23	BA88-33	380	160	32	40	28,74	35
24	BA88-33	380	160	32	40	28,74	35
25	BA88-33	380	160	32	40	28,74	35
26	BA88-33	380	160	32	40	28,74	35
27	BA88-33	380	160	20	25	16,76	35
28	BA88-33	380	160	20	25	16,76	35
29	BA88-33	380	160	20	25	16,76	35
30	BA88-33	380	160	16	20	10,41	35
31	BA88-33	380	160	16	20	10,41	35
32	BA88-33	380	160	16	20	10,41	35
33	BA88-33	380	160	16	20	10,41	35
34	BA88-33	380	160	16	20	9,8	35
35	BA88-33	380	160	16	20	9,8	35
36	BA88-33	380	160	16	20	9,8	35
37	BA88-33	380	160	80	100	68,37	35
38	BA88-33	380	160	80	100	68,37	35
39	BA88-33	380	160	16	20	4,89	35
40	BA88-33	380	160	16	20	4,89	35
41	BA88-33	380	160	16	20	5,76	35
42	BA88-33	380	160	16	20	5,76	35
43	BA88-33	380	160	25	31,25	19,28	35
44	BA88-33	380	160	25	31,25	19,28	35
45	BA88-33	380	160	25	31,25	19,28	35
46	BA88-33	380	160	25	31,25	19,28	35
47	BA88-33	380	160	25	31,25	19,28	35

Продовження табл. 1.11.

1	2	3	4	5	6	7	8
48	BA88-33	380	160	25	31,25	19,28	35
49	BA88-33	380	160	25	31,25	19,28	35
50	BA88-33	380	160	25	31,25	19,28	35



Рисунок 1.8 – Фото BA88-33

1.13 Охорона праці

Ґрунт в місці підприємства з виробництва спеціального обладнання – суглинок: $\rho = 70 \text{ м}$. Стержні: $d = 0,04 \text{ м}$, $l = 2 \text{ м}$. Відстань до землі $0,7 \text{ м}$. Горизонтальні сталеві електроди 40 мм .

Питомий опір ґрунту:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho \cdot \psi, \quad (1.41)$$

Опір R ґ:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр.гориз}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{b \cdot t}, \quad (1.42)$$

де l , м:

$$l = (L + B) \cdot 2, \quad (1.43)$$

де L – довжина ТП, м, B – ширина ТП, м.

Опір R_B :

$$R_B = \frac{R_{\Gamma} \cdot R_{\text{ТП}}}{R_{\Gamma} + R_{\text{ТП}}}, \quad (1.44)$$

$$R_B = \frac{894}{89+4} = 27 \text{ Ом}.$$

Опір $R_{\text{ВО}}$:

$$R_{\text{ВО}} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right), \quad (1.45)$$

де l , d – розміри електрода, м; $t = 1,7 \text{ м}$.

Кількість $n_{\text{В.набл}}$:

$$n_{\text{В.набл}} = \frac{2 \cdot (L + B)}{\alpha}, \quad (1.46)$$

де $\alpha = 2\text{м}$.

Остаточна кількість $n_{\text{В}}$:

$$n_{\text{В}} = \frac{R_{\text{ВО}}}{R_{\text{В}} \cdot \eta_{\text{В}}}, \quad (1.47)$$

де $\eta_{\text{В}} = 0,58$.

$$n_{\text{В}} = \frac{4,03}{27 \cdot 0,58} = 26 \text{ шт.}$$

Загальний опір $R_{\text{шт}}$:

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_{\text{ВО}} \cdot R_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma} \cdot R_{\text{В}} + \eta_{\text{В}} \cdot n_{\text{В}} \cdot R_{\Gamma}}, \quad (1.48)$$

де $\eta_{\Gamma} = 0,3$.

Додаємо 26 вертикальних електродів для заземлювального пристрою.

1.14.1 Визначення вартості елементів системи електропостачання

Для БМР в підприємстві з виробництва спеціального обладнання візьмемо 30% від ціни електропристроїв (табл. 1.12).

Таблиця 1.12 – Обладнання підприємства і кошторисна вартість

Найменування та характеристика обладнання та мереж	Одиниці виміру	К-сть	Кошторисна вартість, грн.	
			одиниці	Загальна (з БМР)
Трансформатор ТМФ-400/10/0,4 У1	шт.	2	124500	323700
Шафа ШНВ1М	шт.	2	22450	58370
Автоматичний вимикач Е16В	шт.	2	47300	122980
Пункт розподільний ПР-11-3091	шт.	5	10230	66495
Щиток освітлювальний ЩА-601	шт.	1045	1060	1440010
Автоматичний вимикач ВА88-37	шт.	5	8920	57980
Автоматичний вимикач ВА88-33	шт.	50	2340	152100
Кабель АВБШв-10,5 4x150	м	105	610	83265
Кабель АВВГ-0,4 4x95	м	53	280	19292
Кабель АВВГ-0,4 4x70	м	12	215	3354
Кабель АВВГ-0,4 4x50	м	15	158	3081
Кабель АВВГ-0,4 4x35	м	147	117	22358,7
Кабель АВВГ-0,4 4x25	м	41	87	4637,1
Кабель АВВГ-0,4 4x16	м	72	58	5428,8
Кабель АВВГ-0,4 4x10	м	32	41	1705,6
Кабель АВВГ-0,4 4x6	м	88	27	3088,8
Кабель АВВГ-0,4 4x4	м	89	20	2314
Кабель АВВГ-0,4 4x2,5	м	350	15	6825
Разом	—	—	—	2376985

1.14.2 Електропостачання підприємства

Потреба в ЕЕ $W_{\text{п}}$:

$$W_{\text{п}} = P_{\Sigma} \cdot T_{\text{р}}, \quad (1.49)$$

де $T_{\text{р}} = 3200$ год.

Втрати ЕЕ $\Delta P_{\text{п}}$:

$$\Delta P_{\text{п}} = \Delta P_0 \cdot l \cdot K_3^2, \quad (1.50)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження.

Втрати ЕЕ $\Delta W_{\text{п}}$:

Електробаланс підприємства на виробництві спеціального обладнання у табл. 1.13.

Таблиця 1.13 – Електробаланс підприємства з виробництва спеціального обладнання

Стаття балансу	Код рядка	К-сть, кВт·год	% до підсумку
А. Прихід			
Виробництво електроенергії генеруючими установками	01	–	–
Надходження з енергосистеми	02	1457344	100
Разом прихід (01+02)	03	1457344	100
Б. Витрати			
Споживання – разом (05 + 06 + 07 + 08 + 09) в тому числі:	04	1457344	100
– електроапаратами для технологічних процесів;	05	–	–
– електродвигунами на силові потреби;	06	1454720	99,82
– на допоміжні виробничі потреби;	07	–	–
– витрачено на власні потреби електростанції;	08	–	–
– втрати в електромережах підприємства і в ТП.	09	2624	0,18
Відпуск на сторону	10	–	–
Разом витрати	11	1457344	100

1.14.3 Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію обладнання

Амортизаційні відрахування є в табл. 1.14.

