

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

«Вибір параметрів високовольтних електричних мереж та захисту
від ураження блискавкою»

Спеціальність 6.141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав

студент гр. ЕТдн-74Гл

_____ В.Є. Неспанов

Керівник

к.ф.-м.н., доцент

_____ М.В. Петровський

Суми 2021

РЕФЕРАТ

с. 70, рис. 15, табл. 20.

Бібліографічний опис: Неспанов В.Є. Вибір параметрів високовольтних електричних мереж та захисту від ураження блискавкою [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавр; спеціальність 6.141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В.Є. Неспанов; керівник М.В. Петровський. – Суми: СумДУ, 2021. – 70 с.

Ключові слова:

лінія електропередавання, трансформатор, напруга, струм, вимикач;

линия электропередачи, трансформатор, напряжение, ток, выключатель;

power line, transformer, voltage, current, circuit breaker.

Об'єкт дослідження: електрична мережа високої напруги.

Короткий огляд.

Зроблений розрахунок нормального режиму роботи замкнутої електричної мережі. Обрана напруга мережі, перерізи проводів ліній електропередач, а також типи трансформаторів на підстанціях. Для обраної підстанції проведена перевірка правильності вибору номінальної потужності встановлених трансформаторів. Здійснений вибір високовольтних апаратів розподільчого пристрою, вимірювальних трансформаторів струму й напруги. Для трансформаторів підстанції виконаний розрахунок релейного захисту: поздовжнього диференційного струмового захисту та максимального струмового захисту з комбінованим пуском по напрузі. Проведений розрахунок блискавкозахисту понижувальної підстанції, що виконаний у вигляді стрижневих блискавковідводів.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ.....	8
1.1 Вихідні дані для виконання бакалаврської роботи.....	8
1.2 Визначення напруги мережі та вибір типу проводів повітряної лінії	9
1.3 Вибір потужності трансформаторів	10
1.4 Визначення параметрів схеми заміщення.....	13
1.5 Розрахунок розімкненої мережі.....	14
1.6 Розрахунок замкненої мережі	16
1.7 Розрахунок електричної мережі в післяаварійному режимі.....	22
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДСТАНЦІЇ.....	27
2.1 Вибір силових трансформаторів та їх перевірка за графіком навантаження .	27
2.2 Розрахунок струмів короткого замикання.....	29
2.3 Вибір захисної та комутаційної апаратури.....	32
2.4 Вибір збірних шин.....	35
2.5 Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги.....	38
2.6 Обґрунтування схеми електричних з'єднань підстанції	44
2.7 Вибір трансформаторів власних потреб	46
2.8 Компонування розподільних пристроїв на боці 110 кВ.....	48
2.9 Компонування розподільних пристроїв на боці 10кВ.....	48

					БР 5.6.141.283 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Вибір параметрів високовольтних електричних мереж та захисту від ураження блискавкою. Пояснювальна записка.	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
Розробив		Неспанов					4	70
Керівник		Петровський						
Консульт.								
Н. контроль								
Завтвер.		Лебединський			СумДУ, ЕТдн-74Гл			

3 РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА	50
3.1 Визначення параметрів, необхідних для розрахунку захистів трансформатора	50
3.2 Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту	51
3.3 Вибір уставок реле типу ДЗТ-11.....	54
3.4 Розрахунок максимального струмового захисту з комбінованим пуском по напрузі	59
4. РОЗРАХУНОК ЗОН ЗАХИСТУ СТРИЖНЕВИХ БЛИСКАВКОВІДВОДІВ ВРП.....	62
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	69

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

В умовах безперервного розвитку промисловості країни з'являється усе більше й більше нових підприємств, які вносять вклад у збільшення енергоспоживання. Слід також зауважити, що зі збільшенням числа енергоспоживаючих об'єктів, розширюється щільність географічного розташування споживачів електричної енергії. У зв'язку із цим з'являється потреба в розширенні існуючих мереж і в створенні нових. Зростаюча кількість енергоспоживаючих об'єктів веде до збільшення потужностей, які передаються по електричних мережах. Одним із найголовніших завдань сьогодні є економічне використання існуючого електричного обладнання й розробка нового з поліпшеними параметрами.

Виконання бакалаврської роботи необхідно з метою:

- придбання досвіду аналізу отриманих результатів, формування висновків і публічного захисту виконаної роботи;
- формування навичок використання отриманих знань, під час розв'язання конкретних практичних і науково-технічних задач;
- придбання досвіду виконання технічної документації пояснювальної записки й креслень відповідно до умов діючих стандартів;
- систематизації, закріплення й поглиблення теоретичних і практичних знань по загальнотехнічних і спеціальних дисциплінах за напрямком професійної підготовки.

У процесі виконання бакалаврської роботи необхідно вирішити такі задачі:

1. За заданими навантаженнями і довжинами ліній вибрати напругу мережі.
 2. За напругами мережі й навантаженнями вибрати тип проводів повітряних ліній.
 3. За напругами мережі й навантаженнями вибрати трансформатори.
 4. Визначити питомі параметри ЛЕП і каталожні дані трансформаторів.
- Виконати розрахунки параметрів схеми заміщення лінії й трансформаторів. Визначити приведені до сторони ВН навантаження трансформаторів (з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів).

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Скласти розрахункову схему заміщення мережі й визначити розрахункові навантаження вузлів мережі (з урахуванням втрат у гілці намагнічування трансформаторів і реактивної потужності, яка генерується лініями).

6. Виконати розрахунки нормального режиму замкненої мережі (усі лінії включені в роботу) для двох випадків: режим максимального навантаження (задані) і режим мінімального навантаження (прийняти рівною 50% від заданої). Визначити напруги у вузлах мережі, втрати напруги й втрати потужності в мережі. Виконати аналіз отриманих результатів.

7. При необхідності запропонувати способи регулювання напруги у вузлах навантаження.

8. Для обраної підстанції, яка входить до складу розглянутої мережі, виконати перевірку вибору потужності силових трансформаторів, установлених на підстанції.

9. Розрахувати струми короткого замикання для забезпечення захисту підстанції.

10. Вибрати за умовами роботи високовольтні апарати розподільних пристроїв підстанції й перевірити їх на можливість спрацювання в умовах короткого замикання.

11. Виконати розрахунки релейного захисту високовольтної повітряної лінії, побудувати карту селективності.

12. Провести розрахунок блискавкозахисту захисного ВРП.

13. Зробити висновки про результати виконаних розрахунків.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

1 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

1.1 Вихідні дані для виконання бакалаврської роботи

Згідно з отриманим завданням, необхідно розрахувати електричну мережу, однолінійна електрична схема якої наведена на рис. 1.1.

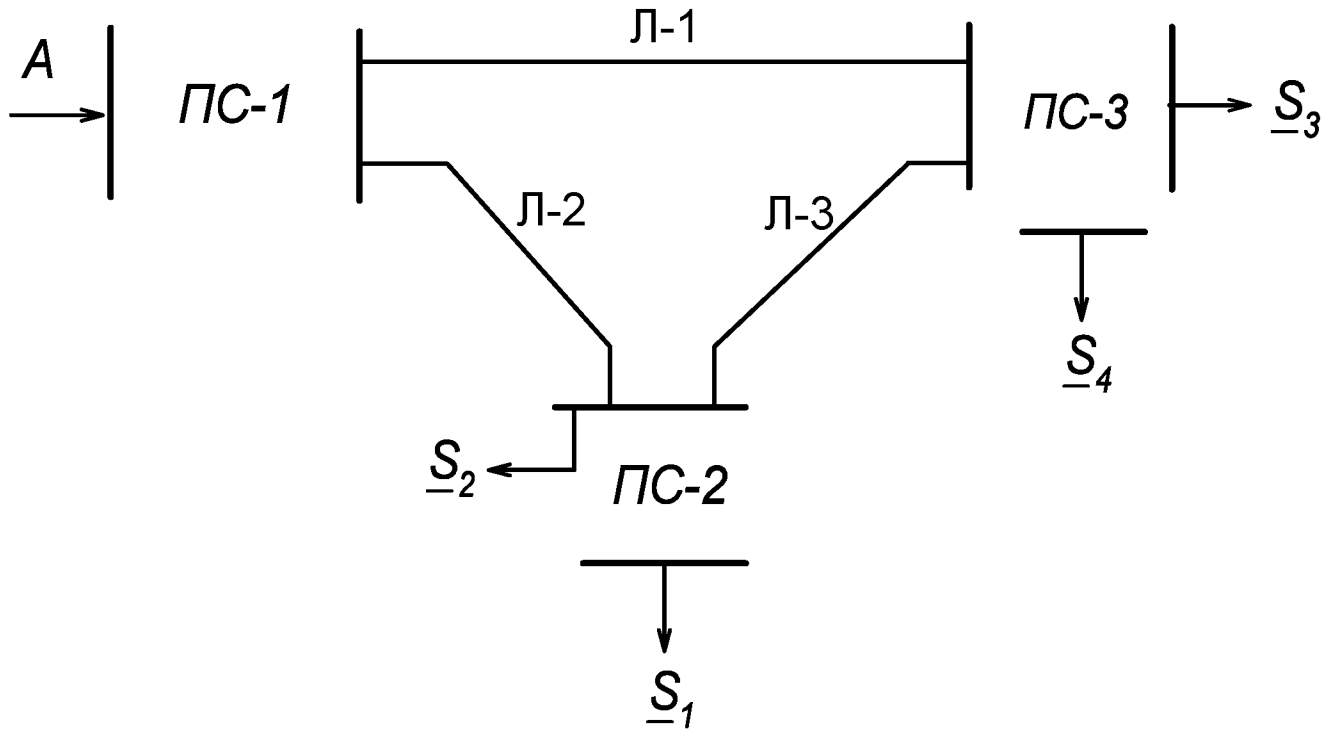


Рисунок 1.1 – Вихідна однолінійна електрична схема з'єднань заданої електричної мережі

Довжини ліній і потужності навантажень електричної мережі наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані електричної мережі

Довжина ПЛ, км			Потужності навантажень, МВА			
Л-1	Л-2	Л-3	S_1	S_2	S_3	S_4
50	50	40	$\frac{30+j15}{I}$	$\frac{70+j60}{II}$	$\frac{15+j35}{II}$	$\frac{45+j15}{III}$

1.2 Визначення напруги мережі та вибір типу проводів повітряної лінії

1. Визначаємо потужності в окремих лініях

$$\underline{S}_{\Sigma 2} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 = 100 + j75 \text{ МВА};$$

$$\underline{S}_{\Sigma 3} = \underline{S}_3 + \underline{S}_4 = 60 + j50 \text{ МВА}.$$

$$\underline{S}_{12} = \frac{\underline{S}_{\Sigma 2} \cdot l_{231} + \underline{S}_{\Sigma 3} \cdot l_{31}}{l_{1231}} = \frac{(100 + j75) \cdot 90 + (60 + j50) \cdot 50}{140} = 85,71 + j66,07 \text{ МВА}.$$

$$\underline{S}_{13} = \frac{\underline{S}_{\Sigma 2} \cdot l_{321} + \underline{S}_{\Sigma 1} \cdot l_{21}}{l_{1321}} = \frac{(60 + j50) \cdot 90 + (120 + j95) \cdot 50}{130} = 74,29 + j58,93 \text{ МВА}.$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_{12} - \underline{S}_{\Sigma 2} = (85,71 + j66,07) - (100 + j75) = -14,29 - j8,93 \text{ МВА}.$$

2. Виходячи з довжин ліній і величини переданої по них потужності, орієнтовно визначимо напруги окремих ліній по емпіричній формулі Ілларіонова:

$$U_l = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_l}}},$$

де L – довжина лінії, км;

P_l – передана по лінії потужність (на одне коло), МВт.

$$U_{13} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{50} + \frac{2500}{74,29}}} = 151,4 \text{ кВ}.$$

$$U_{12} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{50} + \frac{2500}{85,71}}} = 159,8 \text{ кВ}.$$

$$U_{23} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{40} + \frac{2500}{14,29}}} = 73 \text{ кВ}.$$

3. Оскільки для всіх ліній кільцевої мережі бажано мати однакову напругу, то приймаємо напругу $U_H = 110$ кВ.

