

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ Петро ПЛЄШКОВ
“__” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

**Розробка системи електропостачання наземних
споживачів шахти по видобутку залізних руд
Development of a power supply system for ground
consumers of an iron ore mine**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-21-3ск,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Дмитро ГОЛУБОВСЬКИЙ
«__» _____ 2024 р.

Керівник роботи
доцент, к.т.н.
_____ Ігор ПЕРЕВЕРЗЄВ
«__» _____ 2024 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ Петро ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Голубовського Дмитра Андрійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання наземних споживачів шахти по видобутку залізних руд

Development of a power supply system for ground consumers of an iron ore mine

2. Керівник роботи Переверзєв Ігор Олексійович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 03.06.2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи розрахунок електричних навантажень; побудова графіків та картограми електричних навантажень; вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; розрахунок режимів реактивної потужності; вибір трансформаторів; розрахунок струмів КЗ, вибір обладнання та силових мереж; спеціальний розділ роботи

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н.Ю. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>10.04-12.04</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>13.04-23.04</i>	
3	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>24.04-26.04</i>	
4	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>27.04-1.05</i>	
5	<i>Вибір напруги і електричних схем</i>	<i>2.05-5.05</i>	
6	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>6.05-9.05</i>	
7	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>10.05-13.05</i>	
8	<i>Розрахунок струмів КЗ, вибір обладнання та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>14.05-16.05</i>	
9	<i>Розрахунок стійкості вузла навантаження будівлі підйомних машин</i>	<i>20.05-28.05</i>	
10	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>29.05-30.05</i>	
11	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>31.05-3.06</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2024 р.

Підпис керівника

Ігор ПЕРЕВЕРЗЄВ

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2024 р.

Підпис здобувача

Дмитро ГОЛУБОВСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 61 с.; 13 рис.; 13 табл.; 8 джерел

Голубовський Д.А. Розробка системи електропостачання наземних споживачів шахти по видобутку залізних руд. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Розробка системи електропостачання наземних споживачів шахти з видобутку залізних руд є важливим етапом забезпечення безперебійної та ефективної роботи шахти. Вона включає аналіз потреб, проектування схеми, вибір обладнання, розрахунок параметрів, інтеграцію системи автоматизації та управління, монтаж і введення в експлуатацію. Тільки комплексний підхід до проектування та реалізації системи електропостачання може забезпечити надійність, безпеку та економічну ефективність роботи шахти.

Стійкість вузла навантаження в будівлі підйомних машин має критичне значення для забезпечення безперебійної та безпечної роботи всього комплексу. Основними елементами, які необхідно врахувати при розрахунку стійкості, є синхронні і асинхронні високовольтні двигуни системи електропостачання.

Ключові слова: надземні споживачі, синхронні двигуни, асинхронні двигуни, стійкість режиму, критична напруга, струм КЗ, перехідні процеси, електричне навантаження.

ABSTRACT

Qualification work: 61 p.; 13 Fig.; 13 tables; 8 sources

Holubovskiy D. Development of a power supply system for ground consumers of an iron ore mine. – Manuscript.

Qualification work thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

The development of a power supply system for ground users of an iron ore mining mine is an important step in ensuring the uninterrupted and efficient operation of the mine. It includes needs analysis, scheme design, equipment selection, parameter calculation, automation and control system integration, installation and commissioning. Only a comprehensive approach to the design and implementation of the power supply system can ensure the reliability, safety and economic efficiency of mine operation.

The stability of the load node in the building of lifting machines is of critical importance to ensure the smooth and safe operation of the entire complex. The main elements that must be taken into account when calculating stability are synchronous and asynchronous high-voltage motors of the power supply system.

Key words: overhead consumers, synchronous motors, asynchronous motors, mode stability, critical voltage, short-circuit current, transient processes, electrical load.

Зміст

Розділ	Назва	Сторінка
	Перелік скорочень	6
1.	Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу	7
2.	Розрахунок електричних навантажень	8
2.1.	Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В	8
2.2.	Розрахунок освітлювального навантаження	8
2.3.	Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В	9
3.	Побудова графіків електричних навантажень	18
4.	Побудова картограми електричних навантажень та вибір місця розташування головної знижувальної підстанції (ГЗП)	22
5.	Вибір напруги і схеми зовнішнього і внутрішнього електропостачання	24
6.	Режими реактивної потужності в системі електроспоживання	31
6.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності і вибір компенсуючих пристроїв	31
6.2.	Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	33
7.	Вибір кількості, потужності трансформаторів підстанцій підприємства	35
7.1.	Вибір кількості та потужності трансформаторів ГЗП	35
7.2.	Вибір кількості та потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій	35
8.	Розрахунок струмів коротких замикань, та вибір високовольтного обладнання і високовольтних мереж	37
8.1.	Розрахунок струмів коротких замикань	37
8.2.	Вибір високовольтного обладнання	42
9.	Розрахунок стійкості вузла навантаження будівлі підйомних машин	45
10.	Висновки	55
11.	Перелік посилань	56
	Додатки	57
	Додаток А	58

					Кваліфікаційна робота				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Голубовський				Розробка системи електропостачання наземних споживачів шахти по видобутку залізних руд			Літ.	Аркуш
Перевір.	Переверзєв								
								5	61
Н.контр.	Переверзєв							ЦНТУ, гр. ЕЕ-21-3ск	
Затвер	Плешков								

Перелік скорочень

СЕП – система електропостачання

АД – асинхронний двигун

СД – синхронний двигун

ГЗП – головна знижувальна підстанція

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

ТС – трансформатор струму

ТН – трансформатор напруги

ТВП – трансформатор власних потреб

КЗ - коротке замикання

КП – компенсуючі пристрої

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Системи постачання промислових підприємств та сільського господарства створюються для забезпечення живлення електроенергією промислових та с/г приймачів електричної енергії, до них відносяться електродвигуни різних машин та механізмів, електричні печі, електролізні пристрої, апарати та машини електричної зварки, освітлювальні пристрої та інші приймачі електроенергії.

Задача електропостачання підприємств виникла одночасно з широким впровадженням електроприводу в якості рушійної сили різних машин і механізмів.

Головною проблемою сьогодні і в найближчому майбутньому являється створення раціональних систем електропостачання промислових підприємств.

В теперішній час в Україні особлива увага при створенні раціональних СЕПП, повинна приділятися розвитку енергозберігаючої політики.

Шахта здійснює видобуток залізних руд та переробку залізних руд. Залізна руда після подрібнення в підземному дробильно-бункерному комплексі горизонту 650 М видається скіпами на поверхню в дробильно-сортувальний комплекс (ДСК).

Кінцевий продукт ДСК - руда розміром 25мм, вологістю 6%, вмістом заліза 41%.

Електропостачання наземних споживачів шахти здійснюватись від ПС системи 35/10 кВ.

Опір на шинах 35кВ підстанції $x_c = 3$ Ом, відстань від ПС системи до наземних споживачів шахти $L = 5$ км.

Заданий коефіцієнт потужності $\text{tg} \varphi = 0,15$. Споживачі електроенергії відносяться до I, II-ї і III-ї категорії. Завод працює в III зміні.

Район розміщення відносяться до III-го кліматичного району. Всі будівлі і споруди відносяться до V-го ступеня вогнестійкості.

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

Виконаємо методом впорядкованих діаграм [2, 5] розрахунок електричних навантажень.

Всі розрахунки робимо в таблицях (див. Табл. 2.1).

2.2. Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахункове освітлювальне навантаження визначаємо через коефіцієнт попиту [2, 5]. Всі розрахунки робимо в Табл.2.2.

Табл.2.2 Розрахунок освітлювального навантаження наземних споживачів шахти

№ п/п	Приміщення	F, м ²	P _{уд} , Вт/м ²	K _с	P _{ро} , кВт	cos φ	tg φ	Q _{ро} , квар
1	Рудо-збагачувальна фабрика	3480	15	0,8	41,8	0,8	0,75	31,3
2	Очищення шахтних вод	560	7	0,7	2,7	0,8	0,75	2,1
3	Будівля підйому	1320	10	0,8	10,6	0,8	0,75	7,9
4	Адміністративно-побутовий комплекс	3248	18	0,9	52,6	0,7	1,02	53,7
5	Калоріферна	1200	6	0,7	5,0	0,7	1,02	5,1
6	Ремонто-механічна майстерня	2040	18	0,8	29,4	0,7	1,02	30,0
7	Будівля підйомних машин	1480	10	0,8	11,8	0,7	1,02	12,1
8	Компресорна	2040	7	0,7	10,0	0,8	0,75	7,5
9	Котельня	1670	10	0,7	11,7	0,7	1,02	11,9
10	Територія шахти	184800	0,1	0,9	16,6	0,7	1,02	17,0
					192			179

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В

Розрахунок навантаження по підстанціям наземних споживачів шахти виконаємо в табл. 2.3 з урахуванням компенсації реактивної потужності (див. розділ 6)

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _и	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _е	K _М	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{СМ}	Q _{СМ}			P _P	Q _P	S _P	
	Рудо-збогачувальна фабрика															
1	дробарки	2	90	90	180	<3	0,7	0,75	0,88	126,00	111,12					
2	живлювачі	8	18,5	18,5	321	<3	0,6	0,72	0,96	192,60	185,64					
3	грохота	8	18,5	18,5	148	<3	0,6	0,72	0,96	88,80	85,59					
4	конвеєра	6	55	110	465	<3	0,65	0,75	0,88	302,25	266,56					
	Всього по поз.1-4	24	18,5	90	1114	>3	0,64	0,74	0,91	709,65	648,909	24	1,15	818,20	648,91	1044,29
5	Очищення шахтних вод	6	75	75	450	<3	0,8	0,80	0,75	360,00	270,00	6	1,13	406,80	297,00	503,68
6	Будівля підйому	4	22	22	88	<3	0,6	0,65	1,17	52,80	61,73	4	1,53	80,63	67,90	105,41
	Адміністративно-побутовий комплекс															
	Душеві															
7	Нагрів води	2	70	70	140	<3	0,5	1	0,00	70,00	0,00					
8	нагрів повітря	2	25	25	50	<3	0,5	1	0,00	25,00	0,00					
9	електричні сауни	4	10	10	40	<3	0,3	1	0,00	12,00	0,00					
	Столова															
10	електричні плити	8	5	7,5	45	<3	0,5	1	0,00	22,50	0,00					
11	пекарский шкаф	3	3,5	3,5	10,5	<3	0,5	1	0,00	5,25	0,00					
12	холодильник	3	4	4	12	<3	0,7	0,7	1,02	8,40	8,57					
13	пристрої підзарядки	2	10	10	20	<3	0,8	0,9	0,48	16,00	7,75					
14	пральня	4	5	5	20	<3	0,6	0,7	1,02	12,00	12,24					
15	вентилятори	2	22	22	44	<3	0,7	0,75	0,88	30,80	27,16					
16	протипожежні насоси	2	22	22	44	<3	0,12	0,75	0,88	5,28	4,66					

[illegible]

Продовження Табл.2.1

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ										P _{CM}	Q _{CM}	
49	видобувні машини	2	55	55	110	<3	0,7	0,65	1,17	77,0	90,0					
50	насоси	7	90	90	630	<3	0,75	0,8	0,75	472,5	354,4					
51	дробарки	1	75	75	75	<3	0,7	0,8	0,88	52,5	46,3					
	Всього по поз.46-51	32	15	90	1355	>3	0,70	0,75	0,88	947	828,664	30	1,11	1047,5	828,7	1335,6
	Всього на 0.4 кВ	223	2,2	110	6598,2	>3	0,68	0,79	0,77	4472,39	3435,81	120	1,05	4711,4	3435,8	5831,1

Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K _и	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		n _e	K _М	Розрахункове навантаження, кВт		
		Одного	Σ	P _{СМ}					Q _{СМ}	P _P			Q _P	S _P	
Всього на 0.4 кВ													875,28	56,9	877,13
Втрати в тр-рах													10,2	58,8	
Всього на 10 кВ													885,5	115,7	893,02
РП-1															
<u>КТП-4 (2 × 630)</u>															
Котельня	23	2,2	55	485,7	>3	0,66	0,80	0,76	318,17	241,60					
Будівля підйомних машин	35	5,5	92	570	>3	0,8	0,75	0,88	456,00	402,15					
Всьго по позиціям 13-14	58	2,2	92	1055,7	>3	0,73	0,77	0,83	774,17	643,76	23	1,10	854,92	643,76	1070,19
Освітлення													23,5	24	
Компенсація														-260	
Всього на 0.4 кВ													878,42	407,8	968,44
Втрати в тр-рах													11,8	66,1	
Всього на 10 кВ													890,2	473,9	1008,51
<u>КТП-5,КТП-6 (4 × 630)</u>															
Очищення шахтних вод	6	75	75	450	<3	0,80	0,80	0,75	360,00	270,00					
Будівля підйому	4	22	22	88	<3	0,60	0,65	1,17	52,80	61,73					
Ремонто-механічна майстерня	42	3	30	375,1	>3	0,34	0,74	0,91	129,26	117,45					
Підземні споживачі	32	15	90	1355	>3	0,70	0,75	0,88	947,00	828,66					
Всьго по позиціям 16-19	84	3	90	2268,1	>3	0,66	0,76	0,86	1489,06	1277,84	50	1,09	1628,87	1277,84	2070,29
Освітлення													42,7	40	
Компенсація														-520,00	
Всього на 0.4 кВ													1671,57	797,8	1852,21

Продовження Табл.2.3

[illegible]

Продовження Табл.2.3

[illegible]

3. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Виконаємо розрахунок навантажень наземних споживачів шахти.