Таблиця 1.14 – Амортизаційні відрахування

Найменування груп основних фондів	Первісна вартість, грн.	Норма амортизації, %	Амортизаційні відрахування, грн.
Силове електрообладнання	2221635	10	222163,5
Кабельні лінії	155350	5	7767,5
Разом	2376985	–	229931

На даний ремонт 15% від амортизаційних відрахувань. Витрати підприємства становлять 30% від витрат на утримання й експлуатацію. Для капітальних ремонтів 12% від фондів (табл. 1.15).

Таблиця 1.15 – Кошторис річних експлуатаційних витрат

Статті затрат	Затрати	
	тис. грн.	% до підсумку
Витрати на утримання та експлуатацію електрообладнання, в тому числі:	264,421	42,04
– амортизаційні відрахування	229,931	–
– поточний ремонт	34,49	–
Цехові та інші витрати	79,326	12,61
Капітальний ремонт електрообладнання	285,238	45,35
Разом	628,985	100

Собівартість \bar{s} :

$$\bar{s} = \frac{B_e \cdot 10^2}{W_{\pi} - \Delta W} \quad (1.51)$$

де B_e – річні експлуатаційні витрати, тис. грн.; W_{π} – енергія, що надходить в СЕП, ΔW – втрати електроенергії.

Собівартість 1 кВтгод \bar{s}_{π} :

$$\frac{—}{S_{\Pi}} = \frac{(\Pi + B_c) \cdot 10^2}{W_{\Pi} - \Delta W}, \quad (1.52)$$

де Π – плата за ЕЕ, тис. грн.

$$\Pi = C_{оп} \cdot W_{\Pi}, \quad (1.53)$$

де $C_{оп}$ – вартість 1 кВтгод

1.14.4 Техніко-економічні показники системи електропостачання

Питомі капітальні вкладення $K_{пит}$:

$$K_{пит} = \frac{B_{обл.}}{S_{P\Sigma}}, \quad (1.54)$$

де $B_{обл.}$ – вартість електроустаткування.

Планові ТЕП спроектованої СЕП підприємства з виробництва спеціального обладнання в табл. 1.16.

Таблиця 1.16 – ТЕП СЕП підприємства з виробництва спеціального обладнання

Показник	Одиниця виміру	Значення
Приєднана потужність	кВА	529,86
Максимум навантаження	кВт	455,42
Річне споживання електроенергії	тис.кВт·год	1457,344
Втрати електроенергії в елементах СЕП	тис.кВт·год	2,624
Втрати електроенергії у % до річного споживання електроенергії	%	0,18
Річні затрати на електропостачання в тому числі:	тис. грн.	7551,369
– плата за електроенергію	тис. грн.	6922,384
– експлуатаційні витрати	тис. грн.	628,985
Собівартість передачі та розподілу електроенергії	коп./кВт·год	43,24
Повна собівартість електроенергії, що споживається	грн./кВт·год	5,19
Питомі капітальні вкладення на 1 кВА приєднаної потужності	грн./кВА	4486,06

1.15 Висновок

В першій частині роботи я провела роботу СЕП підприємства з виробництва спеціального обладнання з встановленою потужністю 950 кВт. Обраний трансформатор ТМФ-400/10/0,4 У1, вимикачі і кабель для цього підприємства. Розраховано заземлення та технічні параметри. Вкладення для підприємства з вироблення спеціального обладнання – 4486,06 грн/кВА.

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ПО ЗАХИСТУ КАБЕЛЬНОГО З'єднання ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

2.1 Мікропроцесорні пристрої електромережі

На різних електростанціях та підстанціях в електропостачанні промислових та цивільних об'єктів часто впроваджуються мікропроцесорні пристрої, модулі та термінали релейного захисту. Загалом на ринку представлені пристрої українських та зарубіжних виробників, зокрема: ABB (рис. 2.1), Alstom, Siemens, Schneider, General Electric, NARI, Areva, SEL, Cooper Power, Beckwith, Orion Italia, VAMP, Woodward, PEЛCіC, "Київприлад" тощо.



Рисунок 2.1 – Диференціальний захист та керування ЛЕП типу RED615 компанії ABB

Модулі по релейному захисту можливо розподілити по ряду наступних переваг перед пристроями, які можуть працювати відповідно до законів електромеханіки. Відомо, що мікропроцесорні модулі мають високу точність вимірювання електричних та магнітних величин. Вони мають характеристики різної складності, що дає більшу можливість пристроям виявити проблеми роботи в мережах складної конфігурації. Цифрові пристрої мають здатність зберігати значення координат системи при несправностях. Тому це є основною перевагою для визначення причин

аварійного стану режиму роботи електросистем та дає можливість оцінити ефективність спрацювання захисту.

В мікропроцесорних пристроях є функція зміни налаштувань, конфігурація тощо з використанням віддалених протоколів передачі даних.

Мікропроцесорні модулі та пристрої релейного захисту вигідно відрізняються універсальністю, що спрощує їх виробництво. Реалізація того чи іншого алгоритму захисту здійснюється, в основному, на програмному рівні.

Електромехані аналоги значно більшими ніж габарити мікропроцесорів. Таксим чином зменшується споживання енергії і падає в цій категорії виробництво.

Функціонування системи електропостачання підвищується завдяки можливості самодіагностики пристроїв релейного захисту в цілому.

Мікропроцесорні пристрої захисту мають менше навантаження на трансформатори напруги та струму, що дозволяє вказаним вимірювальним перетворювачам функціонувати в діапазоні, який забезпечує заданий клас точності.

2.2 Критичний аналіз стану питання

Пристрій РЗЛ-05.Ф призначений для виконання функцій релейного захисту, автоматики, сигналізації, реєстрації аварійних параметрів, діагностики та управління вимикачами різноманітних приєднань напругою 6 - 154 кВ комплектних розподільчих пристроїв з постійним, змінним або випрямленим оперативним струмом.



Рисунок 2.2 - Пристрій релейного захисту та автоматики мікропроцесорний з вільно програмованою логікою РЗЛ-05.Ф

Пристрій призначений для встановлення в релейних відсіках КСВ, КРУ, КРУН електричних станцій і підстанцій, а також на панелях, в шафах управління, розташованих в релейних залах і пультах управління.

Пристрій забезпечує виконання наступних функцій:

Функції захисту	
50/51	Максимальний струмовий захист (МСЗ)
68	Логічний захист шин (ЛЗШ)
	Захист від перевантаження
50N/51N	Струмовий захист нульової послідовності (ЗНЗ)
46BC	Захист від неповнофазного режиму (ЗОФ)
	Зовнішній захист
	Дуговий захист (ДГЗ)
38/49T	Захист по температурі (ТмЗ)

Функції автоматики	
	Управління вимикачем
50BF	Резервування відмови вимикача (ПРВВ)
79	Автоматичне повторне включення (АПВ)
81L	Автоматичне частотне розвантаження (АЧР/ЧАПВ)
	Контроль викочуваного елемента
Функції контролю та сигналізації	
	Контроль несправності ланцюгів вимикача
74TCS	Контроль ланцюгів відключення вимикача
74TCS	Контроль ланцюгів включення вимикача

Переваги:

- Захист, автоматика і управління елементами мережі.
- Конфігурація параметрів роботи через вбудований інтерфейс або програмно за допомогою ПО, що поставляється разом з пристроями: включення / відключення функцій, введення параметрів ступенів захисту і часу затримки для кожного ступеня і т.д.
- Незалежна конфігурація кожного дискретного входу.
- Гнучка настройка параметрів.
- Дуговий захист за допомогою волоконно-оптичних датчиків з контролем струму з дією на відключення власного і/або ввідного приєднання.