Тоді на високій стороні трансформатора ПС-1 номінальна напруга складе 220 кВ.

Для того, щоб забезпечити виконання умови припустимого спадання

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

напруги на самому віддаленому споживачі електроенергії, приймаємо напругу на джерелі живлення, що на 10% перевищує номінальну напругу мережі:

$$U_A = 242 \text{ кВ.}$$

4. У якості проводів для всіх ліній приймаємо сталевалюмінієві проводи марки АС.

5. Визначаємо довгостроково припустимі струми в лініях для нормального робочого режиму:

$$I_{13} = \frac{S_{13} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{74,29^2 + 58,93^2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 498 \text{ А.}$$

$$I_{12} = \frac{S_{12} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{85,71^2 + 66,07^2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 568 \text{ А.}$$

$$I_{23} = \frac{S_{23} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{14,29^2 + 8,93^2} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 88,4 \text{ А.}$$

6. Користуючись довідковими даними (табл. 1.2, [4]), у відповідності із шкалою стандартних перерізів, а також з урахуванням можливого перевантаження ліній при роботі в аварійному режимі, вибираємо тип проводу для кожної лінії:

для лінії Л-1: АС-240/32;

для лінії Л-2: АС-240/32;

для лінії Л-3: АС-240/32.

7. Перевіряємо обрані проводи в лініях за умовою корони.

Згідно Правил, мінімально допустимий переріз по короні для ліній напругою 110 кВ становить 70 мм².

Таким чином, для кожної з ліній ця умова виконана.

8. Характеристики проводів повітряної лінії наведені в табл. 1.2.

1.3 Вибір потужності трансформаторів

1. Для підстанції ПС-1, яка має навантаження $\underline{S}_{\Sigma 1} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 + \underline{S}_4 = 160 + j125 \text{ МВА}$, приймаємо установку 2 трансформаторів

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

з напругою на високій стороні 220 кВ, потужністю:

Таблиця 1.2 – Каталожні дані проводів повітряної лінії

Параметри	Марка проводу
	АС-240/32
<i>Каталожні дані</i>	
Переріз проводу, мм ²	240/32
Довгостроково припустимий струм, А	605
<i>Розрахункові дані</i>	
Питомий активний опір лінії при температурі +20°C, r ₀ (Ом/км)	0,12
Питомий реактивний опір, x ₀ (Ом/км)	0,405
Питома ємнісна провідність лінії, b ₀ · 10 ⁻⁶ (См/км)	2,81

$$S_{T1} \geq \frac{S_{\Sigma 1}}{1,4} = \frac{\sqrt{160^2 + 125^2}}{1,4} = 145,03 \text{ МВА.}$$

По табл. 1.4.7 [4] вибираємо автотрансформатор загального призначення типу АТДЦТН-200000/220/110.

2. Коефіцієнт завантаження його в нормальному режимі:

$$k_{\text{з1}} = \frac{S_{\text{макс}}}{S_T} = \frac{\sqrt{160^2 + 125^2}}{2 \cdot 200} = 0,51.$$

3. Для підстанції ПС-2, яка має навантаження $\underline{S}_1 = 30 + j15$ МВА, зважаючи на те, що її споживачі відносяться до I категорії надійності електропостачання, приймаємо установку 2 двохобмоткових трансформаторів з напругою на високій стороні 110 кВ.

$$S_{T2} \geq \frac{S_1}{1,4} = \frac{\sqrt{30^2 + 15^2}}{1,4} = 23,96 \text{ МВА.}$$

По табл. 1.4.2 [4] вибираємо автотрансформатор загального призначення типу ТРДН-25000/110.

4. Коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі:

$$k_{\text{з2}} = \frac{S_{\text{макс}}}{S_T} = \frac{\sqrt{30^2 + 15^2}}{2 \cdot 25} = 0,67.$$

Умови виконуються.

5. Для підстанції ПС-3 яка має навантаження $\underline{S}_{\Sigma 2} = 60 + j50$ МВА та напруга

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

на високій стороні 110 кВ, зважаючи на те, що її споживачі відносяться до II та III категорії надійності електропостачання, приймаємо установку 1 трьохобмоткового трансформатора потужністю:

$$S_{T3} \geq \underline{S}_{\Sigma 2} = \sqrt{60^2 + 50^2} = 78,1 \text{ МВА.}$$

По табл. 1.4.2 [1] вибираємо трансформатор загального призначення типу ТДТН-80000/110.

2. Коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі:

$$k_{z3} = \frac{S_{\text{макс}}}{S_T} = \frac{\sqrt{60^2 + 25^2}}{80} = 0,81.$$

Умови виконуються.

Таблиця 1.3 – Каталогні дані трансформаторів мережі

Параметри	Тип трансформатора		
	АТДЦТН-200000/220	ТРДН-25000/110	ТДТН-80000/110
1	2	3	4
Номінальна потужність, $S_{\text{ном}}$ (МВ·А)	200	25	80
Номінальні напруги обмоток, кВ			
вищої напруги, $U_{\text{ном.вн}}$	230	115	115
середньої напруги, $U_{\text{ном.сн}}$	121	—	38,5
нижчої напруги, $U_{\text{ном.нн}}$	10,5	10,5	11
Втрати, кВт			
холостого ходу, ΔP_x	125	27	82
короткого замикання, ΔP_k	430	120	390
Напруга короткого замикання між обмотками, % від $U_{\text{ном}}$			
вищої – нижчої напруг, $U_{\text{к.в-н}}$	11	10,5	11
вищої - середньої напруг, $U_{\text{к.с-н}}$	32	—	18,5
середньої - нижчої напруг, $U_{\text{к.с-н}}$	20	—	7
Струм холостого ходу, I_x (% від $I_{\text{ном}}$)	0,5	0,7	0,6

1	2	3	4
Активний опір обмоток, R_T (Ом)			
обмотка ВН	0,3	2,54	0,4
обмотка СН	0,3	—	0,4
обмотка НН	0,6	—	0,4
Реактивний опір обмоток, X_T (Ом)			
обмотка ВН	30,4	175	18,6
обмотка СН	0	—	0
обмотка НН	54,2	—	11,9
Втрати потужності в обмотках, Δq_x (кВАр)	1000	410	480

1.4 Визначення параметрів схеми заміщення

1. Для заданої схеми мережі складаємо схему заміщення:

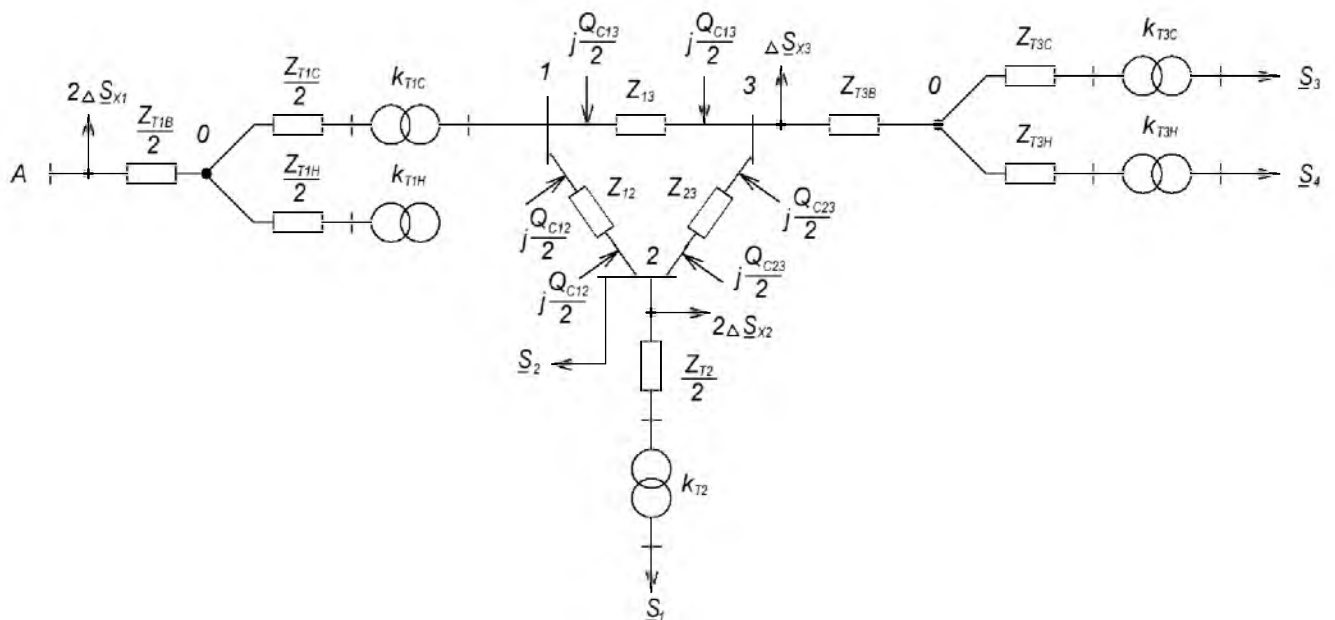


Рисунок 1.2 – Схема заміщення замкненої мережі

2. Розраховуємо параметри схеми заміщення ліній (рис. 1.2).

Лінія Л-1:

$$R_{13} = r_0 l_{13} = 0,12 \cdot 50 = 6,0 \text{ Ом};$$

$$X_{13} = x_0 l_{13} = 0,405 \cdot 50 = 20,25 \text{ Ом};$$

$$\frac{Q_{C13}}{2} = \frac{U_H^2 b_0 l_{13}}{2} = \frac{110^2 \cdot 2,81 \cdot 10^{-6} \cdot 50}{2} = 0,85 \text{ МВАр.}$$

Лінія Л-2:

$$R_{12} = r_0 l_{12} = 0,12 \cdot 50 = 6,0 \text{ Ом};$$

$$X_{12} = x_0 l_{12} = 0,405 \cdot 50 = 20,25 \text{ Ом};$$

$$\frac{Q_{C12}}{2} = \frac{U_H^2 b_0 l_{12}}{2} = \frac{110^2 \cdot 2,81 \cdot 10^{-6} \cdot 50}{2} = 0,85 \text{ МВАр.}$$

Лінія Л-3:

$$R_{23} = r_0 l_{23} = 0,12 \cdot 40 = 4,8 \text{ Ом};$$

$$X_{23} = x_0 l_{23} = 0,405 \cdot 40 = 16,2 \text{ Ом};$$

$$\frac{Q_{C23}}{2} = \frac{U_H^2 b_0 l_{23}}{2} = \frac{110^2 \cdot 2,81 \cdot 10^{-6} \cdot 40}{2} = 0,68 \text{ МВАр.}$$

3. Параметри схеми заміщення трансформаторів наведені в табл. 2.