Розрахункове активне навантаження наземних споживачів шахти на шинах 10 кВ

$$P_{p10} = P_{10} + P_{p0,4} + P_{po} + \Delta P_{mp} \quad (3.1)$$

де $P_{p0,4}$ – 4711,4 кВт силове навантаження на 0,4 кВ (табл. 2.1.);

P_{po} – 192 кВт потужність освітлення (табл. 2.2);

ΔP_{mp} – втрати в трансформаторах;

P_{10} - високовольтне навантаження $P_{10} = 11752$ кВт (табл. 2.3)

Втрати в трансформаторах ($N = 12$ шт.) при коефіцієнті навантаження 0.7 $S_n = 630$ кВА.

$$\Delta P_{mp} = (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) \cdot 12 = (1,42 + 7,6 \cdot 0,7^2) \cdot 12 = 61,73 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{xx} = 1,42$ кВт, $\Delta P_{кз} = 7,6$ кВт

Розрахункове навантаження згідно (3.1)

$$P_{10} = 4711,4 + 192 + 61,7 + 11752 = 16717,1 \text{ кВт.}$$

Розрахункове навантаження наземних споживачів шахти з урахуванням компенсації на шинах 10 кВ буде

$$Q_{p10} = P_{p10} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 16717,1 \cdot 0,15 = 2507,6 \text{ кВар}$$

Графіки навантаження наведені на рис. 3.1-3.4.

Всі данні зводимо до табл. 3.1.

З річного графіка визначаємо витрати енергії

$$W_r = \sum_{i=1} P_i \cdot \tau_i = 16717 \cdot 296 + 16470 \cdot 592 + 15510 \cdot 888 + 15050 \cdot 212 + \\ + 14820 \cdot 424 + 14730 \cdot 296 + 13960 \cdot 636 + 13710 \cdot 444 + 13260 \cdot 212 + \\ + 12600 \cdot 444 + 12340 \cdot 318 + 11870 \cdot 592 + 11340 \cdot 318 + 10680 \cdot 424 + \\ + 8360 \cdot 2664 = 107033672 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

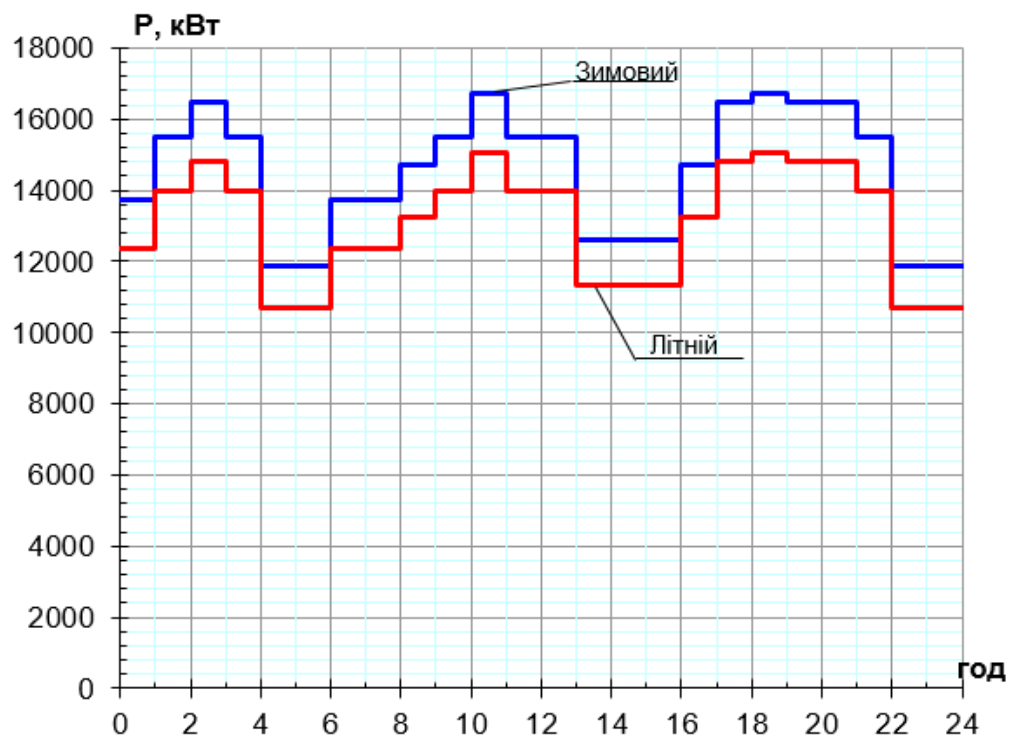


Рис.3.1 Добовий графік активного навантаження

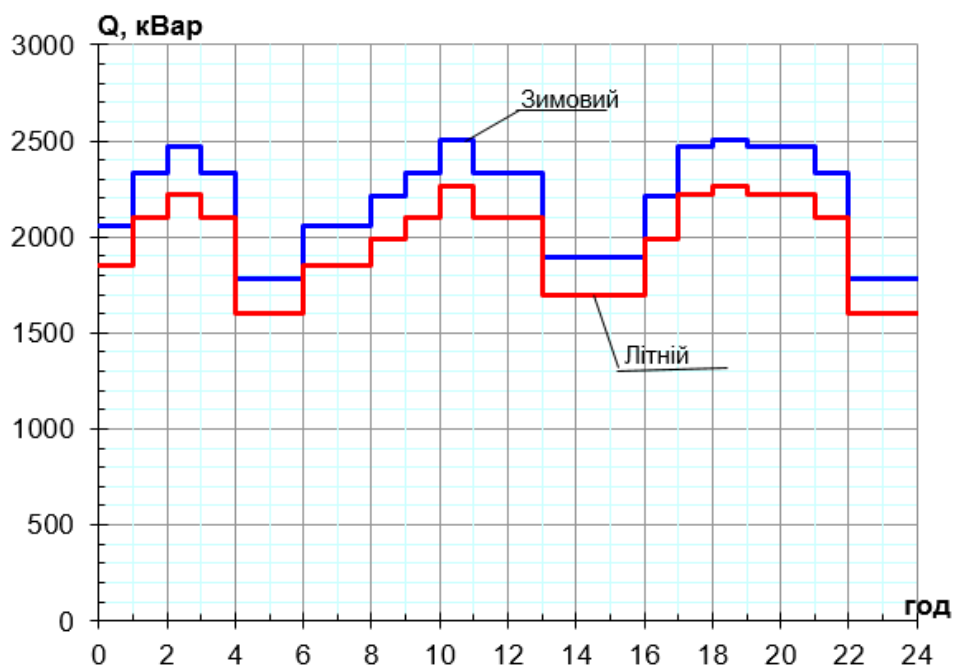


Рис.3.2 Добовий графік реактивного навантаження

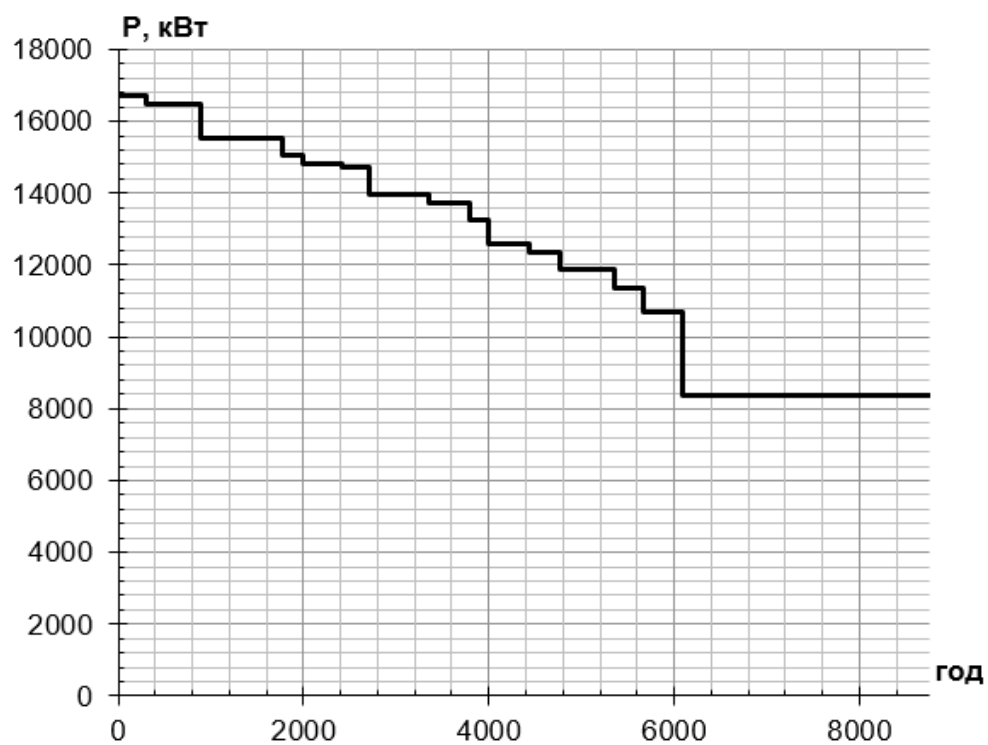


Рис.3.3 Річний графік по тривалості активної потужності.

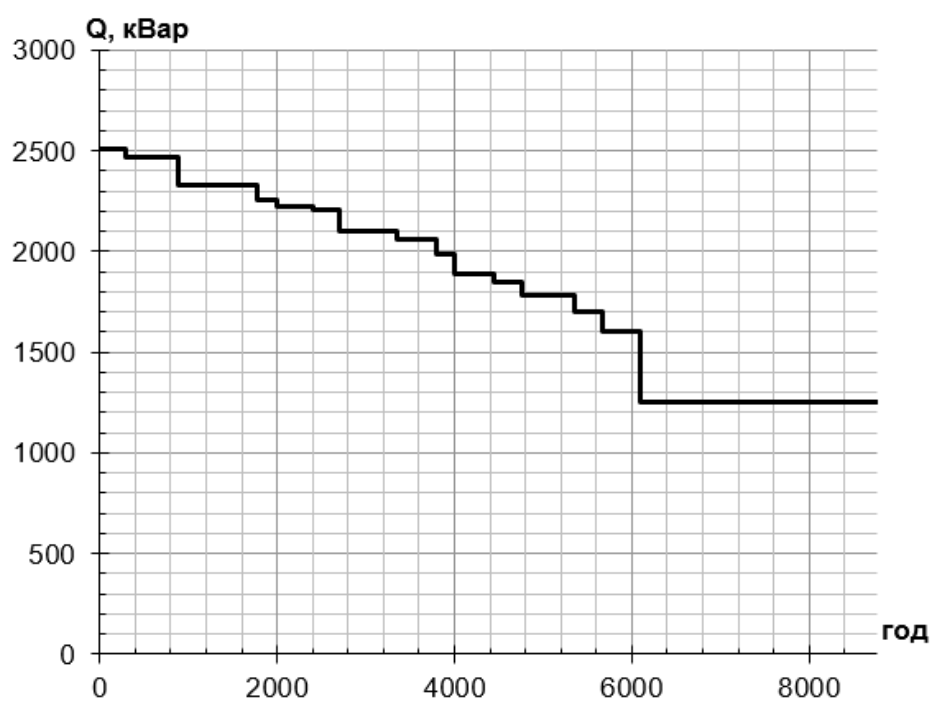


Рис.3.4 Річний графік по тривалості реактивної потужності

Табл. 3.1 Розрахунок річного графіка по тривалості

P, кВт	t, год	Q, квар	t, год
16717	296	2508	296
16470	592	2470	592
15510	888	2330	888
15050	212	2260	212
14820	424	2220	424
14730	296	2210	296
13960	636	2100	636
13710	444	2060	444
13260	212	1990	212
12600	444	1890	444
12340	318	1850	318
11870	592	1780	592
11340	318	1700	318
10680	424	1600	424
8360	2664	1250	2664
W _Г =	107 033 672	V _Г =	16 050 548

$$V_{Г} = \sum_{i=1} Q_i \cdot \tau_i = 2508 \cdot 296 + 2470 \cdot 592 + 2330 \cdot 888 + 2260 \cdot 212 + 2220 \cdot 424 + 2210 \cdot 296 + 2100 \cdot 636 + 2060 \cdot 444 + 1990 \cdot 212 + 1890 \cdot 444 + 1850 \cdot 318 + 1780 \cdot 592 + 1700 \cdot 318 + 1600 \cdot 424 + 1250 \cdot 2664 = 16050548 \text{ кВар} \cdot \text{год.}$$

Години максимального навантаження, що використовуються

$$T_M = \frac{\sqrt{W_{\varepsilon}^2 + V_{\varepsilon}^2}}{S_M} = \frac{\sqrt{107033672^2 + 16050548^2}}{16904,1} = 6402,6 \text{ год.}$$

$$\text{де } S_M = \sqrt{P_{p10}^2 + Q_{p10}^2} = \sqrt{16717,1^2 + 2507,6^2} = 16904,1 \text{ кВа}$$

$$\tau_M = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{6402,6}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 5116,7 \text{ год.}$$

4. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ГОЛОВНОЇ ЗНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІ (ГЗП)

Центр електричних навантажень наземних споживачів шахти
визначають по координатах

$$X_0 = \frac{\sum_i^n P_i \cdot X_i}{\sum_i^n P_i}, \quad (4.1)$$

$$Y_0 = \frac{\sum_i^n P_i \cdot Y_i}{\sum_i^n P_i}, \quad (4.2)$$

Розрахунок картограми виконаний та наведений у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Розрахунок картограми навантажень

№ п/п	Приміщення	Р _{осв} , кВт	Р _{0.4} кВт	Р _{сум} , кВт	α, град	Р, см	Х, см	У, см
1	Рудо-збагачувальна фабрика	41,8	818,2	860	17	2,6	31	22
2	Очищення шахтних вод	2,7	406,8	410	2	1,8	23	26
3	Будівля підйому	10,6	80,6	91	42	0,9	31	38
4	Адміністративно-побутовий комплекс	52,6	279,1	332	57	1,6	44	37
5	Калоріферна	5,0	870,3	875	2	2,6	42	46
6	Ремонто-механічна майстерня	29,4	171,0	200	53	1,3	22	39
7	Будівля підйомних машин	11,8	493,7	506	8	2,0	32	45
			3164,0	3164		5,0	32	45
8	Компресорна	10,0	568,4	578	6	2,1	46	25
			6400,0	6400		7,1	46	25
9	Котельня	11,7	372,8	384	11	1,7	24	45
				13801			39,3	32,6

Розраховуємо центр електричних навантажень

$$X = \frac{\sum_1 P_i \cdot X_i}{\sum_1 P_i} = \frac{860 \cdot 31 + 410 \cdot 23 + 91 \cdot 31 + 332 \cdot 44 + 875 \cdot 42 + 200 \cdot 22 + 506 \cdot 32}{13801} +$$

$$+ \frac{3164 \cdot 32 + 578 \cdot 46 + 6400 \cdot 46 + 384 \cdot 24}{13801} = 39,3 \text{ см}$$

$$Y = \frac{\sum_1 P_i \cdot Y_i}{\sum_1 P_i} = \frac{860 \cdot 22 + 410 \cdot 26 + 91 \cdot 38 + 332 \cdot 37 + 875 \cdot 46 + 200 \cdot 39 + 506 \cdot 45}{13801} +$$

$$+ \frac{3164 \cdot 45 + 578 \cdot 25 + 6400 \cdot 25 + 384 \cdot 45}{13801} = 32,6 \text{ см}$$

Звичайно ГЗП доцільно розміщувати в умовному центрі електричних навантажень, але при спорудженні на підприємстві головної понижувальної підстанції її розміщують із зміщенням від центра електричних навантажень в напрямку джерела живлення.

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ВИБІР НАПРУГИ І СХЕМИ ЗОВНІШНЬОГО І ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Раціональна побудова системи електропостачання промислового підприємства в основному визначається правильним вибором напруги і схеми зовнішнього електропостачання.

Питання вибору напруги більше 1000 В не може бути вирішено окремо від вибору всієї схеми електропостачання. Тому намічаються схеми електропостачання при різних комбінаціях напруг окремих ланок. Найбільш економічний варіант визначається в результаті техніко-економічного порівняння варіантів. В ряді випадків, коли показники техніко-економічного порівняння варіантів відрізняються між собою в незначній мірі слід вибрати більш високу напругу, як найбільш перспективну з точки зору розвитку підприємства.

Виходячи з цього намічаємо два варіанта зовнішнього електропостачання підприємства рис. 5.1.

Критерієм економічності схеми електропостачання являється мінімум приведених витрат.

$$Z_{\text{прив.}} = E_n * K_i + C_i + C_{\text{втр } i} + U_i$$

де C_i , K_i - поточні витрати по передачі і розподілу енергії та сумарні капіталовкладенні в i -й варіант;

$C_{\text{втр}}$ - вартість втрат енергії;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

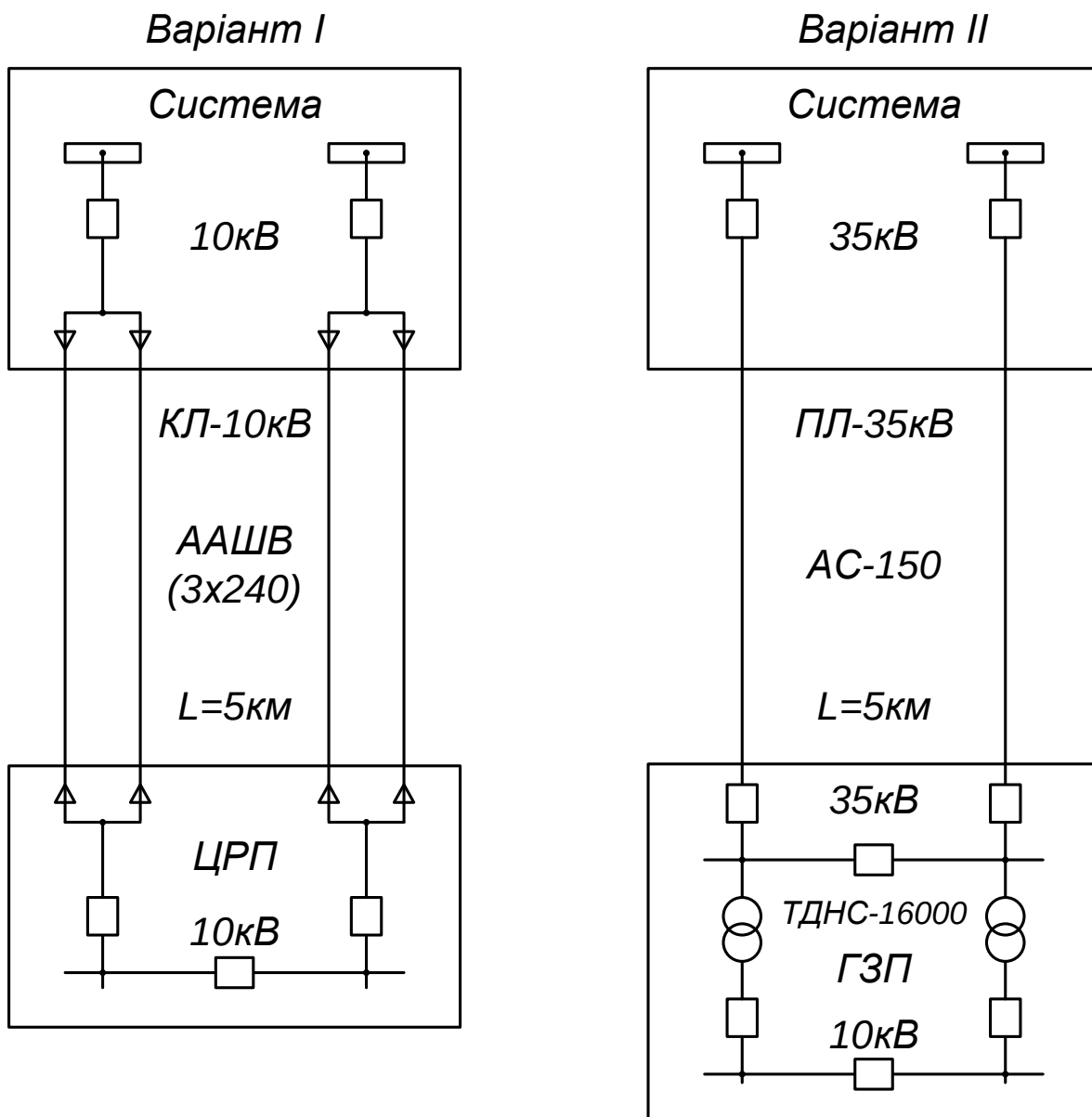


Рис.5.1 Схеми зовнішнього електропостачання

ВАРІАНТ I. Живлення виконуємо від шин 10 кВ, кабелями напругою 10 кВ.

Розрахунковий струм в лінії при $S_p = 16904,1$ кВА, див.гл.3.

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{16904,1}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 930,6 A$$

Переріз визначимо при $T_M > 5000$, $j_{ек} = 1,2$

$$F_{ек} = \frac{I_p}{4 \cdot j_{ек}} = \frac{930,6}{4 \cdot 1,2} = 194 \text{ мм}^2$$

Приймаємо для прокладки 4 кабельний ліній перерізом 240 мм^2 кожна, марка ААШВ (3х240), допустимий струм нагріву $I_{д.доп.} = 355 \text{ А}$.

Якщо 1 ланцюг в лінії вийде з ладу в роботі залишиться другий.

$$I = 2 \cdot I_{д.доп.} \cdot K_{ан} = 2 \cdot 355 \cdot 1,3 = 923 \text{ А}$$

де $K_{ан}$ - коефіцієнт аварійного перевантаження

Вартість втрат активної електроенергії

$$C_{пот} = C_0 \cdot \Delta E, \quad (5.1)$$

$$C_0 = 5,217 \text{ грн/кВт год} \quad (\text{II клас})$$

Втрати активної енергії

$$\Delta E = \Delta P_M \cdot \tau_M, \quad (5.2)$$

$$\Delta P_M = 3 \cdot I^2 \cdot R_0 \cdot l \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (5.3)$$

де l - загальна довжина кабелю $l = 5 \text{ км}$

$R_0 = 0,206 \text{ Ом/км}$ - питомий опір .

Згідно (5.3) і (5.2) при $T_M = 6402,6 \text{ год}$, $\tau_M = 5116,7 \text{ год}$. (див. розділ 3) отримуємо

$$\Delta P_M = 3 \left(\frac{930,6}{4} \right)^2 \cdot 4 \cdot 0,129 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 412,1 \text{ кВт}$$

$$C_{втр} = C_0 \cdot \Delta P_M \cdot \tau_M = 5,217 \cdot 412,1 \cdot 5116,7 \cdot 10^{-3} = 11000,3 \text{ тис. грн.}$$

ВАРІАНТ 2 Живлення наземних споживачів шахти виконується від ВРУ-35 кВ по повітряній лінії рис. 5.1 б.

Розрахунковий струм в лінії

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} = \frac{16904,1}{\sqrt{3} \cdot 37} = 264 \text{ А}$$

Переріз проводу визначаємо по економічній щільності струму $j_{ек} = 1,0$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_p}{J_{\text{ек}} \cdot 2} = \frac{264}{1,0 \cdot 2} = 132 \text{ мм}^2$$

Приймаємо 2 ланцюгову ЛЕП з проводами АС-150 мм, $I_{\text{доп}} = 450 \text{ А}$, $R_0 = 0,198 \text{ Ом/км}$.

На ГЗП попередньо вибираємо два трансформатора потужністю $S_n = 16 \text{ МВА}$ кожен. Тип ТДНС - 16000/35, $U_{\text{ВН}} = 36,75 \text{ кВ}$, $U_{\text{НН}} = 10,5 \text{ кВ}$, $\Delta P_k = 85 \text{ кВт}$, $\Delta P_{\text{хх}} = 17 \text{ кВт}$, $U_k = 10\%$, $I_{\text{хх}} = 0,7$.

Завантаження трансформаторів в номінальному режимі

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{16904,1}{2 \cdot 16000} = 0,53$$

Перевіряємо трансформатор на допустиме перевантаження в аварійному режимі

$$S_{\text{доп}} = 1,4 \times S_{\text{ном}} \times 16,000 = 22,4 \text{ МВА} > 16,9 \text{ МВА}$$

Втрати енергії в лінії 35кВ

$$\Delta E_{\text{л}} = \Delta P_{\text{л}} \cdot \tau_{\text{м}} = 103,5 \cdot 5116,7 = 529571 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

$$\text{де } \Delta P_{\text{л}} = 3 \cdot I^2 \cdot R_0 \cdot l \cdot 10^{-3} = 3 \left(\frac{264}{2} \right)^2 \cdot 2 \cdot 0,198 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 103,5 \text{ кВт}$$

Втрати енергії в трансформаторах:

$$\Delta E_{\text{тр}} = 2(\Delta P_{\text{хх}} \cdot T_{\text{с}} + \Delta P_k \cdot \tau_{\text{н}} \cdot K_3^2) = 2(17 \cdot 8760 + 85 \cdot 5116,7 \cdot 0,53^2) = 542178 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарні витрати:

$$\Delta E = \Delta E_{\text{л}} + \Delta E_{\text{тр}} = 529571 + 542178 = 1071749 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість витрат:

$$C_{\text{енп}} = \Delta E \cdot C_0 = 1071749 \cdot 4,009 \cdot 10^{-3} = 4296,6 \text{ тис.грн.}$$

$C_0 = 4,009 \text{ грн./кВт} \cdot \text{год}$. (І клас).

Витрати по варіантах наведені в Табл. 5.1-5.3.

						Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл. 5.1 Розрахунок капітальних вкладень

варіант	Елементи схеми	Кількість довжина	Вартість, од.тис.грн.	Вартість всього тис.грн.
1	Шкаф серії КРУ, з вимикачем на п/ст джерела 10 кВ	2	30	60
	Кабель ААШВ-150 ,км	20	120	2400
	Траншея,км	5	34	170
	Всього			2630
2	Шкаф з вимикачем 35кВ на п/ст системи	2	76	152
	Дволанцюгова лінія 35кВ на залізобетонних опорах,км	5	295	1475
	ВРУ-35, комплектне	1	426	426
	Силовий трансформатор ТДНС-16000/35	2	672	1344
	Всього			3397

Табл. 5.2 Розрахунок поточних витрат

варіант	Елементи схеми	K _j , тис.грн.	P _a , %	C _{aj} , тис.грн.	P _з , тис.грн.	C _{зj} , тис.грн.	C _j , тис.грн.
1	Шкаф серії КРУ, з вимикачем	60	15	9	5	3	12
	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	2570	5	128,5	5	128,5	257
	Всього						269
2	Шкаф з вимикачем 35кВ	152	15	22,8	5	7,6	30,4
	Лінія 35кВ	1475	5	73,75	5	73,75	147,5
	ВРУ-35кВ	426	15	63,9	5	21,3	85,2
	Трансформатори ТДНС-16000	1344	15	201,6	5	67,2	268,8
	Всього						531,9

Виконаємо розрахунок можливого збитку від перерви в електропостачанні

ВАРІАНТ I Параметри потоку відмови одного ланцюга

$$\lambda_{\alpha} = \sum_1^3 \lambda_{\alpha i} = 2\lambda_{\alpha \text{кл}} + \lambda_{\alpha \text{ав}} = 2 \cdot 0,02 + 0,8 = 0,84 \text{ од/рік}$$

де $\lambda_{\alpha \text{ав}}$ - пошкодження комірки з вимикачем $\lambda_{\alpha \text{ав}} = 0,02$

$\lambda_{\alpha \text{кл}}$ - пошкодження кабельної лінії $\lambda_{\alpha \text{кл}} = 8 \text{ од/рік на } 100 \text{ км}$, тоді

$$\lambda_{\alpha \text{кл}} = 8/100 \cdot 5 \cdot 2 = 0,8$$

Середній час відновлення одного ланцюга

$$T_{\text{в}} = \frac{\sum_1^3 \lambda_{\alpha i} \cdot T_{\alpha i}}{\lambda_{\alpha}} = \frac{2 \cdot 0,02 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} + 0,8 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{0,84} = 6,72 \cdot 10^{-3} \text{ років}$$

$T_{\text{вв}} = 1,1 \cdot 10^{-3}$ - час відновлення комірки з вимикачем;

$T_{\text{вкл}} = 7,0 \cdot 10^{-3}$ - час відновлення кабельної лінії.

Коефіцієнт планового простою, одного ланцюга

$$K_{\text{п}} = 1,2 \cdot K_{\text{пт}} = 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3}$$

де $K_{\text{пт}}$ - коефіцієнт планового простою елемента ланцюга, який має найбільший час планового простою, відн. од.

$K_{\text{пт}} = K_{\text{пв}} = 2 \cdot 10^{-3}$ - коефіцієнт планового простою комірки з вимикачем.

Коефіцієнт аварійного простою одного ланцюга

$$K_{\alpha} = \lambda_{\alpha} \cdot T_{\text{в}} = 0,84 \cdot 6,72 \cdot 10^{-3} = 5,64 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт аварійного простою, коли один ланцюг у плановому ремонті

$$K_{\alpha \text{п}} = 0,5 \cdot \lambda_{\alpha} \cdot K_{\text{п}}^2 = 0,5 \cdot 0,84 \cdot 2,4^2 \cdot 10^{-6} = 2,42 \cdot 10^{-6}$$

Коефіцієнт аварійного простою двох ланцюгів

$$K_{\alpha}^{(2)} = K_{\alpha}^2 + 2 K_{\alpha \text{п}} = 5,64^2 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 2,42 \cdot 10^{-6} = 36,65 \cdot 10^{-6}$$

Середній час аварійного простою

$$T_{\alpha} = K_{\alpha}^{(2)} \cdot 8760 = 36,65 \cdot 8760 = 0,32 \text{ грн.}$$

Збиток від перерви в електропостачанні

$$Y = Y_0 \cdot P_{\text{сг}} \cdot T_{\alpha} = 20,3 \cdot 12218 \cdot 0,32 = 79368 \text{ грн.}$$

де Y_0 - збиток від аварійного недовідпуску електроенергії

$Y_0 = 20,3 \text{ грн./кВт*год.}$ (з урахуванням перерахунку тарифу на електроенергію)

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_p \cdot T_m}{8760} = \frac{16717,1 \cdot 6402,6}{8760} = 12218 \text{ кВт}$$

де $P_{\text{ср}}$ - середнорічне навантаження

Розрахунок вірогідного збитку від перерви в електропостачанні варіанта II виконуємо аналогічно.

Всі результати значення по варіантах зводимо до таблиці 5.3

Табл. 5.3 Техніко-економічні показники варіантів

Показники	Варіант	
	1	2
Капітальні вкладення, тис.грн.	2630	3397
Поточні витрати, тис.грн.	269	531,9
Вартість втрат електроенергії, тис.грн.	11000,3	4296,6
Збиток, тис.грн.	82,5	79,4
Приведені витрати, тис.грн.	11667,40	5315,54

На основі техніко-економічного порівняння варіантів вибираємо варіант II, тобто живлення наземних споживачів шахти здійснюється по ПЛ-35 кВ, з спорудженням ГЗП.

5.2 Вибір напруги і схем внутрішнього електропостачання

Питання вибору напруги внутрішнього електропостачання однозначно визначається попереднім розрахунком, тобто приймаємо напругу 10 кВ.

Розподілення електроенергії на заводі може виконуватись по радіальній, магістральній або змішаній схемі, в залежності від територіального розміщення навантажень, спожитої потужності, надійності електропостачання.

6. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

6.1. Розрахунок балансу реактивної потужності і вибір компенсуючих пристроїв

Визначимо реактивне навантаження на ГЗП комбінату без урахування компенсації.

$$Q_{0.4} = Q_{p0.4} - Q_{p0} = 3435,8 + 179 = 3614,8 \text{ кВар.}$$

$$Q_{10} = Q_{p10} + Q_{0.4} + \Delta Q_{mp} = 1278,5 + 3614,8 + 355 = 5248,3 \text{ кВар.}$$

$$Q_{p10} = 0 \text{ (для синхронних двигунів)}$$

Розрахуємо реактивні втрати у трансформаторах

$$\Delta Q_{mp} = \left(\frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_n} + \frac{I_{xx\%}}{100} \cdot S_n \right) n = \left(\frac{5,5}{100} 0,7^2 \cdot 6300 + \frac{2}{100} \cdot 630 \right) 12 = 355 \text{ кВар}$$

Тоді необхідні для встановлення компенсуючи пристрої складають

$$Q_{ку} = 5248,3 - 16717,1 \times 0,15 = 2740,7 \text{ кВар.}$$

Питома вартість втрат ($C_0 = 4,009$ тис. грн./МВт год.) на електроенергію:

$$C_0 = C_0' \cdot \tau_m = 4,009 \cdot 5116,7 = 20512,9 \text{ грн./кВт}$$

Визначимо витрати на генерацію на напругу до 1 кВ і 10 кВ

$$\begin{aligned} Z_{1в} &= E \cdot K_{кв} \cdot \left(\frac{U_{*бк}}{U_*} \right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{кв} = \\ &= 0,32 \cdot 18 \left(\frac{1,05}{1} \right)^2 + 20,5129 \cdot 2,5 = 57,63 \text{ тис. грн./МВар} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{1н} &= E \cdot K_{кн} \cdot \left(\frac{U_{*бк}}{U_*} \right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{кн} = \\ &= 0,32 \cdot 36 \left(\frac{1}{1} \right)^2 + 20,5129 \cdot 4,5 = 103,83 \text{ тис. грн./МВар} \end{aligned}$$

Визначимо втрати в трансформаторах ТП як

$$\Delta P_{tp} = \frac{Q_1^2}{U_{ном}^2} R_{mp} \quad (6.1)$$

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{де } R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{ном}}^2}{N \cdot S_{\text{ном}}^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2}{N \cdot 630^2} = \frac{19,1}{N} \cdot 10^{-4}$$

Розраховуємо кількість трансформаторів

$$N_o = \frac{P}{\beta \cdot S_n} = \frac{4903,4}{0,7 \cdot 630} = 11,12 \approx 12 \text{ шт.}$$

ВАРИАНТ 1

Розраховуємо потужність, яка може бути передана в мережу до 1 кВ

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_n)^2 - P^2} = \sqrt{(12 \cdot 0,7 \cdot 0,63)^2 - 4,903^2} = 1,9905 \text{ MVar}$$

Потужність КБ на 0.4 кВ

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{р0.4}} - Q_1 = 3614,8 - 1990,5 = 1624,3 \text{ кVar.}$$

Компенсації на 10 кВ

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{ку}} - Q_{\text{кн}} = 2740,7 - 1624,3 = 1116,4 \text{ кВА}$$

Синхронні двигуни, що стоять в компресорній комбінату можуть видавати реактивну потужність. Для двигунів СТД $P_n = 1600 \text{ кВт}$, $\eta = 0,96$, $n = 3000 \text{ об/хв}$, $\cos \varphi = 0,9$ максимум генеруючої потужності складатиме:

$$Q_m = 4 \frac{\alpha_n P_n \tan \varphi_n}{\eta_n} = 4 \frac{1,27 \cdot 1600 \cdot 0,487}{0,96} = 4098 \text{ кVar}$$

$$\text{де } \alpha_n = 1,27$$

Визначимо втрати ($N_0 = 12$ тр-рів), витрати на генерацію реактивної потужності від синхронних двигунів враховувати не будемо, оскільки вони будуть присутні у всіх трьох варіантах

$$Q_{\text{сд}} = 1116,4 \text{ кVar.}$$

$$Q_{\text{кв.БК}} = 0$$

Відповідно (6.1)

$$\Delta P_{\text{тп}} = \frac{1990,5^2}{10^2} \cdot \frac{19,1}{12} \cdot 10^{-4} = 6,3 \text{ кВт}$$

Тоді розрахункові витрати складають

$$31 = 1,624 \times 103,83 + 6,3 \times 20,5129 = 298 \text{ тис. грн.}$$

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо варіант 2 (N=13) і варіант 3 (N=14), дані розрахунки зводимо в Табл. 6.1.

Обираємо варіант 1 N=12 трансформаторів, $Q_{кн} = 1624$ кВар, $Q_{кв.бк} = 0$ кВар, $Q_{сд} = 1116$ кВар.

Табл. 6.1 Варіанти компенсації реактивної потужності

Кількість тр-рів	Q_I	$Q_{кн}$	$Q_{кв}$, мВар		K_m	$\Delta P_{ТП}$	З
шт.	мВар	мВар	$Q_{БК}$	$Q_{сд}$	тис.грн.	кВт	тис.грн.
12	1,9905	1,624	0,000	1,1164	-	6,322	298,3
13	2,971	0,644	0,980	1,1164	96,0	12,997	420,7
14	3,752	0,000	1,624	1,1164	172,0	19,251	543,5

6.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

На ГЗП наземних споживачів шахти у відповідності з виконаним розрахунком встановлюємо прилади компенсації $Q_{сд} = 1116$ кВар

Для компенсації на низькій стороні обираємо комплектні конденсаторні прилади тип УК-0,38-130Н 10 штук та УК-0,38-160Н - 2 шт.

Потужність КП на 0.4 кВ складає

$$Q_{кн} = 10 \times 130 + 2 \times 160 = 1620 \text{ кВар}$$

$$Q_{кв.бк} = 0 \text{ кВар}$$

$$Q_{сд} = 1120 \text{ кВар}$$

Табл. 6.2 Вибір місця розташування і кількості КП на 0,4 кВ

Номер КТП	Кількість тр-рів	$S_{н.тр},$ кВ А	$Q_{ку},$ кВар	Місце встановлення
КТП-1	2	630	2x130	На шинах 0.4 кВ ТП
КТП-2	2	630	2x160	На шинах 0.4 кВ ТП
КТП-3	2	630	2x130	На шинах 0.4 кВ ТП
КТП-3	2	630	2x130	На шинах 0.4 кВ ТП
КТП-5	2	630	2x130	На шинах 0.4 кВ ТП
КТП-6	2	630	2x130	На шинах 0.4 кВ ТП

7. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ ПІДПРИЄМСТВА

7.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів ГЗП

ГЗП наземних споживачів шахти , виконується двотрансформаторною. Це забезпечує надійне електропостачання споживачів всіх категорій.

Вибір потужності трансформаторів ГЗП треба проводити згідно з нормами технологічного проектування підстанцій напругою 35-750 кВ. При цьому за умови виходу зі строю одного трансформатора той, що залишається, повинен забезпечити роботу підприємства на час заміни пошкодженого трансформатора з урахуванням можливого обмеження навантаження без втрат для головної діяльності підприємства і з використанням допустимого перевантаження трансформатора.

Сумарне розрахункове навантаження наземних споживачів шахти на шинах 10 кВ складає $S_p = 16904,1$ кВА. Обираємо два трансформатора $S_n = 16000$ кВА тип ТДНС-16000/35.