- Три волоконно-оптичних датчика для дугового захисту.
- Енергонезалежна пам'ять налаштувань, осцилограм аварій і журнал подій.
- Загальний час запису осцилограм 600 с.
- Велика кількість вихідних реле, в т.ч. одне посилене для комутації високих значень миттєвого струму, комутацій в колах з великою індуктивністю, і одне бістабільне, що дозволяють обійтися без установки додаткових реле.
- Налаштування, а також передача поточних параметрів, налаштувань, стану обладнання, подій через інтерфейс RS-485 по протоколу MODBUS RTU.
- Функції віддаленого включення / відключення з використанням вбудованих засобів телекерування по протоколу MODBUS RTU.
- Клеми підключення проводів з фіксацією штекера в підключеному стані.
- Металевий корпус.
- USB інтерфейс на передній панелі.
- Самодіагностика в режимі реального часу.
- Два набору уставок.
- Два взаєморезервуючих блока живлення від ланцюгів оперативного струму.
- Збереження працездатності при несправності ланцюгів оперативного струму, з роботою захисту від вимірювальних трансформаторів струму.
- Універсальний блок живлення дозволяє застосовувати термінали РЗЛ-05 на об'єктах з будь-яким родом оперативного струму (змінним, випрямленим, постійним).
- Всі внутрішні кола, в т.ч. кола живлення гальванічно розв'язані з зовнішніми колами; всі внутрішні контрольні кола розв'язані з колами живлення та колами аналогових сигналів.
- Висока стійкість до перенапруг в колах живлення і контрольних колах.

-Резервування апаратних і програмних засобів для підвищення надійності функції захисту, автоматики і обміну даними.

-Наявність дискретних входів, які керуються "сухим контактом", що дозволяє зберегти виконання функції при відключенні оперативного живлення.

-Гарантована робота в складних умовах експлуатації (-40...+60 °C)

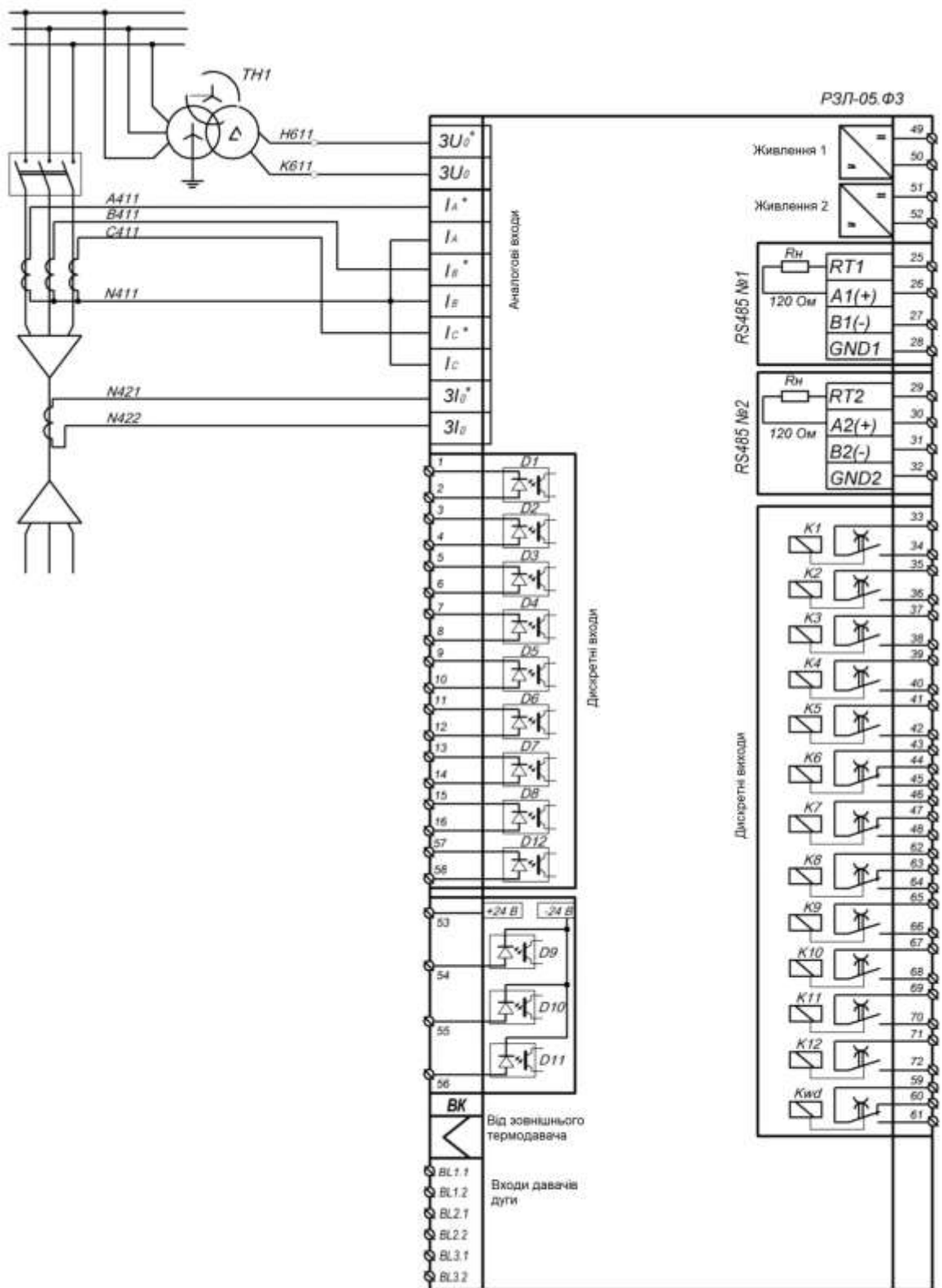


Рисунок 2.3 - Підключення мікропроцесорного пристрою релейного захисту та автоматики з вільно програмованою логікою РЗЛ-05.Ф

Пристрій РЗЛ-05.Ф забезпечує контроль та індикацію положення високовольтного вимикача. Крім того, забезпечується контроль справності кіл керування вимикачем. Існує можливість налаштування управління будь-

яким логічним входним сигналом з використанням програми конфігурації вільно програмованої логіки. За результатами виконання захисних функцій існує можливість конфігурування входних і вихідних дискретних сигналів і світлодіодної індикації. За інформаційним інтерфейсом передаються параметрів аварії, здійснюється введення і зміна уставок.