1.5 Розрахунок розімкненої мережі

1. Оскільки в заданій схемі є лінії двох номінальних напруг – 110 кВ і 220 кВ, то параметри лінії А1 розраховуємо при номінальній напрузі 220 кВ.

Складаємо розрахункову схему мережі (рис. 1.3).

2. Приведені до сторони ВН навантаження визначаємо як суму потужностей, заданих на шинах НН, втрат в обмотках, вітках намагнічування трансформаторів мінус зарядні потужності ліній, приєднаних до підстанцій.

$$\underline{S}_p = (P_{нагр} + \Delta P_{xx} + \frac{(S_{нагр})^2}{U_{ном}^2} \cdot R_T) + j(Q_{нагр} + \Delta Q_{xx} + \frac{(S_{нагр})^2}{U_{ном}^2} \cdot X_T - \Sigma \Delta Q_c).$$

3. Визначаємо розрахункове навантаження:

а) приведені до сторони ВН трансформаторної підстанції Т-2:

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

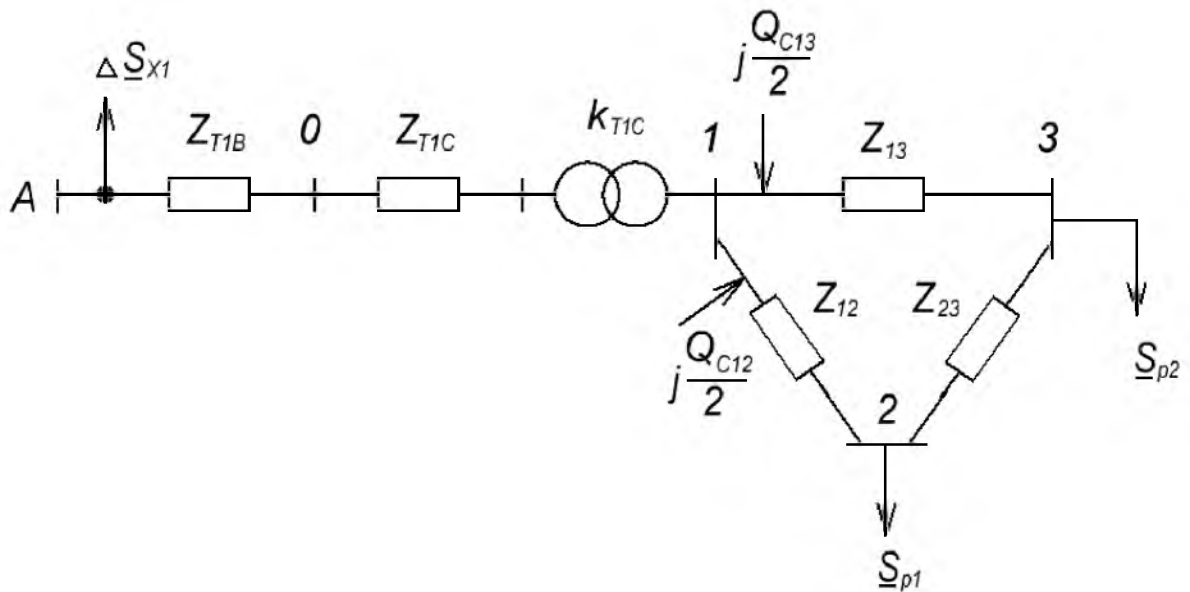


Рисунок 1.3 – Розрахункова схема змішаної мережі

$$\underline{S}_{p1} = (P_{нагр1} + 2\Delta P_{x2} + \frac{P_{нагр1}^2 + Q_{нагр1}^2}{U_{ном}^2} \cdot \frac{R_{T2}}{2} + P_{нагр2}) +$$

$$+ j(Q_{нагр1} + 2\Delta Q_{x2} + \frac{P_{нагр1}^2 + Q_{нагр1}^2}{U_{ном}^2} \cdot \frac{X_{T2}}{2} + Q_{нагр2} - \frac{Q_{C12}}{2} - \frac{Q_{C23}}{2});$$

$$\underline{S}_{p1} = \left(30 + 2 \cdot 0,027 + \frac{30^2 + 15^2}{110^2} \cdot \frac{2,54}{2} \right) +$$

$$+ j \left(15 + 2 \cdot 0,175 + \frac{30^2 + 15^2}{110^2} \cdot \frac{55,9}{2} - 0,85 - 0,68 \right) = 100,17 + j76,42 \text{ МВА.}$$

б) приведенe до сторони ВН трансформаторної підстанції Т-3:

$$\underline{S}'_{p2} = (P_{нагр4} + P_{нагр3} + \frac{P_{нагр4}^2 + Q_{нагр4}^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{Т3Н} + \frac{P_{нагр3}^2 + Q_{нагр3}^2}{U_{ном}^2} \cdot R_{Т3С}) +$$

$$+ j(Q_{нагр4} + Q_{нагр3} + \frac{P_{нагр4}^2 + Q_{нагр4}^2}{U_{ном}^2} \cdot X_{Т3Н} + \frac{P_{нагр3}^2 + Q_{нагр3}^2}{U_{ном}^2} \cdot X_{Т3С});$$

$$\underline{S}'_{p2} = \left(45 + 15 + \frac{45^2 + 15^2}{110^2} \cdot 0,4 + \frac{15^2 + 35^2}{110^2} \cdot 0,4 \right) +$$

$$+ j \left(15 + 35 + \frac{45^2 + 15^2}{110^2} \cdot 11,9 + \frac{15^2 + 35^2}{110^2} \cdot 0 \right) = 60,40 + j56,0 \text{ МВА.}$$

$$\begin{aligned} \underline{S}_{p2} &= \underline{S}'_{p2} + \Delta \underline{S}_{x3} + \frac{(\underline{S}'_{p2})^2}{U_{ном}^2} (R_{m3e} + jX_{m3e}) - jQ_{C13} - jQ_{C23} = \\ &= (60,40 + j56,0) + (0,082 + j0,48) + \frac{60,40^2 + 56,0^2}{110^2} (0,4 + j18,6) - \\ &\quad - j0,85 - j0,68 = 60,68 + j64,33 \text{ МВА}. \end{aligned}$$

Тепер необхідно перейти до розрахунків замкненої частини мережі.

1.6 Розрахунок замкненої мережі

Для визначення в замкненій частині мережі розподілу потужностей можна її умовно розділити у вузлі 1 і представити у вигляді лінії із двостороннім живленням (рис. 1.4).

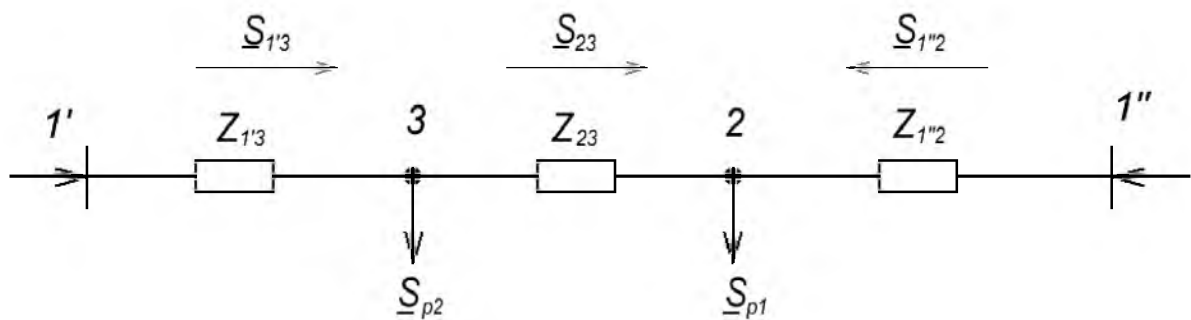


Рисунок 1.4 – Розрахункова схема замкненої частини мережі

Знаходимо потужності в лініях 1'3 і 1''2, враховуючи, що замкнена мережа однорідна:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{1'3} &= \frac{\underline{S}_{p2} \cdot l_{321''} + \underline{S}_{p1} \cdot l_{21''}}{l_{1'321''}} = \frac{(60,68 + j64,33) \cdot 90 + (100,17 + j76,42) \cdot 50}{140} = \\ &= 88,05 + j79,37 \text{ МВА}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{S}_{1''2} &= \frac{\underline{S}_{p1} \cdot l_{231'} + \underline{S}_{p2} \cdot l_{31'}}{l_{1'321''}} = \frac{(100,17 + j76,42) \cdot 90 + (60,68 + j64,33) \cdot 50}{140} = \\ &= 92,54 + j78,13 \text{ МВА}. \end{aligned}$$

Здійснюємо перевірку виконаних розрахунків за умовою:

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\underline{S}_{1'3} + \underline{S}_{1''2} = \underline{S}_{p1} + \underline{S}_{p2},$$

$$180,59 + j157,5 \text{ МВА} = 180,59 + j157,5 \text{ МВА.}$$

Розрахунки виконані правильно.

Використовуючи перший закон Кірхгофа для вузла 3, знаходимо потужність \underline{S}_{23} :

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_{1'3} - \underline{S}_{p2} = (88,05 + j79,37) - (60,41 + j61,08) = 27,63 + j18,29 \text{ МВА.}$$

Подальший розрахунок потужностей з урахуванням втрат потужності в лініях слід починати з вузла 3, який є точкою потокорозподілу потужностей джерела живлення.