Перевіряємо трансформатор на допустиме перевантаження в аварійному режимі.

$$S_{\text{доп}} = 1,4 \cdot S_n = 1,4 \cdot 16 = 22,4 \text{ МВА} > 16,9 \text{ МВА}$$

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_{n.\text{тр.}}} = \frac{16904,1}{2 \cdot 16000} = 0,53$$

7.2 Вибір кількості та потужності трансформаторів та місця розташування цехових трансформаторних підстанцій

Питома щільність навантаження наземних споживачів шахти.

$$S_{\text{уд}} = \frac{S_p}{F} = \frac{16904,1}{184800} = 0,1 < 0,2$$

Виконуємо вибір кількості потужності і розміщення трансформаторів в табл. 7.1.

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл.7.1 Вибір кількості потужності і місця розташування КТП

Номер п/ст	S _р , кВ А	S _{н.тр} , кВ А	Категорія беспереб.	тип тр-рів	K _з норм. реж.	K _з авар. реж.	n, кіль- кість	місце розташування
КТП-1	979,58	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,78	1,55	2	Рудо-збогачувальна фабрика
КТП-2	943,34	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,75	1,50	2	Компресорна
КТП-3	877,13	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,70	1,39	2	Калоріферна
КТП-4	968,40	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,77	1,54	2	Котельня
КТП-5	926,10	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,74	1,47	2	Ремонто-механічна майстерня
КТП-6	926,10	630	2,3	ТМЗ-630/10	0,74	1,47	2	Ремонто-механічна майстерня

8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ, ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ І ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ

8.1 Розрахунок струмів коротких замикань

Розрахунок струмів КЗ виконаємо для однієї секції шин рис. 8.1.

Вибираємо кабель ААШВ-70мм² для живлення КТП (2 х 630 кВА)

Магістральний кабель від ГЗП до ТП-5 приймаємо ААШВ-70мм². Вибір кабелю приведений нижче.

Номінальний струм кабелю:

$$I_n = \frac{0,7 \cdot S_n \cdot n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{0,7 \cdot 630 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 49 A$$

Перетини по економічній щільності $J_{ек} = 1,2$ при $T_m > 5000$

$$F = \frac{I}{J_{ек}} = \frac{77}{1,2} = 40_{мм^2}$$

Технічні параметри трансформатора ГЗП див. розділ 5

Дані по системі: опір на шинах 35 кВ п/ст. системи $X_c = 3$ Ом

Схема для розрахунку наведена на рис. 8.1.

Результати розрахунків наведені додатку А

Струми КЗ на шинах 35 кВ ГЗП при $X_{вл} = 1$ $X_0 = 5 \cdot 0,406 = 2,03$ Ом

$$I'' = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot 5,03} = 4,3_{кА}$$

де $X_{\Sigma} = X_{вл} + X_c = 2,03 + 3 = 5,03$ Ом

Визначимо величину ударного струму на стороні 35 кВ при $R_{вл} = 1 \cdot R_0 = 5 \cdot 0,198 = 0,95$ Ом.

$$T_{\alpha} = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \cdot R_{\Sigma}} = \frac{5,03}{314 \cdot 0,95} = 0,017 C$$

$K_{уд} = 1,55$

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot K_{уд} = \sqrt{2} \cdot 4,3 \cdot 1,55 = 9,4_{кА}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

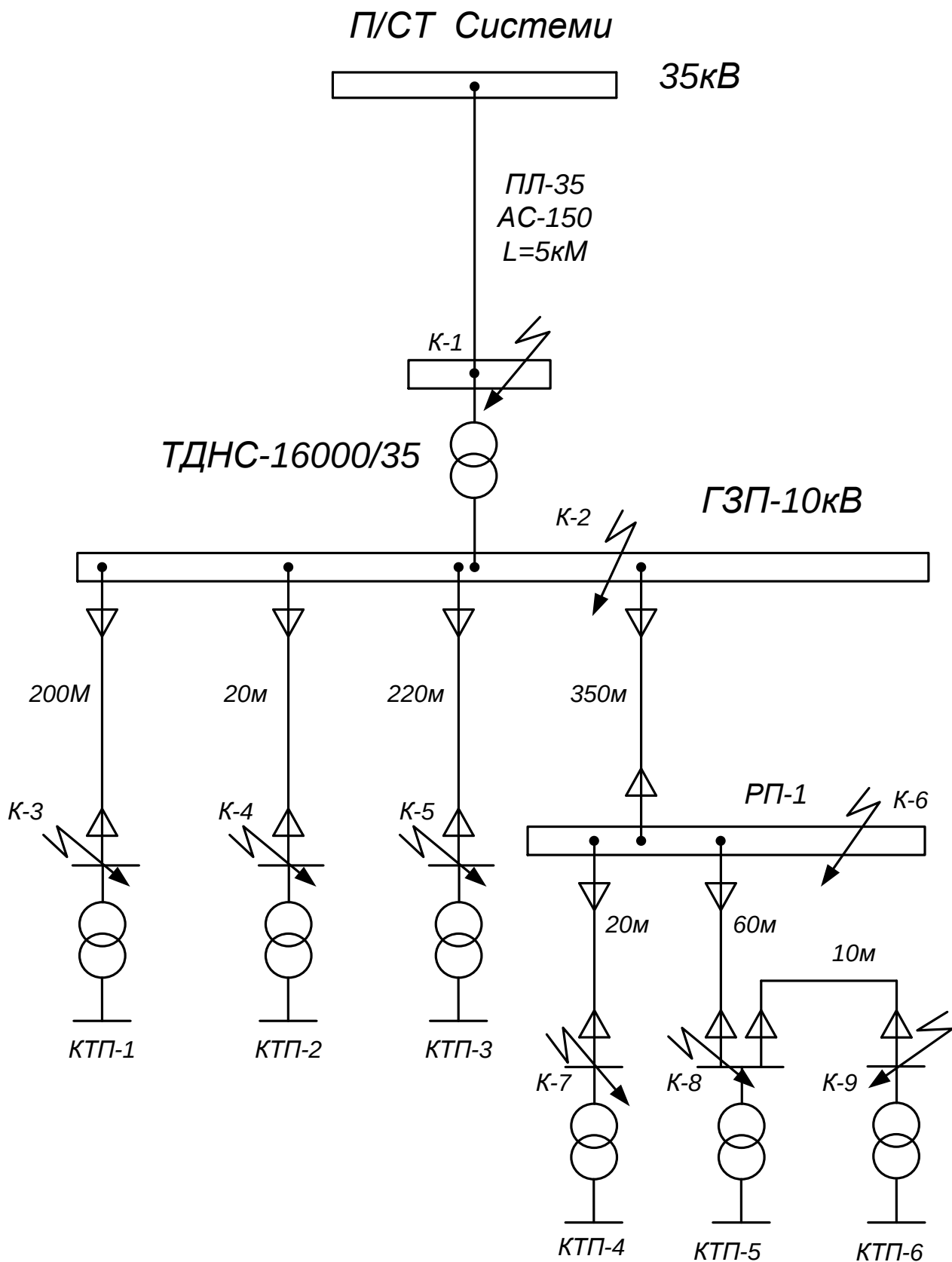


Рис.8.1 Вихідна схема до розрахунку струмів КЗ

Визначимо струм підживлення від високовольтних двигунів, передбачаємо увімкнений секційний вимикач на ГЗП.

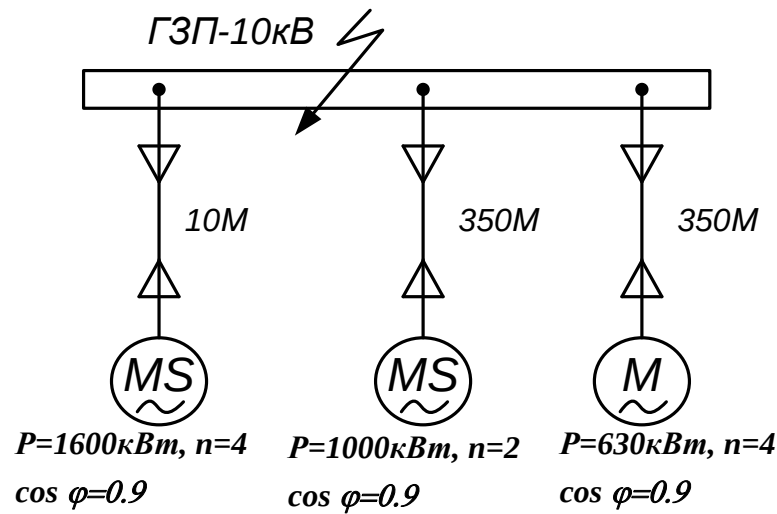


Рис. 8.2 Розрахункова схема для визначення струму підживлення.

Виконаємо розрахунок у іменованих базових одиницях.

$$\text{Приймаємо } U_6 = 10 \text{ кВ}; S_6 = \frac{P_n}{\cos \varphi} = \frac{1,6}{0,9} = 1,78 \text{ МВА}$$

Визначаємо параметри схеми заміщення Рис. 8.3

Опір синхронного двигуна $P_n = 1600 \text{ кВт}$

$$X_{d*1} = X_{d*n} \frac{S_6}{S_n} = 0,2 \frac{1,78}{1,78} = 0,2 \text{ Ом}$$

де $X_{d*n} = 0,2 \text{ Ом}$ (табл. 5.1 [5]).

Тоді еквівалентний опір двигунів (4 шт.)

$$X_{d1} = 0,2/4 = 0,05$$

Аналогічно для двох двигунів

$$X_{d2} = \frac{1}{2} X_{d*n} \frac{S_6}{S_n} = 1/2 \cdot 0,2 \frac{1,78 \cdot 0,9}{1} = 0,16$$

Для асинхронних двигунів

$$X_{d3} = \frac{1}{4} \cdot 0,2 \frac{1,78 \cdot 0,9}{0,63} = 0,127$$

Опір кабелю ААШВ – 70 мм²

$l = 0,35 \text{ км}$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	39

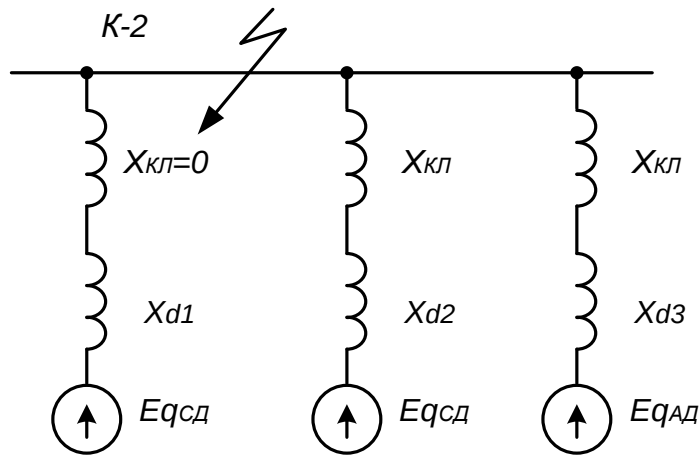


Рис. 8.3. Схема заміщення

$$X_0 = 0,086 \text{ Ом/км}, R_0 = 0,443 \text{ Ом/км}$$

$$R_{кл} = R_0 \frac{S_{\phi}}{U_{\phi}^2} = 0,35 \cdot 0,443 \frac{1}{0,9 \cdot 10^2} = 0,0027 \text{ Ом}$$

Опором $Z_{кл}$ можна знехтувати, оскільки $Z_{кл} \gg X_d$ синхронного двигуна $E_q = 1,1$, для асинхронного двигуна $E_{ад} = 0,9$.

Визначимо параметри еквівалентної схеми Рис. 8.4.