Вказаний пристрій здійснює безперервний оперативний

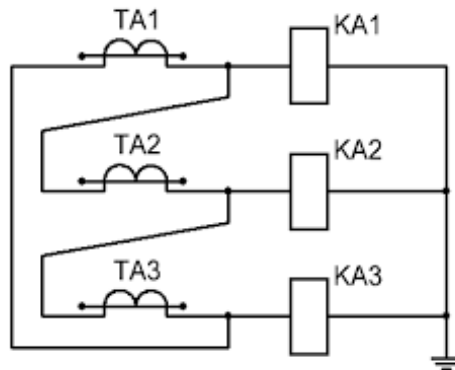


Рисунок 2.4 – Схема максимального струмового захисту з використанням електромеханічних реле (електромагнітного типу)

Властивості:

1. Струми в реле проходять при усіх видах КЗ тому захист, виконаний за такою схемою, реагує на усі види пошкоджень
2. В електричних режимах коефіцієнт дорівнює 3
3. Струми нульової послідовності не виходять за межі дельта трансформаторів струму, тому захист на них не реагує і при однофазному КЗ в реле потрапляють лише струми прямої і зворотної послідовності, тобто лише частина струму пошкоджень
4. Відношення струму в реле до фазного струму залежить від виду КЗ, тому від нього залежить і коефіцієнт чутливості

2.3 Мета спеціальної частини

Метою є розроблення мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання низьковольтної електромережі.

Задачі:

- розробити алгоритм функціонування пристрою РЗ;
- обґрунтувати структуру пристрою РЗ;
- запроєктувати принципову електричну схему;
- розробити заходи з безпечної експлуатації пристрою РЗ.

2.4 Основний матеріал, результати та їх аналіз

2.4.1 Розроблення алгоритму функціонування пристрою РЗ

Розглянемо випадок, коли на вхід мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання, що проектується, надходять сигнали, що лінійно залежать від модулів фазних струмів приєднання, рис. 2.5. В нормальному режимі роботи електроустановки система сигналів, що подається до пристрою, може бути описана залежностями:

$$\begin{cases} |u_A| = U_m |\sin \omega t| \\ |u_B| = U_m |\sin(\omega t - 2\pi/3)| \\ |u_C| = U_m |\sin(\omega t + 2\pi/3)|. \end{cases}$$

Позначимо фази електромережі цифровими індексами 1, 2, 3, тоді проаналізуємо співвідношення:

$ u_1 > u_2 > u_3 ,$	(2.1)
--------------------------	-------

де 1, 2, 3 - позначення фаз А, В, або С.

З аналізу графіка модулів сигналів за напругою (рис. 2.5, б) можна побачити, що через кожні 30 ел. град. має місце чергування індексів: ABC; ACB; CAB; CBA; BCA; BAC; ABC.

Розглянемо співвідношення:

$ u_2 > u_3 ,$	(2.2)
------------------	-------

порядок зміни індексів якого відображає схема на рис. 2.6.

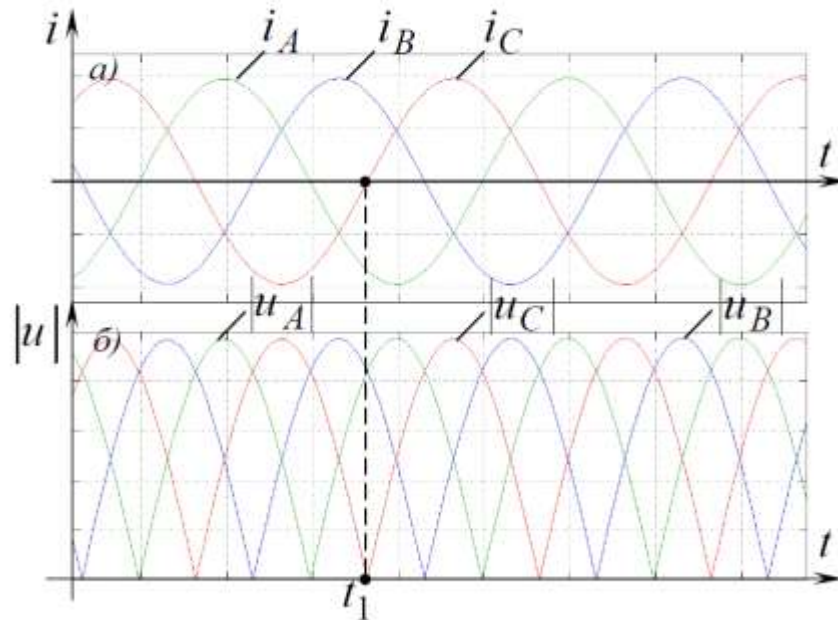


Рисунок 2.5 – Графіки миттєвих величин струмів мережі, що контролюється, (а) та сигналів, що надходять до пристрою (б)

Виявити двофазне або трифазне коротке замикання в електромережі можливо шляхом контролю частоти та чергування індексів у залежності (2.2), оскільки ці параметри змінюються в аварійному режимі.

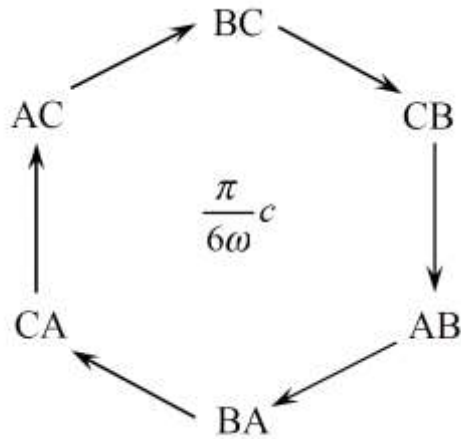


Рисунок 2.6 – Схема, що ілюструє зміну індексів у виразі (2.2) в нормальному режимі роботи

Принцип виявлення коротких замикань у постійному контролі величини інтервалу часу між моментом тотожності модулів струмів двох фаз та моментом тотожності струму третьої фази та одного зі згаданих. Якщо величина інтервалу часу виходить з визначених меж, це свідчить про виникнення короткого замикання.

Перевантаження двигуна може бути виявлено за підвищенням амплітуд струмів вища за встановлену межу. Фазові співвідношення між струмами та напругами не порушуються.

Розглянемо випадок, коли мікропроцесорний пристрій розпочинає функціонування у момент t_1 , коли нульовим є струм фази С. В цей момент модуль напруги є нульовим $|u_c| = 0$ (рис. 2.5). В нормальному режимі

протягом $\left(t_1; t_1 + \frac{\pi}{6\omega}\right)$ сигнал фази В буде перевищувати сигнал фази С:

$$|u_B| > |u_C|. \quad \text{Ці сигнали стануть однаковими в момент } \left(t_1 + \frac{\pi}{6\omega}\right).$$

В подальшому послідовність чергування фазних індексів у залежності (2.2) ілюструє схема на рис. 2.6, табл. 2.1.

Значення індексів у формулі (2.2).