Приймаємо потужності $\underline{S}_{1'3}$ і \underline{S}_{23} за дійсні потужності наприкінці ліній біля вузла 3 і знаходимо втрати в лінії 1'3:

$$\Delta \underline{S}_{1'3} = \frac{\underline{S}_{1'3}^2}{U_n^2} \cdot Z_{13} = \frac{88,05^2 + 79,37^2}{110^2} \cdot (4,72 + j16,2) = 5,49 + j18,81 \text{ МВА.}$$

Потужність на початку лінії 1'3:

$$\underline{S}_{1'3}^H = \underline{S}_{1'3} + \Delta \underline{S}_{1'3} = (88,05 + j79,37) + (5,49 + j18,81) = 93,53 + j98,18 \text{ МВА.}$$

Знаходимо потужності втрати в лінії 23:

$$\Delta \underline{S}_{23} = \frac{(\underline{S}_{23})^2}{U_n^2} \cdot Z_{23} = \frac{27,63^2 + 18,29^2}{110^2} \cdot (4,72 + j16,2) = 0,428 + j1,47 \text{ МВА.}$$

Потужність на початку лінії:

$$\underline{S}_{23}^H = \underline{S}_{23} + \Delta \underline{S}_{23} = (27,63 + j18,29) + (0,428 + j1,47) = 28,06 + j19,76 \text{ МВА.}$$

Потужність наприкінці лінії 1''2:

$$\underline{S}_{1''2}^K = \underline{S}_{23}^H + \underline{S}_{p2} = (28,06 + j19,76) + (60,41 + j61,08) = 88,47 + j80,84 \text{ МВА.}$$

Знаходимо потужності втрати в лінії:

$$\Delta \underline{S}_{1''2}^H = \frac{(\underline{S}_{1''2}^K)^2}{U_n^2} \cdot Z_{12} = \frac{88,47^2 + 80,84^2}{110^2} \cdot (5,9 + j20,65) = 7,0 + j24,51 \text{ МВА.}$$

Потужність на початку лінії:

$$\underline{S}_{1''2}^H = \underline{S}_{1''2}^K + \Delta \underline{S}_{1''2}^H = (88,47 + j80,84) + (7,0 + j24,51) = 95,48 + j105,35 \text{ МВА.}$$

Потужність на шинах обмотки СН:

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned} \underline{S}_{T1C}^H &= \left(\underline{S}_{I'3}^H + \underline{S}_{I''2}^H \right) + \frac{\left(\underline{S}_{I'3}^H + \underline{S}_{I''2}^H \right)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{T1C}}{2} = \\ &= (93,53 + j98,18) + (95,48 + j105,35) + \frac{189^2 + 203,53^2}{110^2} \cdot \frac{(0,3 + j0)}{2} = \\ &= 189,96 + j203,53 \text{ МВА.} \end{aligned}$$

Знаходимо потужність, яку видає джерело живлення А:

$$\begin{aligned} \underline{S}_A &= \underline{S}_{T1C}^H + \frac{\left(\underline{S}_{T1C}^H \right)^2}{U_H^2} \cdot \frac{Z_{T1B}}{2} + 2\Delta \underline{S}_{x1} = \\ &= (190,92 + j203,53) + 2 \cdot (0,125 + j1,0) + \frac{190,92^2 + 203,53^2}{110^2} \cdot \frac{(0,3 + j30,4)}{2} = \\ &= 190,45 + j229,88 \text{ МВА.} \end{aligned}$$

Напруга у вузлі 0:

$$\begin{aligned} U_0 &= \sqrt{\left(U_A - \frac{P_A R_{T1e} + Q_A X_{T1e}}{U_A} \right)^2 + \left(\frac{P_A X_{T1e} + Q_A R_{T1e}}{U_A} \right)^2}, \\ U_0 &= \sqrt{\left(242 - \frac{190,45 \cdot 0,3}{2} + \frac{229,88 \cdot 30,4}{2} \right)^2 + \left(\frac{190,45 \cdot 30,4}{2} - \frac{229,88 \cdot 0,3}{2} \right)^2} = \\ &= 227,75 \text{ кВ.} \end{aligned}$$

Напруга у вузлі 1:

$$\begin{aligned} U_1 &= \frac{U_{C1}}{U_{B1}} \cdot \sqrt{\left(U_0 - \frac{P_{T1C}^H R_{T1C} + Q_{T1C}^H X_{T1C}}{U_0} \right)^2 + \left(\frac{P_{T1C}^H X_{T1C} - Q_{T1C}^H R_{T1C}}{U_0} \right)^2} = \\ &= \frac{121}{230} \cdot \sqrt{\left(227,75 - \frac{189,96 \cdot 0,2}{1} + \frac{203,53 \cdot 0}{227,75} \right)^2 + \left(\frac{189,96 \cdot 0 - 203,53 \cdot 0,2}{227,75} \right)^2} = 119,8 \text{ кВ.} \end{aligned}$$

де $P_{T1C}^H + Q_{T1C}^H = S_{T1C}^H$ - потужність на шинах СН трансформатора Т-1.

Напруга у вузлі 3:

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_3 = U_1 - \frac{P_{13}'' R_{13} + Q_{13}'' X_{13}}{U_1} = 119,75 - \frac{93,53 \cdot 4,72 + 98,18 \cdot 16,2}{119,8} = 102,78 \text{ кВ.}$$

Тоді напруга у вузлі 2 складе:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{12}'' R_{12} + Q_{12}'' X_{12}}{U_1} = 119,75 - \frac{95,48 \cdot 5,9 + 105,35 \cdot 20,65}{119,8} = 96,88 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу на споживачах навантаження S1 і S2 з обліком поперечної складової спадання напруги:

$$U_{S1} = \frac{U_{T2}^B}{k_{T2}} = U_{T2}^B \cdot \frac{U_{н.ном2}}{U_{омв}},$$

де U_{T2}^B - напруга НН трансформатора Т-2, приведена до сторони ВН;

$$k_{T2} = \frac{U_{омв}}{U_{н.ном2}} - \text{коефіцієнт трансформації трансформатора Т-2;}$$

$U_{омв}$ - напруга регульовального відгалуження обмотки ВН;

$U_{н.ном2}$ - номінальна напруга обмотки НН трансформатора.

$$U_{T2}^B = U_{S2} = \sqrt{\left(U_2 - \frac{P_{T2}'' \frac{R_{T2}}{2} + Q_{T2}'' \frac{X_{T2}}{2}}{U_2} \right)^2 + \left(\frac{P_{T2}'' \frac{X_{T2}}{2} - Q_{T2}'' \frac{R_{T2}}{2}}{U_2} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(96,88 - \frac{30,12 \cdot \frac{2,54}{2} + 17,6 \cdot \frac{55,9}{2}}{96,88} \right)^2 + \left(\frac{30,12 \cdot \frac{55,9}{2} - 17,6 \cdot \frac{2,54}{2}}{96,88} \right)^2} = 91,8 \text{ кВ.}$$

де $P_{T2}'' + Q_{T2}'' = S_{T2}''$ - потужність на початку трансформатора Т-2.

$$S_{T2}'' = \underline{S}_{нагр1} + \underline{S}_{нагр2} + \frac{P_{нагр1}^2 + Q_{нагр1}^2}{U_{ном}^2} \cdot \frac{(R_{T2} + jX_{T2})}{2} = 30,12 + j17,6 \text{ МВА.}$$

$$U_{S1} = 91,8 \cdot \frac{10,5}{121} = 8,38 \text{ кВ.}$$

Відхилення дійсної напруги мережі від номінальної складе:

$$V_2 \% = \frac{U_{S2} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{8,38 - 10}{10} \cdot 100 = -16,18 \%,$$

Встановлюємо перемикач РПН у положення -9, перераховуємо дійсну

						Аркуш
					БР 5.6.141.283 ПЗ	19
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

напругу через даний коефіцієнт трансформації:

$$U_{S1} = 91,8 \cdot \frac{10,5}{115 + \frac{-9 \cdot 1,78 \cdot 115}{100}} = 9,98 \text{ кВ.}$$

При цьому відхилення напруги складе:

$$V_1 \% = \frac{U_{S1} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{9,98 - 10}{10} \cdot 100 = -0,2 \%,$$

що в межах припустимого.

Напруга у вузлі 0'

$$U'_0 = \sqrt{\left(U_3 - \frac{P_{T3}^H \frac{R_{T3e}}{2} + Q_{T3}^H \frac{X_{T3e}}{2}}{U_3} \right)^2 + \left(\frac{P_{T3}^H \frac{X_{T3e}}{2} + Q_{T3}^H \frac{R_{T3e}}{2}}{U_3} \right)^2},$$

де $P_{T3e}^H + Q_{T3e}^H = S'_{p2}$ - потужність на початку трансформатора Т3.

$$U'_0 = \sqrt{\left(102,78 - \frac{60,12 \cdot \frac{0,4}{2} + 52,21 \cdot \frac{18,6}{2}}{102,78} \right)^2 + \left(\frac{60,12 \cdot \frac{18,6}{2} - 52,21 \cdot 0,4}{102,78} \cdot \frac{0,4}{2} \right)^2} = 91,96 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу на споживачеві навантаження S3:

$$U_{S3} = \frac{U_{T3c}^B}{k_{T3c}} = U_{T3c}^B \cdot \frac{U_{н.ном3}}{U_{отв}},$$

$$U_{T3c}^B = \sqrt{\left(U'_0 - \frac{P_{T3c}^H \frac{R_{T3c}}{2} + Q_{T3c}^H \frac{X_{T3c}}{2}}{U'_0} \right)^2 + \left(\frac{P_{T3c}^H \frac{X_{T3c}}{2} - Q_{T3c}^H \frac{R_{T3c}}{2}}{U'_0} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(91,96 - \frac{15,05 \cdot \frac{0,4}{2} + 35,0 \cdot 0}{91,96} \right)^2 + \left(\frac{15,05 \cdot 0 - 5,0 \cdot 2 \cdot \frac{0,4}{2}}{91,96} \right)^2} = 91,89 \text{ кВ.}$$

де $P_{T3c}^H + Q_{T3c}^H = S_{T3c}^H$ - потужність, яка передається по обмотці СН трансформатора Т-3.

$$S_{T3c}^H = S_{нагр3} + \frac{P_{нагр3}^2 + Q_{нагр3}^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_{T3c} + jX_{T3c}) = 15,05 + j35,0 \text{ МВА.}$$

									Аркуш
									20
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.141.283 ПЗ				

$$U_{S3} = 91,89 \cdot \frac{38,5}{115} = 30,76 \text{ кВ.}$$

Відхилення дійсної напруги мережі від номінальної складе:

$$V_3 \% = \frac{U_{S3} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{30,76 - 35}{35} \cdot 100 = -12,1\%,$$

Встановлюємо перемикач РПН у положення -7, перераховуємо дійсну напругу через даний коефіцієнт трансформації:

$$U_{S3} = 91,89 \cdot \frac{38,5}{115 + \frac{-7 \cdot 1,78 \cdot 115}{100}} = 35,14 \text{ кВ.}$$

При цьому відхилення напруги складе:

$$V_3 \% = \frac{U_{S3} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{35,14 - 35}{35} \cdot 100 = 0,41\%,$$

що в межах припустимого.

Визначаємо напругу на споживачеві навантаження S4:

$$U_{S4} = \frac{U_{T3н}^B}{k_{T3н}} = U_{T3н}^B \cdot \frac{U_{н.ном3}}{U_{отв}}$$

$$U_{T2}^B = \sqrt{\left(U'_0 - \frac{P_{T3н}^H R_{T3н} + Q_{T3н}^H X_{T3н}}{U'_0} \right)^2 + \left(\frac{P_{T3н}^H X_{T3н} - Q_{T3н}^H R_{T3н}}{U'_0} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(91,96 - \frac{45,07 \cdot 0,4 + 17,21 \cdot 11,9}{91,96} \right)^2 + \left(\frac{45,07 \cdot 11,9 - 17,21 \cdot 0,4}{91,96} \right)^2} = 89,72 \text{ кВ.}$$

де $P_{T3н}^H + Q_{T3н}^H = S_{T3н}^H$ - потужність, яка передається по обмотці НН трансформатора Т-3.

$$S_{T3н}^H = S_{нагр4} + \frac{P_{нагр4}^2 + Q_{нагр4}^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_{T3н} + jX_{T3н}) = 45,07 + j17,21 \text{ МВА.}$$

$$U_{S4} = 89,72 \cdot \frac{11}{115} = 8,58 \text{ кВ.}$$

Відхилення дійсної напруги мережі від номінальної складе:

$$V_4 \% = \frac{U_{S4} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{8,58 - 10}{10} \cdot 100 = -14,18\%,$$

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлюємо перемикач РПН у положення -8, перераховуємо дійсну напругу через даний коефіцієнт трансформації:

$$U_{S4} = 89,72 \cdot \frac{11}{115 + \frac{-8 \cdot 1,78 \cdot 115}{100}} = 10,01 \text{ кВ.}$$

При цьому відхилення напруги складе:

$$V_3 \% = \frac{U_{S3} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{10,01 - 10}{10} \cdot 100 = 0,07\%,$$

що в межах допустимого.