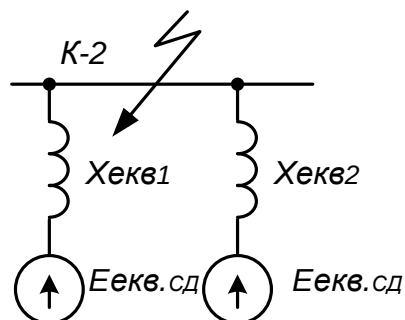


Рис. 8.4. Еквівалентна схема

$$X_{\text{екв1}} = \frac{0,05 \cdot 0,16}{0,05 + 0,16} = 0,038$$

$$X_{\text{екв2}} = X_{d3} = 0,127$$

Визначаємо струм КЗ

$$I_{\text{CD}} = \frac{E_{\text{qCD}}}{x_{\text{экв1}}} \cdot I_{\phi} = \frac{E_{\text{qCD}}}{x_{\text{экв1}}} \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3}U_{\phi}} = \frac{1,1}{0,038} \frac{1,78}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2,89 \text{ кА}$$

$$I_{\text{AD}} = \frac{E_{\text{AD}}}{x_{\text{экв2}}} \cdot I_{\phi} = \frac{E_{\text{AD}}}{x_{\text{экв2}}} \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3}U_{\phi}} = \frac{0,9}{0,127} \frac{1,78}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,71 \text{ кА}$$

Сумарний струм на шинах ГЗП з урахуванням підживлення в точці К-2 складатиме

$$I_{\text{q}} = I'' + I_{\text{CD}} + I_{\text{AD}} = 63,59 + 2,89 + 0,71 = 7,19 \text{ кА}$$

У відповідності з [8] для

синхронного двигуна $K_{\text{уд}} = 1,87$

асинхронного двигуна $K_{\text{уд}} = 1,56$

$$i_{\text{удAD}} = \sqrt{2} K_{\text{уд}} I_{\text{AD}} = \sqrt{2} \cdot 0,71 \cdot 1,56 = 1,56 \text{ кА}$$

$$i_{\text{удCD}} = \sqrt{2} \cdot 1,87 \cdot 2,89 = 7,62 \text{ кА}$$

Ударний струм в точці К-2 (див. рис. 8.1) складатиме

$$i_{\text{уд}} = i_{\text{уд}} + i_{\text{удAD}} + i_{\text{удCD}} = 7,19 + 1,56 + 7,62 = 16,37 \text{ кА}$$

Визначаємо еквівалентне значення постійного часу затухання аперіодичної складової струму

$$T_{\text{аэкв}} = \frac{T_{\text{асис}} \cdot I'' + T_{\text{аCD}} \cdot I_{\text{CD}} + T_{\text{аAD}} \cdot I_{\text{AD}}}{I_{\Sigma}} = \frac{0,01 \cdot 3,59 + 0,04 \cdot 0,71 + 0,04 \cdot 2,89}{7,19} = 0,025 \text{ с}$$

де $T_{\text{аCD}} = 0,04$ [8]

$T_{\text{аAD}} = 0,04$ [8]

$T_{\text{асис}} = 0,01$ див. табл. 8.2.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

8.2 Вибір високовольтного обладнання

Розрахункове навантаження на шинах 35 кВ з урахуванням втрат в трансформаторах ТДНС-16000/35 (кат. дані див. розділ 5).

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot (\Delta P_{\text{хх}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot K_3^2) = 2 (17 + 85 \cdot 0,53^2) = 81,8 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{тр}} = n \cdot \left(\frac{U_{\text{к\%}}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{н}}} + \frac{I_{\text{хх\%}}}{100} \cdot S_{\text{н}} \right) = 2 \left(\frac{10}{100} 0,53^2 \cdot 16000 + \frac{0,7}{100} \cdot 16000 \right) = 1123 \text{ кВар}$$

$$S_{\text{р35}} = 16717,1 + 81,8 + j (2507,6 + 1123) = 16799 + j3630,6 = 17187 \text{ кВА}$$

$$I_{\text{роб.форс}} = \frac{S_{\text{р35}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{17187}{\sqrt{3} \cdot 37} = 268,5 \text{ А}$$

Сверхперехідний струм КЗ

$$I'' = 4,3 \text{ кА} \quad (\text{див. роз. 8.1})$$

Ударний струм КЗ

$$I_{\text{уд}} = 9,4 \text{ кА} \quad (\text{для т. К1})$$

$$T_a = 0,017 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму КЗ

$$i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 4,3 \cdot e^{-\frac{0,11}{0,017}} \approx 0$$

$$\text{де } \tau = t_{\text{в}} + t_{\text{р.з. min}} = 0,1 + 0,01 = 0,11 \text{ с}$$

$t_{\text{в}}$ – власний час відключення вимикача;

Визначимо при умові $t_{\text{відкл}} > T_a$ тепловий імпульс по формулі

$$W_{\text{к}} = I''^2 (t_{\text{відкл}} + T_a) = 4,3^2 (1,6 + 0,017) = 30 (\text{кА})^2 \text{ с}$$

де $t_{\text{відкл}} = 1,6 \text{ с}$ – час спрацювання захисту і вимикача.

Вибір вимикачів тип ВР35НСМ-35-20/1600 УХЛ1 приведений в додатку А (табл. А.4).

Секційний вимикач виберемо того ж типу ВР35НСМ-35-20/1600.

Вибір роз'єднувача в ВРУ-35 кВ приведений в додатку А (табл. А.5).

Вибір вимикачів в ЗРУ- 10 кВ винесений до додатку А (табл. А.6).

Для ввідного вимикача в ЗРУ-10кВ

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{роб.форс}} = \frac{S_{p10}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{16904,1}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 930 \text{ A}$$

Сверхперехідний струм КЗ

$$I'' = 7,19 \text{ кА} \quad (\text{див. роз. 8.1})$$

Ударний струм КЗ

$$I_{\text{уд}} = 16,37 \text{ кА}$$

$$T_a = 0,01 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму КЗ

$$i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 7,19 \cdot e^{-\frac{0,11}{0,01}} \approx 0 \text{ кА}$$

$$\text{де } \tau = t_B + t_{p.z.\min} = 0,1 + 0,01 = 0,11 \text{ с}$$

Тепловий імпульс при умові $t_{\text{відкл}} > T_a$ визначимо по формулі

$$W_K = I''^2 (t_{\text{відкл}} + T_a) = 7,19^2 (1,2 + 0,01) = 62,5 \text{ (кА)}^2 \text{с}$$

Де $t_{\text{відкл}} = 1,2 \text{ с}$ – час спрацювання ввідного вимикача і захисту.

Для вимикача на магістральній лінії, що йде до РП-1.

$$I_{\text{роб.форс}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{6443,3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 355 \text{ A}$$

Для вимикача радіальної лінії

$$I_{\text{роб.форс}} = \frac{1,4 \cdot S_n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 49 \text{ A}$$

Для захисту ТВП вибираємо запобіжник (додаток А, табл. А.7).

Номінальний струм ТВП типу ТМ-60/10 рівний

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3,47 \text{ A}$$

Виконуємо вибір перетину високовольтних кабелів з урахуванням нагріву струмом, нагріву струмом КЗ, економічних міркувань табл. 8.1.

Приймаємо в результаті найбільше з значень перетину кабелю.

Вибір трансформаторів струму та напруги для мереж РЗ та А. виконуємо в додатку А (таблиці А.8-А14).

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Табл.8.1. Вибір перетину жил високовольних кабелів

[illegible]

Примітка: потужність приведена на 2 кабеля, струм на один кабель.

9. РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ БУДІВЛІ ПІДЙОМНИХ МАШИН

Аналіз стійкості вузлів навантаження є складовою частиною вирішення питання забезпечення стійкості СЕП.

Вузли навантаження з асинхронними і синхронними двигунами, відповідно, замінюються розрахунковими моделями у вигляді еквівалентних асинхронних і синхронних двигунів, рухи яких порівнюються з реальними двигунами. Від способів їх заміщення залежить похибка їх заміщення.

Якщо характерні групи двигунів вузла навантаження підключена до центру живлення з напругою $U_c = \text{const}$ через електричну мережу (рис. 9.1), то умови стійкості вузла навантаження в значній мірі залежить від параметрів електричної мережі (z_{en}) і режиму роботи всіх електроприймачів.

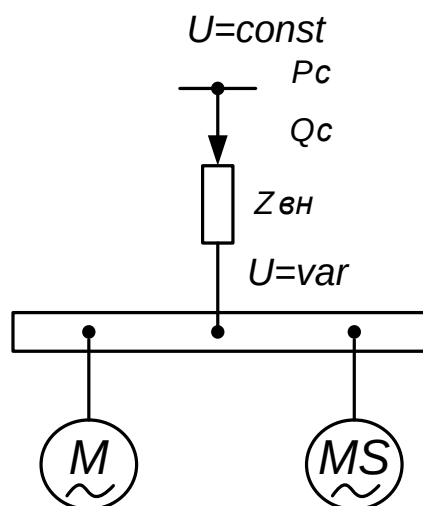


Рис. 9.1 Розрахункова модель вузла навантаження.

У цьому випадку напруга U вузла навантаження є змінною величиною значення якої залежить від зміни цих факторів. Отже, стабільність вузла навантаження оцінюється на основі незалежної напруги змінного струму в вузлі навантаження з використання. побічні критерії.

$$\frac{d\Delta Q}{dU} < 0 \quad (9.1)$$

Відповідно до стандарту (9.1), статична стійкість оцінюється по порушенню балансу реактивної потужності вузла навантаження, викликаному зниженням напруги.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					45

Для точки рівноваги режиму необхідно використовувати умову рівноваги $U_c = U_n$, і в цьому оточенні – нерівність:

$$\frac{d(Q_c - Q_n)}{dU} < 0$$

Метод вивчення збільшення реактивної потужності $\Delta Q = Q_c - Q_n$ вибирається в залежності від вихідних даних про вузол навантаження.

Якщо відсутності статичних характеристик навантаження стійкість аналізується за допомогою графічного опису рівняння:

$$\Delta Q = Q_c - Q_{a.дв.} + Q_{c.дв.} \quad (9.2)$$

Залежно від залежності його правої складової від напруги в вузлі навантаження. У рівнянні (9.2) $Q_{c.дв.}$ береться із „+” у режимі двигуна з випереджаючим $\cos \varphi_n$.

Метою графоаналітичного аналізу є встановлення меж статичної стійкості режиму відповідно до умов (9.1).

Наступні компоненти використовуються для вимірювання небалансу реактивної потужності (9.2). Вихід реактивної потужності від ЕС змінюється відповідно до потужності у вузлі навантаження, і це співвідношення показано рівнянням (9.3).

$$Q_c = (-U^2 - P_n r_{вн} + \sqrt{U_c^2 U^2 - P_n^2 x_{вн}}) / x_{вн} \quad (9.3)$$

Реактивну потужність, спожиту еквівалентним асинхронним двигуном, можна розрахувати за допомогою такої формули (9.4)

$$Q_{a.дв.} = Q_{a.дв.ном} \left(CU_*^2 + \frac{m}{\left(\frac{m_{a*} U_*^2}{m} + \sqrt{\frac{m_{max}^2 U_*^4}{m^2} - 1} \right) \operatorname{tg} \varphi_{ном}} \right) \quad (9.4)$$

де $Q_{a.дв.ном}$ - номінальна реактивна потужність, що споживається двигуном;

U_* - напруга (у відносних одиницях) на зажимах двигуна;

m - коефіцієнт завантаження двигуна;

m_{max} - кратність максимального моменту;

$$C = \left(1 - \frac{m}{(m_{max} + \sqrt{m_{max}^2 - 1}) \operatorname{tg} \varphi_{ном}} \right) \quad (9.5)$$

					Арк.
					46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Можна розрахувати еквівалентну реактивну потужність синхронного двигуна:

$$Q_{c.дв.} = S_{c.дв.ном} \left(\frac{\sqrt{\left(\frac{k_{\epsilon} U_*}{k_{\epsilon\alpha}}\right)^2 - \left(\frac{x_{*d} \cdot P_{c.дв.}}{S_{c.дв.ном}}\right)^2} - U_*^2}{x_{*d}} \right) \quad (9.6)$$

де k_{ϵ} - кратність струму збудження;

$$k_{\epsilon\alpha} \approx \frac{1}{x_{*d} \cdot m_{\max} \cdot \cos \varphi_{ном}} - \text{аналогічно при холостому ході.}$$

Графік використовується для знаходження найвищої точки (9.2). у дослідженні. При виконанні умови $\frac{d\Delta Q}{dU} < 0$ стабільність вузла навантаження порушується, оскільки зниження напруги свідчить про збільшення споживаної реактивної потужності.

Зі збільшенням дефіциту реактивної потужності напруга зменшується. Цей процес може спричинити втрату рівноваги всього вузла навантаження та відомий як лавина напруги.

Виконуємо аналіз статичної стійкості вузла навантаження, що складається з асинхронного двигуна напругою 10 кВ і синхронного електродвигуна.

Відповідна схема показана на рисунку 9.2.

Розраховуємо для відповідної схеми заміщення параметри на рисунку 9.3. Зробимо розрахунки у відносних базових одиницях.

Приймаємо $U_{\epsilon} = 10 \text{ кВ}$.