<i>n</i>	індекс 2	індекс 3
1	В	С
2	С	В
3	А	В
4	В	А
5	С	А
6	А	С

Рисунок 2.7 блок-схема алгоритму роботи мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання. Цей алгоритм виявляє аварійний режим (к.з.) в приєднанні електромережі і дає змогу визначити наявність перевантаження двигуна. Робота пристрою розпочинається при переході через нульове значення струму фази С, що забезпечує контроль вхідного сигналу u_c , який відповідає модулю струму, блоки 2, 3. Для сигналізацію про виявлення короткого замикання використовується логічна змінна KZ , а для сигналізації про перевантаження двигуна – змінна DP . Послідовний аналіз значень індексів у виразі (2.2) з урахуванням даних табл. 2.1 забезпечується циклом (блок 5). Для кожної з можливих комбінацій індексів (кодується цілочисельною змінною n) здійснюється виклик підпрограми POI (блок 6), яка, при виявленні замикання, встановлює прапор KZ . Значення KZ контролюється блоком, в разі наявності к.з. видається повідомлення, блок 8. Аналогічно контролюється перевантаження, блоки 9-11.

Рисунок 2.7 – Схема алгоритму роботи мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання

2.4.2 Обґрунтування структури пристрою РЗ

Структурна схема мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання наведена на рис. 2.8.

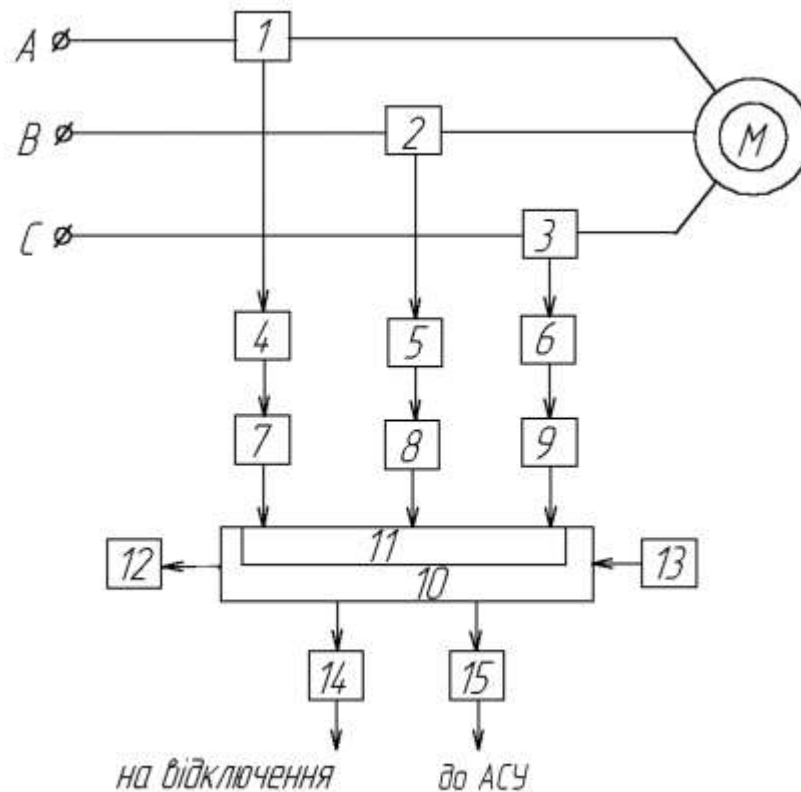


Рисунок 2.8 – Структурна схема мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання

Пристрій має давачі струму 1, 2, 3, що підключенні до фаз живлення двигуна М. Сигнали за напругою, що виходять з давачів струму, надходять до випрямлячів 4-6. Захист вхідних кіл АЦП 11 у складі мікроконтролера 10 забезпечують обмежувачі напруги 7-9. Для задавання налаштувань пристрою використовується клавіатура 13. Дані виводяться на дисплей 12. Сигнал на відключення пошкодженого приєднання видається через підсилювач 14. Також за допомогою інтерфейсу 15 видається дані до АСУ ТП.

2.4.3 Проектування принципової електричної схеми

Принципова схема мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання наведена на рис. 2.9.

Зспринципової схеми до складу мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання входять три однакові вимірювальні канали. Розрахуємо такий вимірювальний канал, рис. 10.

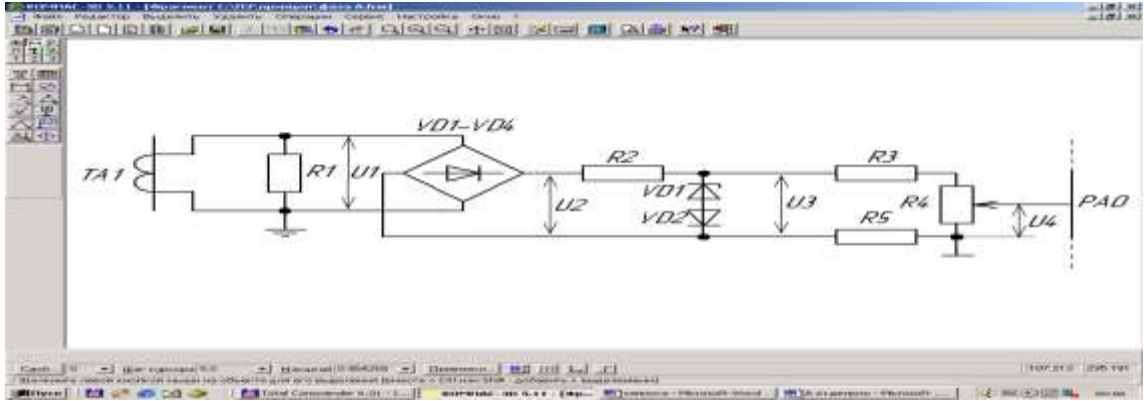


Рисунок 2.10 – Принципова схема вимірювального каналу фази А мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання

Прийmemo трансформатор струму ТЛ 0,66 (кл. точності 0,5, $I_{2H} = 5$ А).

Прийmemo $R_1 = 1$ Ом.

Тоді в номінальному режимі роботи ТА1 напруга на вказаному резисторі становить:

$$U_{1H} = I_{2H} R_1 = 5 \cdot 1 = 5 \text{ В.}$$

Кратність пускового струму асинхронного двигуна знаходиться в діапазоні:

$$k_I = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_N} = 4 \div 6.$$

Прийmemo $k_I = 6$. За таких умов струм вторинної обмотки ТА1 під час пуску двигуна становитиме:

$$I'_2 = I_{2H} k_I = 5 \cdot 6 = 30 \text{ A},$$

тоді діюче та амплітудне значення вихідної напруги давача становить:

$$U'_1 = I'_2 R_1 = 30 \cdot 1 = 30 \text{ В},$$

$$U'_{1\max} = \sqrt{2} U'_1 = \sqrt{2} \cdot 30 = 42,4 \text{ В}.$$

Прийmemo діодний міст 2Д906Б з такими значеннями параметрів:

$$U_{зв\max} = 50 \text{ В}; I_{np\text{cp}\max} = 100 \text{ мА}; U_{np} = 2 \text{ В}.$$

Амплітудне значення напруги на виході обмежувача під час пуску двигуна становить:

$$U'_{2\max} = U'_{1\max} - U_{np} = 42,4 - 2 = 40,4 \text{ В}.$$

Схема обмежувача сигналу на стабілітроні. Для проведення розрахунку прийmemo:

$U'_{2\max} = 40,4$ В - вихідна напруга обмежувача при пуску двигуна;

$a_{ax} = 0,5\%$, $b_{ax} = 0,5\%$ - допустимі вихідні відхилення напруги;

$a_{bx} = 1\%$, $b_{bx} = 1\%$ - допустимі вхідні відхилення напруги;

$c = 0$, $d = 0$ - допустимі відхилення струму через навантаження;

$I_H = 0,015$ А - струм навантаження.