1.7 Розрахунок електричної мережі в післяаварійному режимі

Вважаючи лінію Л-1 аварійно відключеною, виконуємо розрахунок режиму роботи електричної мережі, схема заміщення якої наведена на рис. 1.5.

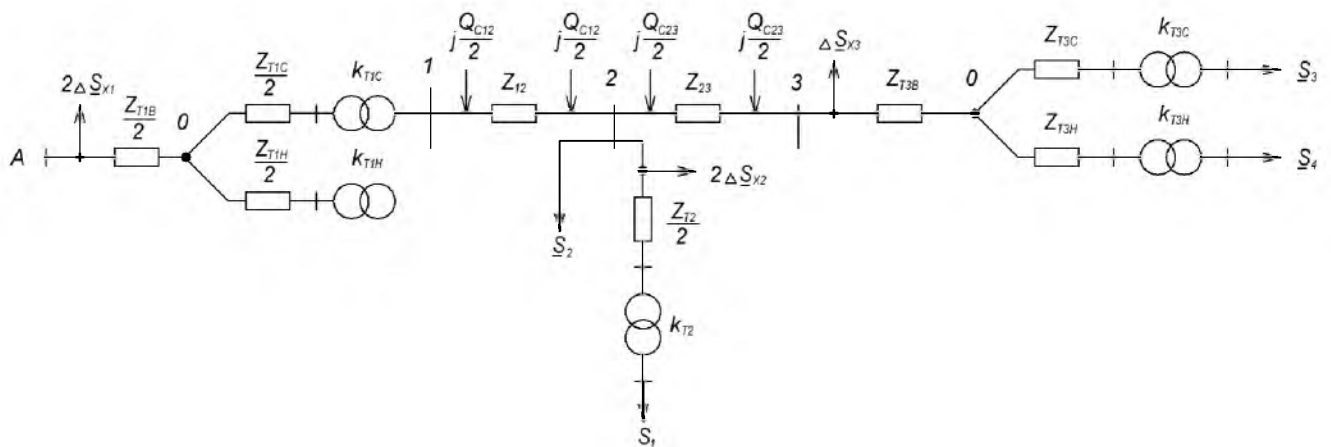


Рисунок 1.5 – Схема заміщення електричної мережі в аварійному режимі

Розрахунок навантажень, приведених до ВН трансформаторів при аварійному режимі роботи проводиться за тими ж вихідними параметрами, що й для нормального режиму, тому виконувати повторне перерахування немає необхідності.

Для зменшення спадання напруги в мережі в аварійному режимі застосуємо компенсацію реактивної потужності в мережі. Для цього у вузлі 3 необхідно встановити 1 конденсаторну батарею з конденсаторами типу КС2-1,05-60, у вузлі

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2 – 3 батареї, у вузлі 1 – 2 батареї, розраховані на номінальну напругу 110 кВ, які забезпечать компенсацію реактивної потужності по 36,8 Мвар кожна.

Потужність наприкінці лінії Л-3 дорівнює:

$$\underline{S}_{23}^K = \underline{S}_{p2} - jQ_{БК} = 60,41 + j24,28 \text{ МВА.}$$

Втрати потужності в лінії:

$$\Delta \underline{S}_{23} = \frac{(\underline{S}_{23}^K)^2}{U_{ном}^2} (R_{23} + jX_{23}) = 1,65 + j5,68 \text{ МВА.}$$

Потужність на початку лінії Л-3:

$$\underline{S}_{23}^H = \underline{S}_{23}^K + \Delta \underline{S}_{23} = 62,07 + j29,96 \text{ МВА.}$$

Потужність наприкінці лінії Л-2 рівна:

$$\underline{S}_{12}^K = \underline{S}_{23}^H + \underline{S}_{p1} - 3 \cdot jQ_{БК} = 182,24 + j15,97 \text{ МВА.}$$

Втрати потужності в лінії:

$$\Delta \underline{S}_{12} = \frac{(\underline{S}_{12}^K)^2}{U_{ном}^2} (R_{12} + jX_{12}) = 16,32 + j57,11 \text{ МВА.}$$

Потужність на початку лінії Л-2:

$$\underline{S}_{12}^H = \underline{S}_{12}^K + \Delta \underline{S}_{12} = 198,56 + j73,09 \text{ МВА.}$$

Потужність на шинах обмотки СН:

$$\underline{S}_{T1C}^H = (\underline{S}_{1'3}^H + \underline{S}_{1''2}^H) + \frac{(\underline{S}_{1'3}^H + \underline{S}_{1''2}^H)^2}{U_n^2} \cdot Z_{T1C} - 2 \cdot jQ_{БК} = 199,11 - j0,51 \text{ МВА.}$$

Знаходимо потужність, яку видає джерело живлення А:

$$\underline{S}_A = \underline{S}_{T1C}^H + \frac{(\underline{S}_{T1C}^H)^2}{U_n^2} \cdot \frac{Z_{T1B}}{2} + 2 \cdot \Delta \underline{S}_{x1} = 199,49 + j13,94 \text{ МВА.}$$

Напруга у вузлі 0:

$$U_0 = \sqrt{\left(U_A - \frac{P_A R_{T1\epsilon} + Q_A X_{T1\epsilon}}{U_A} \right)^2 + \left(\frac{P_A X_{T1\epsilon} + Q_A R_{T1\epsilon}}{U_A} \right)^2} = 241,33 \text{ кВ.}$$

Напруга у вузлі 1:

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_1 = \frac{U_{C1}}{U_{B1}} \cdot \sqrt{\left(U_0 - \frac{P_{T1C}'' R_{T1C} + Q_{T1C}'' X_{T1C}}{U_0} \right)^2 + \left(\frac{P_{T1C}'' X_{T1C} - Q_{T1C}'' R_{T1C}}{U_0} \right)^2} = 126,89 \text{ кВ.}$$

Напряга у вузлі 2:

$$U_2 = U_1 - \frac{P_{12}'' R_{12} + Q_{12}'' X_{12}}{U_1} = 105,77 \text{ кВ.}$$

Тоді напруга у вузлі 3 складе:

$$U_3 = U_2 - \frac{P_{23}'' R_{23} + Q_{23}'' X_{23}}{U_3} = 98,41 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напруга на споживачах навантаження S1 і S2 з обліком поперечної складової спадання напруги:

$$U_{T2}^B = U_{S2} = \sqrt{\left(U_2 - \frac{P_{T2}'' \frac{R_{T2}}{2} + Q_{T2}'' \frac{X_{T2}}{2}}{U_2} \right)^2 + \left(\frac{P_{T2}'' \frac{X_{T2}}{2} - Q_{T2}'' \frac{R_{T2}}{2}}{U_2} \right)^2} = 101,05 \text{ кВ.}$$

де $P_{T1}'' + Q_{T1}'' = S_{T1}''$ - потужність на початку трансформатора Т-1.

$$S_{T2}'' = \underline{S}_{нагр1} + \underline{S}_{нагр2} + \frac{P_{нагр1}^2 + Q_{нагр1}^2}{U_{ном}^2} \cdot \frac{(R_{T2} + jX_{T2})}{2} = 30,12 + j17,6 \text{ МВА.}$$

$$U_{S1} = 101,05 \cdot \frac{10,5}{121} = 9,23 \text{ кВ.}$$

Відхилення дійсної напруги мережі від номінальної складе:

$$V_1 \% = \frac{U_{S1} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{9,23 - 10}{10} \cdot 100 = -7,73 \%$$

Встановлюємо перемикач РПН у положення -4, перераховуємо дійсну напруга через даний коефіцієнт трансформації:

$$U_{S1} = 101,05 \cdot \frac{10,5}{121 + \frac{-4 \cdot 1,78 \cdot 121}{100}} = 9,93 \text{ кВ.}$$

При цьому відхилення напруги складе:

$$V_1 \% = \frac{U_{S1} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{9,93 - 10}{10} \cdot 100 = -0,66 \%$$

									Аркуш
									24
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.141.283 ПЗ				

що в межах допустимого.

Напруга у вузлі 0'

$$U'_0 = \sqrt{\left(U_3 - \frac{P_{T3}^H \frac{R_{T3e}}{2} + Q_{T3}^H \frac{X_{T3e}}{2}}{U_3} \right)^2 + \left(\frac{P_{T3}^H \frac{X_{T3e}}{2} + Q_{T3}^H \frac{R_{T3e}}{2}}{U_3} \right)^2} = 87,17 \text{ кВ.}$$

Визначаємо напругу на споживачеві навантаження S3:

$$S_{T3c}^H = S_{\text{нагр}3} + \frac{P_{\text{нагр}3}^2 + Q_{\text{нагр}3}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot (R_{T3c} + jX_{T3c}) = 60,33 + j61,96 \text{ МВА.}$$

$$U_{T3}^B = \sqrt{\left(U'_0 - \frac{P_{T3c}^H R_{T3c} + Q_{T3c}^H X_{T3c}}{U'_0} \right)^2 + \left(\frac{P_{T3c}^H X_{T3c} - Q_{T3c}^H R_{T3c}}{U'_0} \right)^2} = 87,1 \text{ кВ.}$$

$$U_{S3} = 87,1 \cdot \frac{38,5}{115} = 29,16 \text{ кВ.}$$

Відхилення дійсної напруги мережі від номінальної складе:

$$V_3 \% = \frac{U_{S3} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 = \frac{29,16 - 35}{35} \cdot 100 = -16,69\%.$$

Встановлюємо перемикач РПН у положення -9, перераховуємо дійсну напругу через даний коефіцієнт трансформації:

$$U_{S3} = 87,1 \cdot \frac{38,5}{115 + \frac{-9 \cdot 1,78 \cdot 115}{100}} = 34,72 \text{ кВ.}$$

При цьому відхилення напруги складе:

$$V_3 \% = \frac{U_{S3} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 = \frac{34,72 - 35}{35} \cdot 100 = -0,79\%.$$

що в межах припустимого.

Визначаємо напругу на споживачеві навантаження S4:

$$S_{T3н}^H = S_{\text{нагр}4} + \frac{P_{\text{нагр}4}^2 + Q_{\text{нагр}4}^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot (R_{T3н} + jX_{T3н}) = 45,07 + j17,21 \text{ МВА.}$$

$$U_{T2}^B = \sqrt{\left(U'_0 - \frac{P_{T3н}^H R_{T3н} + Q_{T3н}^H X_{T3н}}{U'_0} \right)^2 + \left(\frac{P_{T3н}^H X_{T3н} - Q_{T3н}^H R_{T3н}}{U'_0} \right)^2} = 84,83 \text{ кВ.}$$

									Аркуш
									25
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата					

$$U_{S4} = 84,83 \cdot \frac{11}{115} = 8,11 \text{ кВ.}$$

Відхилення дійсної напруги мережі від номінальної складе:

$$V_4 \% = \frac{U_{S4} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{8,11 - 10}{10} \cdot 100 = -18,86 \%$$

Встановлюємо перемикач РПН у положення -9, перераховуємо дійсну напругу через даний коефіцієнт трансформації:

$$U_{S4} = 84,83 \cdot \frac{11}{115 + \frac{-9 \cdot 1,78 \cdot 115}{100}} = 9,66 \text{ кВ.}$$

При цьому відхилення напруги складе:

$$V_4 \% = \frac{U_{S2} - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 = \frac{9,66 - 10}{10} \cdot 100 = -3,38 \%,$$

що в межах допустимого.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДСТАНЦІЇ

Згідно із завданням, необхідно розрахувати двохрансформаторну підстанцію ПС-1, до якої підключено навантаження потужністю $S_1 = 30 + j15$ МВА. На підстанції встановлені трансформатори типу ТРДН-25000/110.