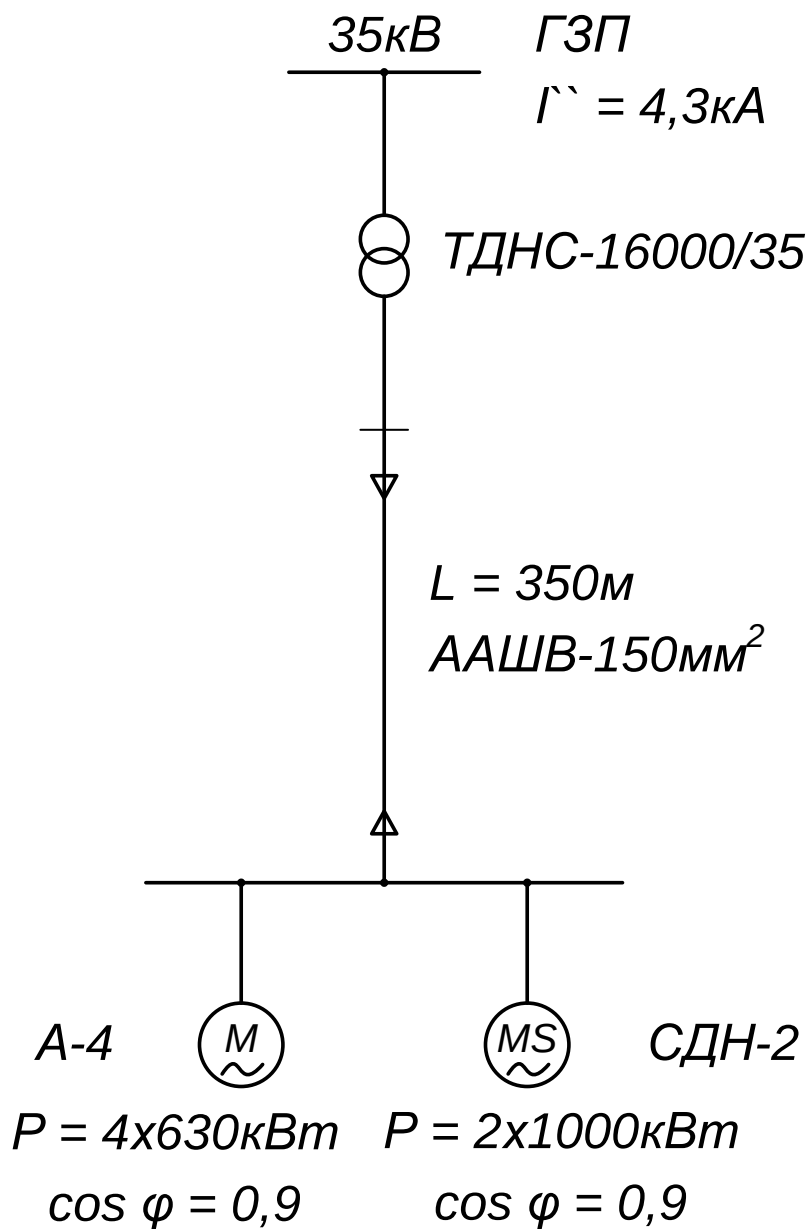


Рис. 9.2. Вихідна схема вузла навантаження для розрахунку стійкості конструкції вантажопідйомної машини.

Вузол навантаження оснащений 4 двигунами: асинхронним серії А4 і 2-ма синхронними СДН-2. Розглянемо найжорсткіший режим, коли один трансформатор ГПП вимкнений.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

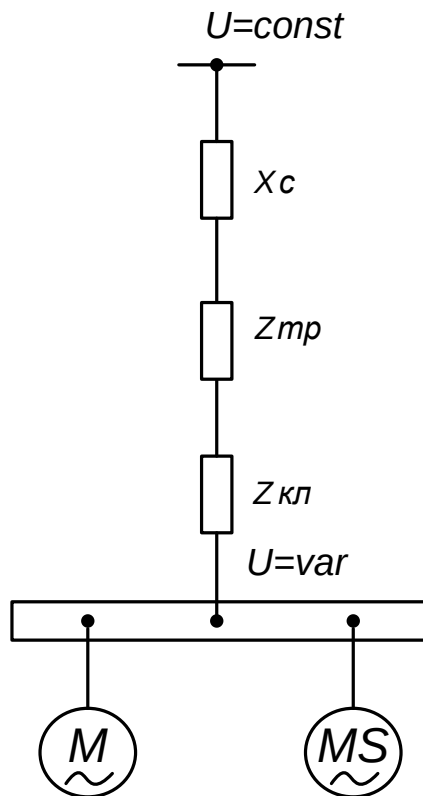


Рис. 9.3. Схема заміщення.

Приймаємо:

$$S_{\sigma} = 4S_{a.дв.ном.} + 2S_{СДДно} =$$

$$4 \frac{P_{a.дв.ном.}}{\eta \cos \varphi_n} + 2 \frac{P_{СДДном.}}{\eta \cos \varphi_n} = 4 \frac{0,63}{0,9 \cdot 0,9} + 2 \frac{1,0}{0,9 \cdot 0,9} = 5,58 MVA$$

$$S_{\sigma} = 5,58 MVA$$

Опір системи (у відносних одиницях)

$$x_c = \frac{I_{\sigma}}{I_c''} = \frac{0,32}{4,3} = 0,075$$

де
$$I_{\sigma} = \frac{5,58}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,32 kA$$

Таким чином опір трансформатора ТМН-16000 з наступними паспортними даними $S_n = 16000 kVA$, $\Delta P_{кз} = 85 kVt$, $U_k = 10\%$.

$$z_{mp} = \frac{U_k \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.тр.}} = \frac{10 \cdot 5,58}{100 \cdot 16} = 0,035$$

Опір кабельної лінії (у відносних одиницях) при $R_0 = 0.206 \text{ Ом/км}$,

$x_0 = 0,079 \text{ Ом/км}$,

$$r_{кл} = R_0 l \frac{S_{\phi}}{U_{\phi}^2} = 0,206 \cdot 0,35 \frac{5,58}{10^2} = 0,004$$

$$x_{кл} = x_0 l \frac{S_{\phi}}{U_{\phi}^2} = 0,079 \cdot 0,35 \frac{5,58}{10^2} = 0,0015$$

$$R_{mp} = \Delta P_{кз} \frac{S_{\phi}}{S_{н.мп.}^2} = 0,085 \frac{5,58}{10^2} = 0,0047$$

$$S_{mp} = \sqrt{z_{mp}^2 - r_{mp}^2} = \sqrt{0,035^2 - 0,0047^2} = 0,0346$$

Отримуємо опір мережі, що живить:

$$r_{\text{вн}} = r_{mp} + r_{кл} = 0,0047 + 0,004 = 0,0087$$

$$x_{\text{вн}} = x_c + x_{mp} + x_{кл} = 0,075 + 0,0346 + 0,0015 = 0,1111$$

Параметри еквівалентного СД:

для нормального режиму

$$S_{*a.дв.ном.} = \frac{4 \cdot P_{a.дв.ном.}}{\eta \cdot \cos \varphi \cdot S_{\phi}} = \frac{4 \cdot 0,63}{0,9 \cdot 0,9 \cdot 5,58} = 0,558$$

$$P_{*a.дв.ном.} = \frac{4 \cdot P_{a.дв.ном.}}{\eta \cdot S_{\phi}} = \frac{4 \cdot 0,63}{0,9 \cdot 5,58} = 0,5$$

$$Q_{a.дв.ном.} = P_{*a.дв.ном.} \operatorname{tg}(\arccos 0.9) = 0.5 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0.9) = 0.242$$

При $U_{*\phi} = 1$ для вихідного режиму

$$P_{a.дв.} = m P_{*a.дв.ном.} = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45$$

$$Q_{*a.дв.} = Q_{*a.дв.ном.} \left[C + \frac{m}{\left(\frac{m_{\max}}{m} + \sqrt{\left(\frac{m_{\max}}{m} \right)^2 - 1} \right) \operatorname{tg} \varphi_{ном}} \right] =$$

$$= 0,242 \left[0,592 + \frac{0,9}{\left(\frac{1,9}{0,9} + \sqrt{\left(\frac{1,9}{0,9} \right)^2 - 1} \right) 0,48} \right] = 0,359$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	50

$$\text{де } C = 1 - \frac{1}{(m_{\max} + \sqrt{m_{\max}^2 - 1}) \operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}}} = 1 - \frac{1}{(1,9 + \sqrt{1,9^2 - 1}) \operatorname{tg}(\arccos 0,9)} = 0,592$$

Параметри еквівалентного СД:

для нормального режиму

$$S_{*c, \text{дв. ном.}} = \frac{2P_{c, \text{дв. ном.}}}{\eta \cdot \cos \varphi \cdot S_{\phi}} = \frac{2 \cdot 1,0}{0,9 \cdot 0,9 \cdot 5,58} = 0,442$$

$$P_{*c, \text{дв. ном.}} = \frac{2P_{c, \text{дв. ном.}}}{\eta \cdot S_{\phi}} = \frac{2 \cdot 1,0}{0,9 \cdot 5,58} = 0,398$$

для вихідного режиму ($U_{*\phi} = 1$)

$$P_{*c, \text{дв.}} = mP_{*c, \text{дв. ном.}} = 0,9 \cdot 0,398 = 0,358$$

$$\kappa_{\phi, x} = \frac{1}{x_{*d} \cdot m_{\max} \cdot \cos \varphi_n} = \frac{1}{1,2 \cdot 2,6 \cdot 0,9} = 0,356$$

$$Q_{*c, \text{дв.}} = \frac{S_{*c, \text{дв. ном.}} \left(\sqrt{\left(\frac{\kappa_{\phi}}{\kappa_{\phi, x}} \right)^2 - \left(\frac{x_{*d} \cdot P_{*c, \text{дв.}}}{S_{*c, \text{дв. ном.}}} \right)^2} - 1 \right)}{x_{*d}} =$$

$$= \frac{0,442 \sqrt{\left(\frac{1}{0,356} \right)^2 - \left(\frac{1,2 \cdot 0,398}{0,442} \right)^2} - 1}{1,2} = 0,425$$

Потужність, що потрапляє від системи у вузол навантаження:

$$P_{*c} = P_{*a, \text{дв.}} + P_{*c, \text{дв.}} = 0,45 + 0,358 = 0,808$$

$$Q_{*c} = Q_{*a, \text{дв.}} + Q_{*c, \text{дв.}} = 0,242 - 0,425 = -0,183$$

При ($U_{*co} = \text{const}$) у вихідному режимі напруга на шинах системи

$$U_{*co} = \sqrt{\left(U_{*\text{дв.}} + \frac{P_{*c} \cdot r_{\text{вн}} + Q_{*c} \cdot x_{\text{вн}}}{U_{*\text{дв.}}} \right)^2 + \left(\frac{P_{*c} \cdot x_{\text{вн}} - Q_{*c} \cdot r_{\text{вн}}}{U_{*\text{дв.}}} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{(1 + 0,808 \cdot 0,087 - 0,183 \cdot 0,1111)^2 + (0,808 \cdot 0,1111 + 0,183 \cdot 0,087)^2} = 1,084$$

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При зміні напруги у вузлі навантаження баланс реактивної потужності не підтримується. Визначаємо реактивну потужність вузла навантаження:

реактивна потужність, що потрапляє від системи відповідно до (9.3)

$$Q_{*c}(U_*) = \left(-U_*^2 - 0.808 \cdot 0.0087 + \sqrt{1.084^2 U_*^2 - 0.808^2 \cdot 0.1111^2} \right) / 0.1111$$

$$Q_{*c}(U_*) = 7.407 \left(-U_*^2 - 0.087 + \sqrt{1.175 U_*^2 - 0.0105} \right)$$

реактивна потужність еквівалентного АД відповідно до (9.4)

$$Q_{*a.дв.}(U_*) = 0.242 \left[0.592 U_*^2 + \frac{0.9}{\left(\frac{1.9 \cdot U_*^2}{0.9} + \sqrt{\frac{1.9^2 \cdot U_*^4}{0.9^2} - 1} \right) \cdot 0.48} \right]$$

$$Q_{*a.дв.}(U_*) = 0.232 U_*^2 + \frac{0.3528}{\left(2.1 U_*^2 + \sqrt{4.457 U_*^4 - 1} \right) 0.698}$$

реактивна потужність еквівалентного СД відповідно до (9.6)

$$Q_{*c.дв.}(U_*) = \left[\frac{\sqrt{\frac{U_*^2}{0.356^2} - \left(\frac{1.2 \cdot 0.398}{0.442} \right)^2} - U_*^2}{1.2} \right]$$

$$Q_{*c.дв.}(U_*) = 0.26 \left(\sqrt{7.89 U_*^2 - 0.947} - U_*^2 \right)$$

У таблиці 9.1 узагальнені результати розрахунків, що становлять баланс реактивної потужності при різних напругах у вузлі навантаження, і показані на рисунку 9.4.