Приймемо попередньо стабілітрон Д814Д, для якого:

$$U_{cm} = 13 \text{ В}; I_{cm} = 5 \text{ мА}; I_{cm \min} = 3 \text{ мА}; I_{cm \max} = 24 \text{ мА}; r_{cm} = 18$$

Приймається діод типу Д223Б:

$$U_{зв \max} = 150 \text{ В}; I_{np.cр. \max} = 50 \text{ мА}; U_{np} = 1 \text{ В}; r_{диф} = 1 \text{ Ом}.$$

Позначимо наступні величини:

$$r'_{cm} = r_{cm} + r_{диф} = 18 + 1 = 19 \text{ Ом};$$

$$U'_{cm} = U_{cm} + U_{np} = 13 + 1 = 14 \text{ В}.$$

Обрахуємо коефіцієнт стабілізації:

$$K_{cm} = \frac{a_{ex} + b_{ex}}{a_{вix} + b_{вix}} = \frac{10 + 10}{0,5 + 0,5} = 20.$$

Найбільша величина коефіцієнта стабілізації вихідної напруги:

$$\begin{aligned} K_{cm. \max} &= \frac{U'_{3 \max} (1 - b_{ex} / 100)}{[I'_H (1 + c / 100) + I_{cm}] r'_{cm}} = \\ &= \frac{14 (1 - 10 / 100)}{[0,015 (1 + 0 / 100) + 0,005] \cdot 19} = 33,2. \end{aligned}$$

Перевіримо виконання умови:

$$K_{cm,max} \geq 1,5K_{cm}$$

$$33,2 \geq 1,5 \cdot 20$$

$$33,2 \geq 30 \quad - \text{виконується.}$$

Припустимо амплітудне значення напруги на вході обмежувача:

$$\begin{aligned} U'_{2\max \text{ розр}} &= \frac{U'_3}{(1 - b_{\text{вх}}/100)(1 - K_{cm}/K_{cm,max})} = \\ &= \frac{14}{(1 - 10/100)(1 - 20/33,2)} = 39,2 \text{ В.} \end{aligned}$$

Перевіримо виконання умови:

$$\begin{aligned} U'_{2\max \text{ розр}} \left(1 - \frac{b_{\text{вх}}}{100}\right) &< U'_{2\max} < U'_{2\max \text{ розр}} \left(1 + \frac{a_{\text{вх}}}{100}\right) \\ 39,2(1 - 10/100) &< 40,4 < 39,2(1 + 10/100) \quad \text{В} \\ 35,3 &< 40,4 < 43,1 \quad \text{В - виконується.} \end{aligned}$$

Розрахуємо потрібний опір R_2 :

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{U'_{2\max \text{ розр}}(1 - b_{\text{вх}}/100) - U'_{3\max}}{I_u(1 + c/100) + I_{cm\min}} = \\ &= \frac{39,2(1 - 10/100) - 14}{0,015(1 + 0/100) + 0,003} = 1182 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Прийmemo стандартний опір:

$$R_2 = 1,2 \text{ кОм.}$$

Розрахуємо струмове навантаження на стабілітрон:

$$\begin{aligned}
 I_{cm \max \text{ розр}} &= I_{cm} + I'_H(1 + c/100) - I'_H(1 - d/100) + \\
 &+ \frac{[I'_H(1 + c/100) + I_{cm}](a_{ex} + b_{ex})K_{cm \max}}{100K_{cm}(1 - b_{ex}/100)} = \\
 &= 0,005 + 0,015(1 + 0/100) - 0,015(1 - 0/100) + \\
 &+ \frac{[0,015(1 + 0/100) + 0,005](10 + 10)33,2}{100 \cdot 20(1 - 10/100)} = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ А.}
 \end{aligned}$$

Перевіримо, чи виконується умова:

$$\begin{aligned}
 I_{cm \max \text{ розр}} &\leq I_{cm \max} \\
 7,4 \cdot 10^{-3} &\leq 24 \cdot 10^{-3} \text{ А} \quad - \text{ виконується.}
 \end{aligned}$$

Потужність резистора R_2 :

$$P_{R_2} = I_{cm \max \text{ розр}}^2 \cdot R_4 = (7,4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1200 = 6,57 \cdot 10^{-2} \text{ Вт.}$$

Прийmemo резистор R_2 типу МЛТ - 0,125 номіналом 1,2 кОм.

Приймаємо попередньо обрані діод та стабілітрон.

З метою узгодження вихідного сигналу обмежувача та вхідного сигналу аналого-цифрового перетворювача передбачається резистивний подільник. Під час пуску вхідна напруга АЦП становить $U'_4 = 5$ В. Тоді, за

умови $U'_4 = 5$ В, маємо:

$$R_4 = \frac{U'_4}{I'_H} = \frac{5}{0,015} = 333,3 \text{ Ом.}$$

$$R_4 = 360 \text{ Ом.}$$

$$P_{R_4} = I_H^2 \cdot R_4 = 0,015^2 \cdot 360 = 0,081 \text{ Вт.}$$

Обираємо змінний резистор R_4 типу СПЗ-38а - 0,125 номіналом 360 Ом.

Падіння напруги на R_3 та R_5 в сумі становить:

$$U'_{R_3, R_5} = U'_3 - I'_H R_4 = 14 - 0,015 \cdot 360 = 8,6 \text{ В.}$$

Прийmemo:

$$R_3 = R_5 = \frac{U'_{R_3, R_5}}{2I'_H} = \frac{8,6}{2 \cdot 0,015} = 286,7 \text{ В.}$$

$$R_3 = R_5 = 270 \text{ Ом.}$$

$$P_{R_3} = P_{R_5} = I_H^2 \cdot R_3 = 0,015^2 \cdot 270 = 0,061 \text{ Вт.}$$

R_3 та R_5 приймаються типу МЛТ - 0,125 номіналом 270 Ом.