2.1 Вибір силових трансформаторів та їх перевірка за графіком навантаження

$$S_{\text{нав}} = \sqrt{P_{\text{нав}}^2 + Q_{\text{нав}}^2} = \sqrt{30^2 + 15^2} = 33,5 \text{ МВА}$$

$$S_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{нав}}}{K_{\text{ав}}} = 33,5 / 1,4 = 23,93 \text{ МВА}$$

де $K_{\text{ав}} = 1,4$.

$$K_3 = \frac{S_{\text{нав}}}{2 \cdot S_{\text{тр.ном}}} = 0,67$$

Для підстанцій були обрані трансформатори потужності $S = 25$ МВА типу ТРДН-25000/110.

Перевіримо трансформатори за добовим графіком навантаження табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Добове навантаження підстанції

t, г	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
S, %	40	50	60	95	85	70	70	95	95	110	125	105
S, МВА	13,4	16,8	20,1	31,8	28,5	23,5	23,5	31,8	31,8	36,9	41,9	35,2

Для перевірки правильності вибору трансформатора реальний графік навантаження перетворимо в двоступінчастий. Початкове навантаження еквівалентного графіка визначається за формулою [10]:

					БР 5.6.141.283 ПЗ							Аркуш
												27
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата								

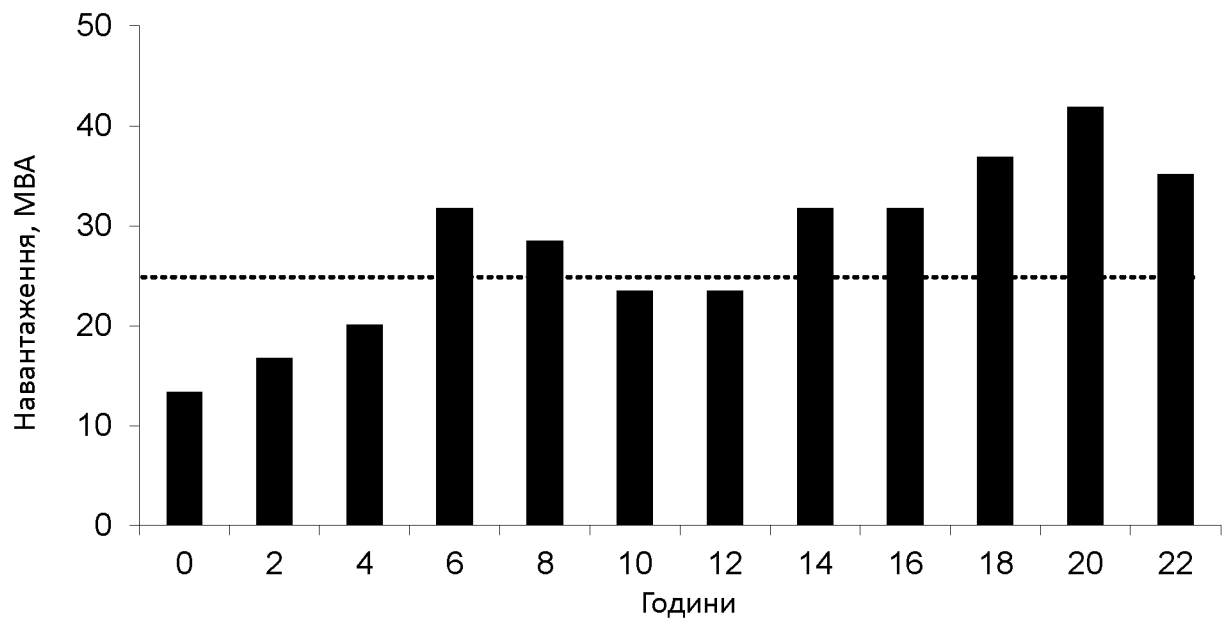


Рисунок 2.1 – Графік навантаження підстанцій

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} =$$

$$= \frac{1}{25} \cdot \sqrt{\frac{13,4^2 \cdot 2 + 16,8^2 \cdot 2 + 20,1^2 \cdot 2 + 23,5^2 \cdot 2 + 23,5^2 \cdot 2}{2 \cdot 5}} = 0,753$$

де S_1, S_2, \dots, S_n – власне навантаження першого; другого; n-го ступеня графіка навантаження, розміщеного нижче лінії номінальної потужності трансформатора;

t_1, t_2, \dots, t_n – тривалість ступеня, година.

Аналогічно визначається другий ступінь еквівалентного графіка, але при цьому беруться ступені, розміщені вище лінії номінальної потужності трансформатора

$$K_2 = \frac{1}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} =$$

$$= \frac{1}{25} \cdot \sqrt{\frac{31,8^2 \cdot 2 + 28,5^2 \cdot 2 + 31,8^2 \cdot 2 + 31,8^2 \cdot 2 + 36,9^2 \cdot 2 + 41,9^2 \cdot 2 + 35,2^2 \cdot 2}{2 \cdot 7}} = 1,323$$

де S_1, S_2, \dots, S_n – навантаження вище лінії номінальної потужності трансформатора.

Максимальне перевантаження трансформатора складає

$$K_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{S_{НОМ}} = 41,9 / 25 = 1,68$$

де S_{MAX} – максимальне навантаження трансформатора за графіком навантаження.

$$K'_2 = 0,9 \cdot K_{MAX} = 0,9 \cdot 1,68 = 1,51.$$

Порівнюємо попереднє значення K_2 и K'_2 для подальших розрахунків приймаємо більше з них $K_2 = 1,323$ та $K'_2 = 1,51$, $K'_2 > K_2$ отже приймаємо $K_2 = 1,51$.

За ГОСТом 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду $t = 0^\circ\text{C}$ і часу перевантаження $t_{перев} = 14$ год, знаходимо значення перевантаження допустиме $K_{2ГОСТ} = 1,524$.

Порівнюємо значення K_2 за ГОСТом і реальне. $K_{2ГОСТ} = 1,524$ і $K_2 = 1,51$.

$K_{2ГОСТ} > K_2$. Значення K_2 за ГОСТом більше, ніж реальне, значить трансформатор обраний правильно.

Висновок:

Трансформатор ТРДН-25000/110 у випадку виходу з ладу 1-го трансформатора 2-й трансформатор забезпечить живлення споживачів без обмеженням по часу та по потужності.

2.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Визначення величини струмів короткого замикання необхідне для правильного вибору устаткування на стороні 110 кВ і 10 кВ. Вихідна однолінійна електрична схема електромережі наведена на рис. 2.2. Підстанція живиться за двома тупиковими лініями: схеми заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 2.3.

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центра живлення складає $S_C = 2900$ МВА.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

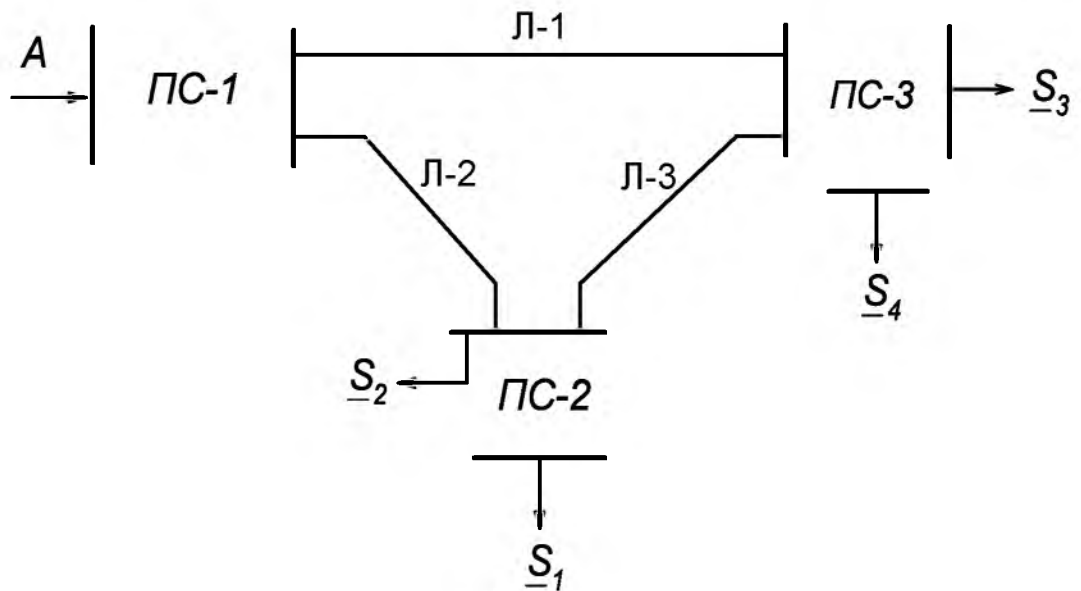


Рисунок 2.2 – Вихідна однолінійна електрична схема електромережі

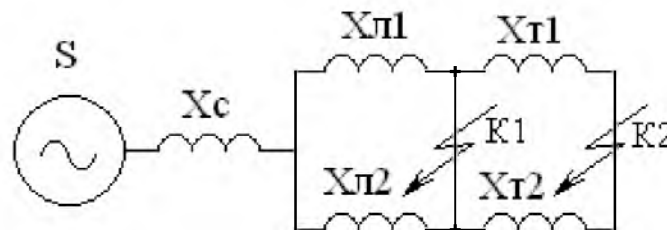


Рисунок 2.3 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Опір системи дорівнює

$$X_c = \frac{U_{\text{л}}^2}{S_c} = 110^2 / 2900 = 4,17 \text{ Ом.}$$

Опори працюючих ліній:

Лінія	Л-1	Л-2	Л-3
Довжина, км	50	50	40
Марка проводу	АС-240/32	АС-240/32	АС-240/32
$X_{\text{л}}$, Ом	20,25	20,25	16,2

$$X_{\text{л1}} = X_{\text{л-1}} + X_{\text{л-3}} = 36,45 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{л2}} = X_{\text{л-2}} = 20,25 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{л}} = \frac{X_{\text{л1}} \cdot X_{\text{л2}}}{X_{\text{л1}} + X_{\text{л2}}} = (36,45 \cdot 20,25) / (36,45 + 20,25) = 13,02 \text{ Ом.}$$

Опір трансформаторів

$$X_T = \frac{U_{k\%} U_H^2}{100 \cdot S_H} = (10,5 \cdot 110^2) / (100 \cdot 25) = 50,8 \text{ Ом.}$$

Періодична складова СКЗ у точці K_1 :

$$I_{K1} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}(X_c + X_{\text{л}})} = 110000 / (1,73 \cdot (20,25 + 13,02)) = 3,695 \text{ кА.}$$

Періодична складова СКЗ у точці K_2 приведена до напруги вищої сторони

$$I_{K2}^B = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}\left(X_c + X_{\text{л}} + \frac{X_T}{2}\right)} = 110000 / (1,73 \cdot (20,25 + 13,02 + 50,8/2)) = 1,491 \text{ кА.}$$

Реальний струм КЗ у точці K_2 :

$$I_{K2} = I_{K2}^B \frac{U_B}{U_H} = I_{K2}^B \cdot (110 / 10) = 16,4 \text{ кА.}$$

Ударний струм:

$$\text{- у точці } K_1: i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K1} = 8,41 \text{ кА;}$$

$$\text{- у точці } K_2: i_{\text{уд2}} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K2} = 37,34 \text{ кА.}$$

Допустимо, що амплітуда ЕДС і періодична складова ТКЗ незмінні за часом, тому через час, який дорівнює часу відключення

$$I_{n\tau 1} = I_{K1} = 3,695 \text{ кА для точки } K_1;$$

$$I_{n\tau} = I_{K2} = 16,4 \text{ кА для точки } K_2.$$

Аперіодична складова ТКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 3,695 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,025}} = 0,474 \text{ кА}$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot I_{K2} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 16,4 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,05}} = 3,139 \text{ кА}$$

де T_a – постійна часу загасання аперіодичної складової для K_1 – $T_a = 0,025$ с, для K_2 – $T_a = 0,05$ с.