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл.9.1

Результат розрахунку при різних значеннях напруги складових балансу реактивної потужності

U_*	Q_{*c}	$Q_{*a.дв.}$	$Q_{*c.дв.}$	ΔQ_*
0,66	1,37	-	0,3	-
0,69	1,317	0,569	0,31	1,058
0,7	1,29	0,5	0,32	1,11
0,72	1,25	0,46	0,326	1,116
0,75	1,16	0,41	0,34	1,09
0,8	0,99	0,37	0,36	0,98
0,85	0,79	0,36	0,38	0,81
0,9	0,54	0,35	0,4	0,59
0,95	0,26	0,35	0,41	0,32
1,0	-0,06	0,359	0,425	0

Проаналізувавши по критерію $\frac{d\Delta Q}{dU} = 0$, що приведений на рисунку 9.4, отримуємо критичну напругу у вузлі навантаження $U_{*кр.} = 0,725$. Запас статичної стійкості:

$$K_{zn} = \frac{1 - 0,725}{1} \cdot 100 = 27,5\%$$

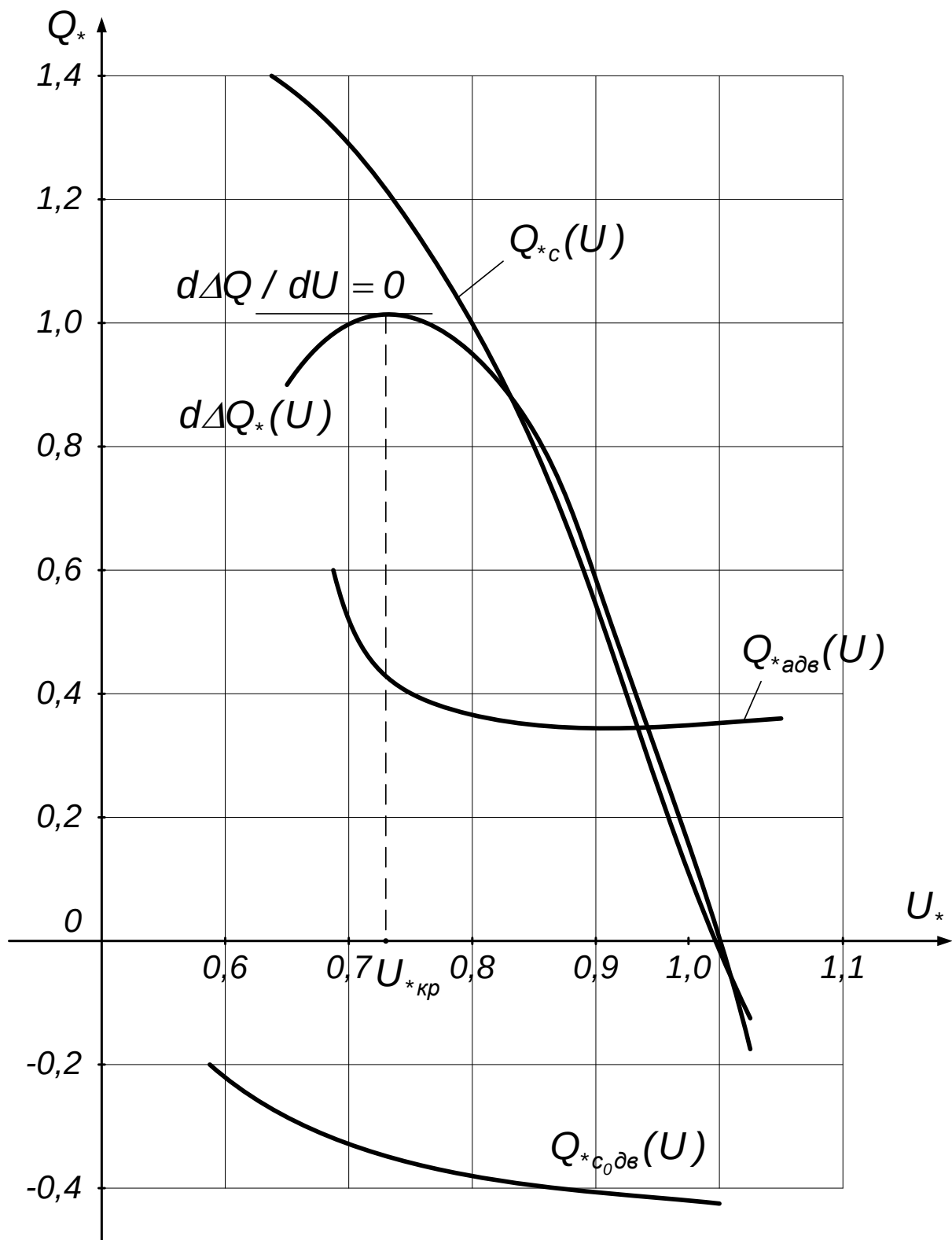


Рис.9.4 Змінення характеристик, які складають баланс реактивної потужності

10. ВИСНОВКИ

Розробка системи електропостачання наземних споживачів шахти з видобутку залізних руд є важливим етапом забезпечення стабільної та ефективної роботи шахти. Система електропостачання повинна враховувати специфічні потреби та умови роботи шахти, забезпечувати надійність, безпеку та економічність.

При розрахунку навантаження всіх цехів і надземних споживачів шахти в цілому сумарна потужність склала 16,7 МВт.

Техніко-економічного порівняння варіантів зовнішнього електропостачання показало, що варіант живлення шахти по повітряній лінії 35кВ із спорудженням ГЗП більш доцільний.

На основі розрахунків струмів КЗ було виконаний вибір високовольтного обладнання, силових кабелів та приладів комерційного та технічного обліку електроенергії.

Аналіз стійкості вузла навантаження, який живить високовольтні асинхронні та синхронні двигуни показує, що критична напруга у вузлі навантаження складає $U^*_{кр}=0,725$, запас статичної стійкості 27,5%.

Таким чином, вузол навантаження має достатній рівень стійкості для забезпечення надійної роботи високовольтних асинхронних та синхронних двигунів, що є гарантує стабільну роботу всього електропостачального комплексу шахти.

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.

2. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.

3. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.]; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.

4. Правила улаштування електроустановок. Відокремлений підрозділ «Науково-проектний центр розвитку Об'єднаної енергетичної системи України» державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго» (НПЦР ОЕС України). Наказ Міністерства енергетики України від 21.07.2017 №476, 2017. – 617 с.

5. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

6. Енергетичний інжиніринг та менеджмент. Проектування ефективних енергетичних систем: навч. посіб. / П. Г. Плешков, С. В. Серебренніков, О. І. Сіріков, І. В. Савеленко; ред.: Плешков П. Г. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 156 с.

7. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роб. для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.

8. Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів. Вид.2-е, / Г. Г. Півняк, В. М. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен / За ред. Академіка НАН України Г. Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002. – 597 с.

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Табл.А.1 Розрахунок виконується для схеми ШАХТА

		Сопротивления системы					
Имя ЦП	R тр.ЦП НН	X тр.ЦП НН	Rсист (к НН ЦП)	Xсист (к НН ЦП)			
Режим		MAX	MIN	MAX	MIN		
-	[Om]	[Om]	[Om]	[Om]	[Om]	[Om]	
ГПП	.044	.306	.389	.457	.432	1.372 1.439	

Табл.А.2 Розрахунок виконується для схеми ШАХТА

		Струми КЗ в максимальному режимі				
N п/п	Початок	Кінець	Z траси	(к Ун ВН)	I кз 3-фазн.	I кз удар.
-	-	-	[Ом]	[Ом]	[кА]	[кА]
1	00	ГПП	.507	1.715	3.5922	7.0872
2	ГПП	КТП-1	.596	1.733	3.4204	6.4797
	НН	КТП-1	.004	.015	15.2073	29.7449
3	ГПП	КТП-2	.516	1.717	3.5743	7.0215
	НН	КТП-2	.004	.015	15.3141	30.1330
4	ГПП	КТП-3	.605	1.734	3.4041	6.4245
	НН	КТП-3	.004	.015	15.1956	29.7024
5	ГПП	РП-1	.579	1.743	3.4440	6.5853
6	РП-1	КТП-4	.588	1.745	3.4275	6.5285
	НН	КТП-4	.004	.015	15.2124	29.7814
7	РП-1	КТП-5	.584	1.744	3.4357	6.5568
	НН	КТП-5	.004	.015	15.2183	29.8028

Табл.А.3 Розрахунок виконується для схеми ШАХТА

			Струми КЗ в мінімальному режимі			
N п/п	Початок	Кінець	Z траси	(к Ун ВН)	I кз 3-фазн.	Iкз 2-фаз.
-	-	-	[Ом]	[Ом]	[кА]	[кА]
1	00	ГПП	.471	1.782	3.2773	2.8382
2	ГПП	КТП-1	.559	1.799	3.1246	2.7060
	НН	КТП-1	.004	.015	14.2298	12.3234
3	ГПП	КТП-2	.480	1.784	3.2614	2.8244
	НН	КТП-2	.004	.015	14.3294	12.4096
4	ГПП	КТП-3	.568	1.801	3.1101	2.6935
	НН	КТП-3	.004	.015	14.2189	12.3139
5	ГПП	РП-1	.543	1.810	3.1462	2.7247
6	РП-1	КТП-4	.552	1.811	3.1316	2.7120
	НН	КТП-4	.004	.015	14.2346	12.3275
7	РП-1	КТП-5	.547	1.811	3.1389	2.7183
	НН	КТП-5	.004	.015	14.2401	12.3323

Табл.А.4 Вибір вимикача в ВРУ-35 кВ тип ВР35НСМ-35-20/1600

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	35 кВ	35 кВ
$I_{роб.форс} \leq I_{дл.н}$	268,5А	1600А
$I'' \leq I_{дин.с}$	4,3кА	20кА
$I_y \leq \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{д.с.}$	9,4кА	50,8кА
$I_{nt} \leq I_{відк.н}$	9,4кА	20кА
$i_{ат} + i_{nt} \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл.н} \cdot (1 + \beta_n)$	9,4кА	28,2кА
$B_k \leq I_{т.н}^2 \cdot t_{т.н}$	30 (кА) ² с	1200 (кА) ² с

Табл. А.5 Вибір роз'єднувача тип РНД3-35 Б/1000

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	35 кВ	35 кВ
$I_{роб.форс} \leq I_{дл.н}$	268,5 А	1000 А
$I_y \leq I_{дин.с}$	9,4 кА	63 кА
$B_k \leq I_{т.н}^2 \cdot t_{т.н}$	30 (кА) ² с	625 (кА) ² с

Табл.А.6 Вибір вимикачів в ЗРУ-10 кВ

Параметри вимикача	Умови вибору	Перевірка умов вибору			
		Ввідний	Секційний	Лінійний (КТП-2х630)	Лінійний до РП-1
Номинальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_n$	10=10	10=10	10=10	10=10
Довготривалий номінальний струм, А	$I_{роб.форс} \leq I_{дл.н}$	930 ≤ 1000	465 ≤ 630	49 ≤ 630	355 ≤ 630
Ном. струм дин. стійкості, кА симетричний і асиметричний	$I'' \leq I_{дин.с}$ $i_y \leq \sqrt{2} \cdot I_{д.с} \cdot I_{д.с}$	7,19<20 16,4<51	7,19<20 16,4<51	7,19<20 16,4<51	7,19<20 16,4<51
Ном. струм відключення, кА симетричний асиметричний	$I_{нт} \leq I_{відкл.н}$ $i_{ат} + i_{нт} \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл.н} \cdot (1 + \beta_n)$	7,19<20 7,19 ≤ 28	7,19<20 7,19 ≤ 28	7,19<20 7,19 ≤ 28	7,19<20 7,19 ≤ 28
Тепловий імпульс(кА ²)с	$B_k \leq I_{т.н}^2 \cdot t_{т.н}$	62,5 ≤ 3200	42 ≤ 3200	25 ≤ 3200	25 ≤ 3200
Тип		ВР-2-10-20/1000УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ

Табл.А.7 Запобіжник типу ПКН001-10-5-20У1 для захисту ТВП

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_n \leq I_{н.пл.вс}$	3,47 А	5 А
$I'' \leq I_{відкл}$	7,19 кА	20 кА

Табл.А.8. Вибір трансформатору струму ТВТ-35-І-300/5

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	35 кВ	35 кВ
$I_{р.макс} \leq I_n$	268,5 А	300 А
$I_y \leq K_d \cdot \sqrt{2} \cdot I_n$	9,4 кА	21 кА
$B_k \leq I_m^2 \cdot t_m$	30 (кА) ² с	1323 (кА) ² с
$Z_2 \leq Z_{2н}$	0,4 Ом	0,6 Ом

Табл.А.9. Завантаження фаз контрольно вимірювальними приладами

Прилади	Тип	Потужність В А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Э-377	0.1	0.1	0.1
Лічильник активної та реактивної енергії	ZFB/405	0.3	0.3	0.3
Всього		0.4	0.4	0.4

Табл.А.10. Вибір ввідного ТС типу ТПОЛ-10-1000

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{р.мах} \leq I_H$	930 А	1000 А
$I_y \leq K_d \sqrt{2} \cdot I_H$	16,4 кА	97 кА
$B_k \leq (K_m I_H)^2 \cdot t_m$	62,5 (кА) ² с	2187 (кА) ² с
$Z_2 \leq Z_{2н0.5}$	0,358	0,4

Табл.А.11. Завантаження вторинного ланцюга трансформатора струму

Обладнання	Тип	Навантаження В А	
		Фаза А	Фаза В
Амперметр	Е-377	0.1	0.1
Лічильник активної енергії	САЗУ-5007	1.5	1.5
Ватметр	Д-365	0.5	0.5
Всього		2.1	2.1

Табл.А.12. Вибір ТС відходячих ліній ТПЛ-10-75

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{р.мах} \leq I_H$	48 А	75 А
$I_y \leq K_d \sqrt{2} \cdot I_H$	16,4 кА	27 кА
$B_k \leq (K_m I_H)^2 \cdot t_m$	21,2 (кА) ² с	34 (кА) ² с
$Z_2 \leq Z_{2н0.5}$	0,434	0,6 Ом

Табл.А.13. Навантаження вторинної мережі ТН

Прилад	Тип	Кіль- кість	Потужність			
			Р, Вт	Р _Σ , Вт	Q, Вар	Q _Σ Вар
1	2	3	4	5	6	7
Лічильник активної енергії	САЗУ	8	1,5	12	5,8	46,4
Лічильник реактивної енергії	СРЧУ-5008	2	1,5	3	5,8	11,6
Комбінований лічильник	ZFB/405	1	9	9	4,5	4,5
Вольтметр	Е-337	1	2	2		
Ватметр	Д-365	7	1,5	10,5		
Варметр	Д-365	2	1,5	3		
Всього :				39,5		62,5

Табл.А.14. Вибір ТН типу НАМИТ-10

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$S_{\Sigma} \leq S_{H0.5}$	74 В · А	120 ВА