Специфікація елементів мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання низьковольтної електромережі наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Специфікація елементів мікропроцесорного пристрою захисту кабельного приєднання низьковольтної електромережі

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				Резистори постійні		
			R4, R5, R6, R19	M/T - 0,125 - 1,2к ± 10%	4	
			R7, R9, R10, R12, R13, R15	M/T - 0,125 - 270 ± 5%	6	
			R16, R17, R18	M/T - 0,125 - 220 ± 5%	3	
				Резистори змінні		
			R8, R11, R14	СГВ-38а-0,125-360 ± 20%	3	
				Диодні мости		
			VD1-VD4, VD5-VD8, VD9-VD12	2Д906Б	3	
				Стабілітрони		
			VD13, VD15, VD17	Д814Д	3	
				Диоди напівпровідникові		
			VD14, VD16, VD18	Д223Б	3	
				Диоди випромінюючі		
			VD19	А/102В	1	
			VD20, VD21	А/102А	2	
				Мікроконтролери		
				АТmega16(L)	1	
				Інтерфейсні мікросхеми		
				МАХ1487Е	1	
				Оптрони		
			VD22	4N25	1	
				Рознімання		
			XS1-XS15	DB15S	1	

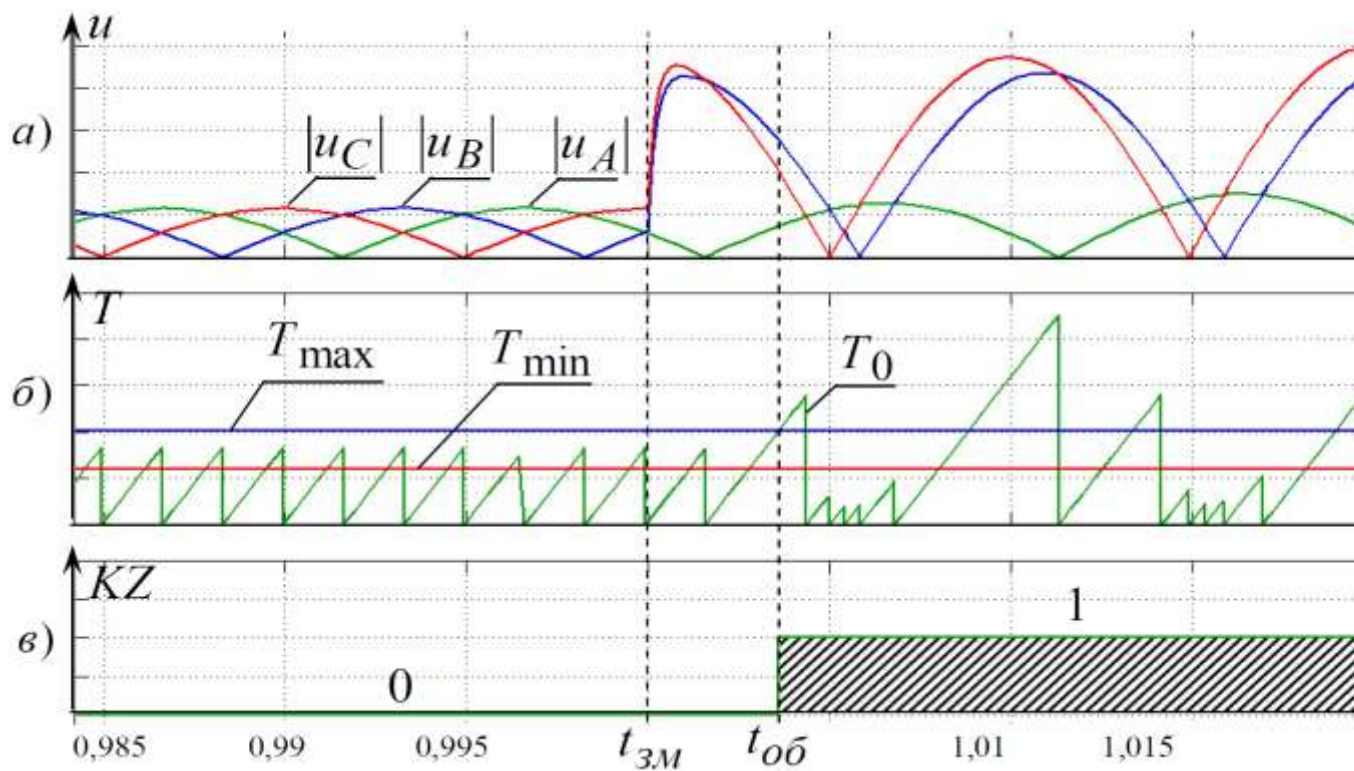


Рисунок 2.11 – Графіки, що ілюструють роботу мікропроцесорного пристрою захисту в разі двофазного короткого замикання в кабельному приєднанні (в разі спрацювання за верхню межу уставки): а – напруги на вході аналогоцифрового перетворювача, б – лічильник таймера T_0 , в – логічна змінна KZ

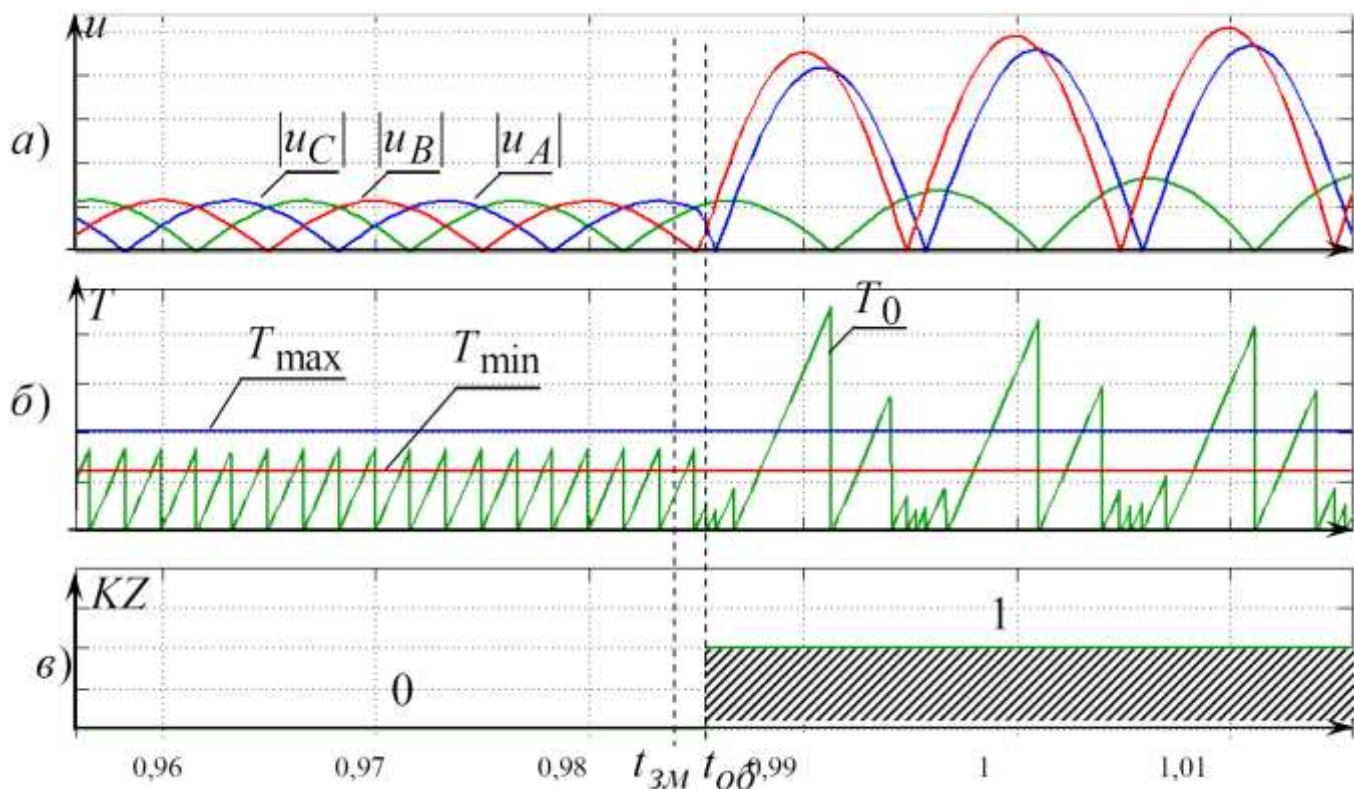


Рисунок 2.12 - Графіки, що ілюструють роботу мікропроцесорного пристрою захисту в разі двофазного короткого замикання в кабельному приєднанні (в разі спрацювання за нижньою межею уставки): а – напруги на вході аналого-цифрового перетворювача, б – лічильник таймера T0, в – логічна змінна KZ