Інтеграл Джоуля:

$$\text{для } K_1 \quad B_R = I_{K1}^2 (t + T_a) = I_{K1}^2 (0,06 + 0,025) = 3,695^2 \cdot 0,085 = 1,161 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$\text{для } K_2 \quad B_R = I_{K2}^2 (t + T_a) = I_{K2}^2 (0,1 + 0,05) = 16,4^2 \cdot 0,15 = 40,34 \text{ кА}^2\text{с}$$

										Аркуш
										31
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата						

Таблиця 2.2 – Значення струмів короткого замикання

Струми короткого замикання	СКЗ у початковий момент часу	Ударний СКЗ i_y , кА	Аперіод. складова СКЗ, i_a кА	Інтеграл Джоуля V_K , кА ² ·с
Шини 110 кВ (K_1)	3,695	8,41	0,474	1,161
Шини 10 кВ (K_2)	16,4	37,34	3,139	40,34

2.3 Вибір захисної та комутаційної апаратури

Високовольтні електричні апарати вибираються за умовою тривалого режиму роботи і перевіряються за умовами коротких замикань. При цьому для апаратів виконується:

- 1) вибір за напругою;
- 2) вибір за нагріванням при тривалих струмах;
- 3) перевірка на електродинамічну стійкість;
- 4) перевірка на термічну стійкість;

Вибору підлягають:

- вимикачі на боці вищої напруги;
- вступні вимикачі на боці 10 кВ;
- секційні вимикачі на боці 10 кВ;
- вимикачі ліній, що відходять, 10 кВ; роз'єднувачі вищої напруги;
- трансформатори струму і напруги 110 кВ і 10 кВ;
- ошиновка розподільних пристроїв 110 кВ і 10 кВ.

Для вибору апаратів і струмоведучих частин необхідно визначити струми нормального і післяаварійного режимів. Визначення струмів виконується для випадку установки на підстанції силового трансформатора. Розрахованого відповідно до графіка навантаження підстанції.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Струм на боці 110 кВ:

$$I_{\max}^{\text{ВН}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = (1,4 \cdot 25) / (1,73 \cdot 110) = 184 \text{ А.}$$

Струм у колі ввідних вимикачів на стороні 10 кВ:

$$I_{\max}^{\text{НН}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}} = (1,4 \cdot 25) / (1,73 \cdot 10) = 2,02 \text{ кА.}$$

Струм у колі секційного вимикача:

$$I_{\max}^{\text{СВ}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}} \cdot 2} = (1,4 \cdot 25) / (1,73 \cdot 10 \cdot 2) = 1,01 \text{ кА.}$$

Струм у колі лінії, що відходить:

$$I_{\max}^{\text{ЛВ}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}} \cdot 10} = (1,4 \cdot 25) / (1,73 \cdot 10 \cdot 10) = 202 \text{ А.}$$

Для встановлення на стороні вищої напруги приймаємо вимикачі типу ЯЭ-110Л-23(13)У4. Вибір вимикачів наведений у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Вибір вимикача на стороні 110 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	184 А	1250 А
$I_{\text{ПО}} \leq I_{\text{нрСКВ}}$	3,695 кА	50 кА
$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{СКВ}}$	8,41 кА	125 кА
$I_{\text{нт}} \leq I_{\text{ОткНОм}}$	3,695 кА	100 кА
$I_{\text{ат}} \leq I_{\text{аном}}$	0,474 кА	40 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,161 кА ² ·с	7500 кА ² ·с

Для встановлення на стороні низької напруги приймаємо вимикачі типу ВВЭ-10-31,5/3150У3. Вибір вимикачів наведений у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Вибір вимикачів у колі трансформатора на стороні 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	2,02 кА	3150 А
$I_{\text{ПО}} \leq I_{\text{нрСКВ}}$	16,4 кА	31,5 кА
$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{СКВ}}$	37,34 кА	80 кА
$I_{\text{нт}} \leq I_{\text{ОткНОм}}$	16,4 кА	31,5 кА
$I_{\text{ат}} \leq I_{\text{аном}}$	3,139 кА	31,5 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	40,34 кА ² ·с	2977 кА ² ·с

Для установки в якості секційного на стороні нижчої напруги приймаємо вимикачі типу ВВЭ-10-31,5/1600УЗ. Вибір вимикачів наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Вибір секційного вимикача на боці 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	1,01 кА	1600 А
$I_{ПО} \leq I_{нрСКВ}$	16,4 кА	31,5 кА
$i_y \leq I_{нрСКВ}$	37,34 кА	80 кА
$I_{нт} \leq I_{ОмкНом}$	16,4 кА	31,5 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	3,139 кА	31,5 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	40,34 кА ² ·с	2977 кА ² ·с

Для встановлення на стороні нижчої напруги в лініях, що відходять, приймаємо вакуумні вимикачі типу ВВЭ-10-31,5/630УЗ. Вибір вимикачів наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір вимикачів на лінію, що відходить 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	202 А	630 А
$I_{ПО} \leq I_{нрСКВ}$	16,4 кА	31,5 кА
$i_y \leq I_{нрСКВ}$	37,34 кА	80 кА
$I_{нт} \leq I_{ОмкНом}$	16,4 кА	31,5 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	3,139 кА	31,5 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	40,34 кА ² ·с	2977 кА ² ·с

Для встановлення на стороні вищої напруги приймаємо роз'єднувачі з одним або двома комплектами заземлюючих ножів типу РНДЗ.1-110/1000 ХЛ1. Вибір роз'єднувачів наведений у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Вибір роз'єднувачів 110 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	184 А	1000 А
$i_{y\partial} \leq I_{нрСКВ}$	8,41 кА	80 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,161 кА ² ·с	992 кА ² ·с

2.4 Вибір збірних шин

Вибрати збірні шини 110 кВ та струмопровідні елементи в блоці від збірних шин до виводів блочного трансформатора. Трансформатор ТРДН-25000/110.

Оскільки збірні шини за економічною густиною струму не вибираються, приймаємо переріз за допустимим струмом при максимальному навантаженні на шинах, що відповідає загальному навантаженню.

$$I_{\text{норм}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = 33,5 / (1,73 \cdot 110) = 176 \text{ А.}$$

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{норм}} = 176 \text{ А.}$$

За таблицею довідника приймаємо до встановлення провід 1хАС120/19 ($q = 120 \text{ мм}^2$, $d = 15,2 \text{ мм}$, $I_{\text{доп}} = 380 \text{ А}$). Фази розташовані горизонтально на відстані 300 см. Тоді

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{макс}},$$

$$380 \text{ А} > 176 \text{ А.}$$

Перевірка шин на електродинамічну стійкість не виконується, оскільки $I_{\text{п.0}} < 20 \text{ кА}$.

Перевірка на термічну стійкість також не виконується, оскільки шини виконані голими проводами на відкритому повітрі.

Перевірка за умовами коронування в даному випадку могла б не проводитися, оскільки згідно ПУЕ мінімальний переріз для повітряних ліній 110 кВ становить 70 мм^2 . Враховуючи, що на ВРП відстань між проводами менша, ніж на повітряних лініях, проводиться перевірочний розрахунок.

Визначаємо початкову критичну напруженість електричного поля:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right),$$

де m – коефіцієнт, який враховує шорсткість поверхні проводу (для багатопровідникових проводів $m = 0,82$); r_0 – радіус проводу, $r_0 = 0,76 \text{ см}$.

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{0,76}} \right) = 33,4 \text{ кВ/см}$$

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо напруженість електричного поля навколо проводу

$$E = \frac{0.354 \cdot U}{r_0 \cdot \lg\left(\frac{D_{\text{сер}}}{r_0}\right)},$$

де U – лінійна напруга, кВ;

$D_{\text{сер}}$ – середня геометрична відстань між проводами фаз, см.

При горизонтальному розташуванні фаз

$$D_{\text{сер}} = 1.26 \cdot D = 100,8,$$

де D – відстань між сусідніми фазами, для $U_{\text{н}}=110$ кВ $D = 80$ см.

$$E = (0.354 \cdot 121) / (0,76 \cdot \lg(100,8/0,76)) = 26,55 \text{ кВ/см.}$$

В останньому виразі лінійна напруга прийнята рівною 121 кВ, оскільки на шинах електростанції підтримується напруга $1,1 U_{\text{ном}}$.

Перевірка виконується за наступною умовою: проводи не будуть коронувати, якщо

$$1,07 \cdot E \leq 0,9 \cdot E_0,$$

$$1,07 \cdot 26,55 = 28,4 < 0,9 \cdot 33,4 = 30,1 \text{ кВ/см.}$$

Умова виконується, тому провід 1хАС120/19 остаточно приймаємо до використання.

Вибір жорстких шин

Приймаємо температуру навколишнього середовища: 30°C.

Обираємо алюмінієві шини коробчастого перерізу розташовані горизонтально і жорстко закріплені одна відносно одної (2х75х35х5,5 мм, перерізом 2х695 мм², $I_{\text{доп}}=2670$ А).

$$v_{\text{доп}} = 70^\circ\text{C}, v_{\text{факт}} = 30^\circ\text{C}, v_{\text{норм}} = 25^\circ\text{C}.$$

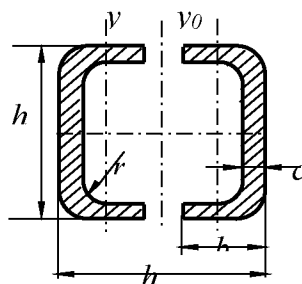


Рисунок 2.4 – Шини коробчастого перерізу

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		36

Умова за допустимим струмом:

$$I_{\max}^{\text{HH}} = 2020 \text{ A} \leq I_{\text{доп}} = 2670 \text{ A},$$

умова виконується.