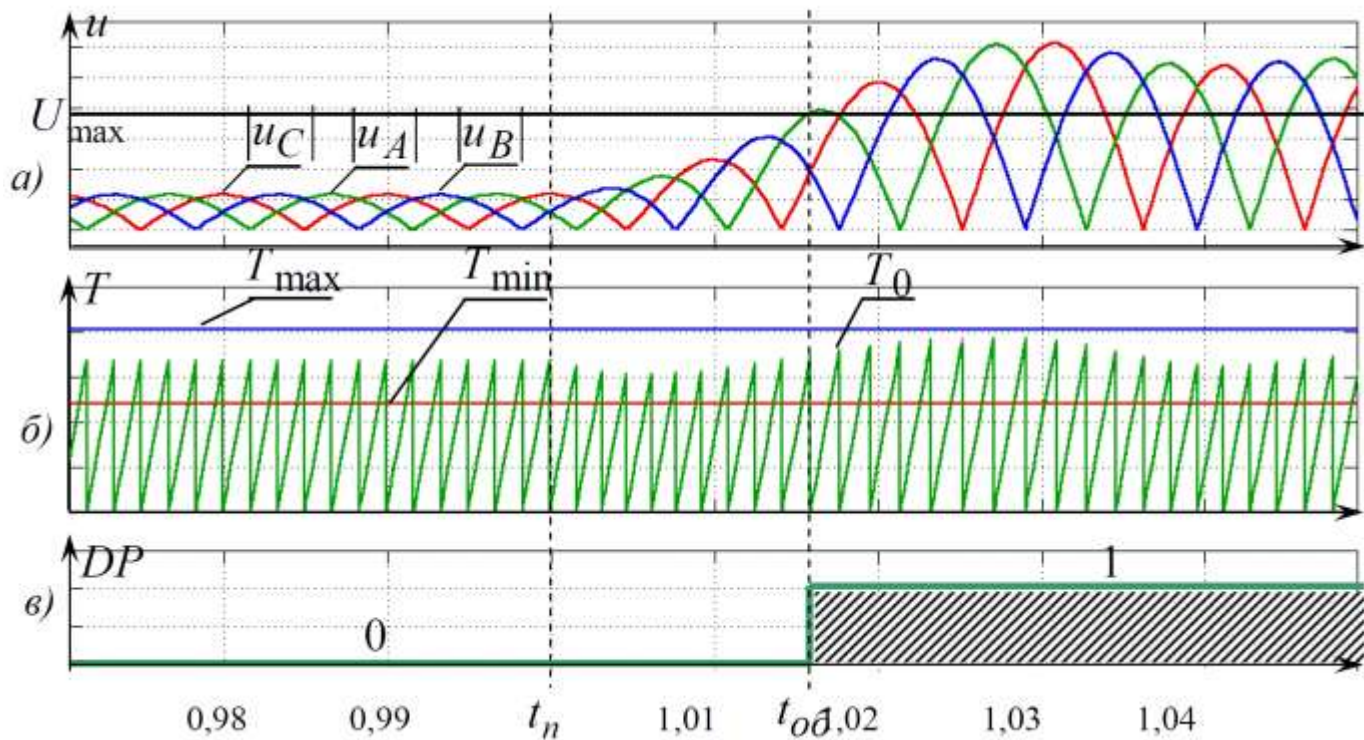


Рисунок 2.13 – Графіки, що ілюструють роботу мікропроцесорного пристрою захисту в разі перевантаження двигуна приєднання: а – напруги на вході аналого-цифрового перетворювача, б – лічильник таймера T0, в – логічна змінна DP

2.4.4 Забезпечення безпечної експлуатації пристрою РЗ

Відповідно до ПУЕ та Правил безпечної експлуатації електроустановок, під час монтажу та експлуатації розробленого пристрою необхідно дотримуватися наступних правил:

- не дозволяється розривати вторинні кола трансформаторів струму. В разі необхідності від'єднання пристрою вихідні кола струмових трансформаторів необхідно закоротити;

- вторинні кола трансформатора струму мають бути закорочені під час монтажу;

- при перевірці правильності підключення трансформаторів струму (полярності) необхідно під'єднати вимірювальні прилади;
- первинні шини трансформатор не дозволяється використовувати в якості струмоводів під час монтажу та виконання зварювання;
- вторинні кола вимірювальних трансформаторів мають бути заземленими.

2.5 Висновки по спеціальній частині

Розроблено мікропроцесорний пристрій захисту кабельного приєднання низьковольтної електромережі, зокрема: розроблено алгоритм функціонування пристрою релейного захисту, обґрунтовано структуру пристрою, виконана принципова електрична схема, розроблено заходи щодо безпечної експлуатації пристрою захисту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі спроектована система електропостачальних підприємств по виробництву спеціального технологічного обладнання зі встановленою потужністю 950 кВт.

В першій частині розроблено мікропроцесорний пристрій захисту кабельного приєднання низьковольтної електромережі, зокрема: розроблено алгоритм функціонування пристрою релейного захисту, обґрунтовано структуру пристрою, виконана принципова електрична схема, розроблено заходи щодо безпечної експлуатації пристрою захисту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. / Бурбело М.Й. – 2-е вид., перероб. і доп. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 148 с.

2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. / Рудницький В.Г. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. – 280 с.

3. Правила безпечної експлуатації електроустановок. – К.: Держнаглядхоронпраці, 2000. – 88 с.

4. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.

5. Схемотехніка електронних систем: у 3 кн. Кн. 2. Цифрова схемотехніка: підручник / В. І. Бойко та ін. 2-ге вид., допов. і перероб. К.: Вища шк., 2004. 423 с.

6. Електротехніка та електроніка. Теоретичні відомості, розрахунки та дослідження за підтримкою комп'ютерних технологій: Навч. посіб. / Щерба А. А. та ін. К.: "Корнійчук", 2007. 488 с.

7. Релсіс, пристрій релейного захисту і противоаварійної автоматики: ст 17/60

ДОДАТОК А

Лист зауважень

Прізвище та ініціали, посада	Суть зауваження та підпис