Припустимий струм з урахуванням поправки на температуру навколишнього середовища:

$$I'_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} \cdot \sqrt{\frac{U_{\text{доп}} - U_{\text{факт}}}{U_{\text{доп}} - U_{\text{норм}}}} = 2670 \cdot \sqrt{\frac{70 - 30}{70 - 25}} = 2517 \text{ A},$$

де $U_{\text{доп}}$ – допустима температура шини;

$U_{\text{норм}}$ – номінальна температура навколишнього середовища.

$$2020 \text{ A} < 2517 \text{ A}.$$

Мінімальний термічно стійкий переріз:

$$q_{\text{min.доп}} = \frac{\sqrt{B_R}}{C} = \frac{\sqrt{40,34}}{90 \cdot 10^{-3}} = 70,6 \text{ мм}^2.$$

Оскільки $q_{\text{min.доп}} = 70,6 \leq 2 \times 695 \text{ мм}^2$ термічна стійкість шин забезпечується.

Тверді шини повинні бути перевірені на динамічні дії струмів КЗ і на можливість виникнення резонансних явищ. Зазначені явища не виникають при КЗ, якщо власна частота коливань шини менше 30 і більше 200 Гц. Частота власних коливань для алюмінієвих шин визначається за формулою

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{J_{y_0-y_0}}{2 \cdot q_{\text{шини}}}} = \frac{173,2}{2^2} \cdot \sqrt{\frac{113}{2 \cdot 6,95}} = 494 \text{ Гц}$$

де l – довжина прольоту між ізоляторами $l = 1 \text{ м}$, м;

$J_{y_0-y_0}$ – момент інерції поперечного перерізу двох зрощених шин, см^4 ;

$q_{\text{шини}}$ – поперечний переріз однієї шини, см^2 .

Оскільки $f_0 = 494 \geq 200 \text{ Гц}$, то механічний резонанс виключається.

Момент опору перерізу для двох зрощених шин:

$$\sigma_{\text{ф.макс}} = 1,76 \cdot \frac{i_{\text{уд}}^2 \cdot l^2}{a \cdot W_{y_0-y_0}} \cdot 10^{-8} = 1,76 \cdot \frac{37,34^2 \cdot 2^2 \cdot 10^{-2}}{0,8 \cdot 30,1} = 4,076 \text{ МПа}$$

де a – відстань між фазами, м;

$W_{y_0-y_0}$ – момент опору двох зрощених шин, см^3 .

									Аркуш
									37
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата					

$\sigma_{\text{ф.макс}} = 4,076 \leq \sigma_{\text{доп}} = 82,3$ МПа умова механічної міцності виконується.

де $\sigma_{\text{доп}} = 82,3$ МПа – допустима механічна напруга в матеріалі алюмінієвих шин.

Сила взаємодії між швелерами:

$$f_{\Pi} = 0,5 \cdot \frac{i_{\text{уд}}^2}{h} \cdot 10^{-7} = 0,5 \cdot \frac{37,34^2}{0,075} \cdot 10^{-1} = 930 \text{ Н/м}$$

де h - висота швелера, м.

Максимальна відстань між місцями зварювання швелерів:

$$l_{\Pi.\text{макс}} = \sqrt{\frac{12 \cdot (\sigma_{\text{доп}} - \sigma_{\text{ф.макс}}) \cdot W_{y-y}}{f_{\Pi}}} = \sqrt{\frac{12 \cdot (82,3 - 4,076) \cdot 3,17}{930}} = 1,79 \text{ м}$$

де W_{y-y} – момент опору шин у вертикальній площині, см³.

2.5 Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги

Для ввімкнення електровимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту необхідна установка трансформаторів струму і напруги. У даному проекті релейний захист детально не розробляється, тому перевірку трансформаторів за вторинним навантаженням виконуємо з урахуванням ввімкнення тільки вимірювальних приладів.

У колі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюється амперметр, вольтметр, варметр, лічильники активної і реактивної енергії, на шині 110 кВ – вольтметр із перемикачем для виміру трьох міжфазових напруг, на секційному вимикачі 10 кВ - амперметр, на лініях, що відходять, 10 кВ - амперметр, лічильники активної і реактивної енергій. Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму наведений у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахунок вторинного навантаження трансформаторів струму

Прилад	Клас	Навантаження по фазах		
		А	В	С
1	2	3	4	5
Амперметр	1	0,5	0,5	0,5
Ваттметр	1,5	0,5	-	0,5
Варметр	1,5	0,5	-	0,5
Лічильник активної енергії	1	2,5	-	2,5
Лічильник реактивної енергії	1,5	2,5	-	2,5

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4	5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра на боці ВН		0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра з боку НН		6,5	0,5	6,5
Сумарне навантаження струму в колі секц. вимикача на НН		0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження струму в колі відхідної лінії		0,5	0,5	0,5

Вибір трансформаторів струму наведений у таблицях 2.9 - 2.12.

Вибираємо трансформатор струму ТФЗМ-110Б-І.

Таблиця 2.9 – Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на боці високої напруги 110 кВ:

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	184 А	800 А
$i_y \leq I_{прСКВ}$	8,41 кА	124 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,161 кА ² ·с	2352 кА ² ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	0,82 Ом	1,2 Ом

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{прил} = \frac{S_{прил}}{I^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом}$$

Тоді опір сполучних проводів може бути

$$Z_{пр} = Z_{ном} - Z_{прил} - Z_k$$

де $Z_{пр}$ – номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{прил}$ – опір приладів, Ом;

Z_k – опір контактів, Ом.

$$Z_{пр} = 1,2 - 0,02 - 0,1 = 1,08 \text{ Ом.}$$

Перетин жил при довжині кабеля $l = 100$ м:

$$F = \rho \cdot \frac{l}{Z_{пр}} = 0,0175 \cdot \frac{100}{1,08} = 1,62 \text{ мм}^2$$

						Аркуш
						39
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.6.141.283 ПЗ	

де ρ – питомий опір міді, 0,0175 (Ом·мм²/м),

F – перетин жил, мм².

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж 2,5 мм² для мідних жил.

Опір обраних проводів:

$$Z_{\text{пр}} = \rho \cdot \frac{l}{F} = 0,0175 \cdot \frac{100}{2,5} = 0,7 \text{ Ом}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,02 + 0,1 + 0,7 = 0,82 \text{ Ом}$$

що менше ніж 1,2 Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 0,5.

Трансформатор струму ТФЗМ-110Б-І відповідає умовам вибору.

Вибираємо трансформатор струму ТШЛ-10-У3.

Таблиця 2.10 – Вибір трансформатора струму у колі трансформатора на боці 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{\text{с}} \leq U_{\text{н}}$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	2020 А	3000 А
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$	37,34 кА	-
$B_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 t_{\text{р}}$	40,34 кА ² ·с	3250 кА ² ·с
$Z_{\text{н}} \leq Z_{\text{н.ном}}$	0,8 Ом	0,8 Ом

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}$$

Тоді опір сполучних проводів може бути

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_{\text{к}}$$

де $Z_{\text{пр}}$ – номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{\text{прил}}$ – опір приладів, Ом;

$Z_{\text{к}}$ – опір контактів, Ом.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{\text{пр}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом.}$$

Перетин жил при довжині кабеля $l = 100 \text{ м}$:

$$F = \rho \cdot \frac{l}{Z_{\text{пр}}} = 0,0175 \cdot \frac{100}{0,44} = 3,98 \text{ мм}^2$$

де ρ – питомий опір міді, $0,0175 \text{ (Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м)}$,

F – перетин жил, мм^2 .

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж 4 мм^2 для мідних жил.

Опір обраних проводів:

$$Z_{\text{пр}} = \rho \cdot \frac{l}{F} = 0,0175 \cdot \frac{100}{4} = 0,44 \text{ Ом.}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,26 + 0,1 + 0,44 = 0,8 \text{ Ом.}$$

що менше ніж $0,8 \text{ Ом}$, припустимих при роботі трансформатора в класі точності $0,5$.

Трансформатор струму ТШЛ-10-У3 відповідає умовам вибору.

Вибираємо трансформатор струму ТШЛ-10-У3.

Таблиця 2.11 – Вибір трансформатора струму в колі секційного вимикача 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{\text{с}} \leq U_{\text{н}}$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	1,01 кА	2000 А
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$	37,34 кА	-
$B_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 t_{\text{р}}$	40,34 кА ² ·с	3250 кА ² ·с
$Z_{\text{н}} \leq Z_{\text{н.ном}}$	0,56 Ом	0,8 Ом

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом}$$

Тоді опір сполучних проводів може бути

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_{\text{к}}$$

де $Z_{\text{пр}}$ – номінальний опір навантаження, Ом;

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$Z_{\text{прил}}$ – опір приладів, Ом;

$Z_{\text{к}}$ – опір контактів, Ом.

$$Z_{\text{пр}} = 0,8 - 0,02 - 0,1 = 0,68 \text{ Ом.}$$

Перетин жил при довжині кабеля $l = 100$ м:

$$F = \rho \cdot \frac{l}{Z_{\text{пр}}} = 0,0175 \cdot \frac{100}{0,68} = 2,57 \text{ мм}^2$$

де ρ – питомий опір міді, 0,0175 (Ом·мм²/м),

F – перетин жил, мм².

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж 4 мм² для мідних жил.

Опір обраних проводів:

$$Z_{\text{пр}} = \rho \cdot \frac{l}{F} = 0,0175 \cdot \frac{100}{4} = 0,438 \text{ Ом.}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,02 + 0,1 + 0,438 = 0,56 \text{ Ом.}$$

що менше ніж 0,8 Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 0,5.

Трансформатор струму ТШЛ-10-У3 відповідає умовам вибору.

Вибираємо трансформатор струму ТШЛП-10-У3.

Таблиця 2.12 – Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{\text{с}} \leq U_{\text{н}}$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	202 А	1000 А
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$	37,34 кА	-
$B_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 t_{\text{р}}$	40,34 кА ² ·с	3250 кА ² ·с
$Z_{\text{н}} \leq Z_{\text{н.ном}}$	0,56 Ом	0,8 Ом

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом}$$

Тоді опір сполучних проводів може бути

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_{\text{к}}$$

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де $Z_{\text{пр}}$ – номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{\text{прил}}$ – опір приладів, Ом;

$Z_{\text{к}}$ – опір контактів, Ом.

$$Z_{\text{пр}} = 0,8 - 0,02 - 0,1 = 0,68 \text{ Ом.}$$

Перетин жил при довжині кабеля $l = 100$ м:

$$F = \rho \cdot \frac{l}{Z_{\text{пр}}} = 0,0175 \cdot \frac{100}{0,68} = 2,57 \text{ мм}^2$$

де ρ – питомий опір міді, 0,0175 (Ом·мм²/м),

F – перетин жил, мм².

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж 4 мм² для мідних жил.

Опір обраних проводів:

$$Z_{\text{пр}} = \rho \cdot \frac{l}{F} = 0,0175 \cdot \frac{100}{4} = 0,438 \text{ Ом.}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,02 + 0,1 + 0,438 = 0,56 \text{ Ом.}$$

що менше ніж 0,8 Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 0,5.

Трансформатор струму ТШЛП-10-У3 відповідає умовам вибору.

Обираємо трансформатори напруги за заданими значеннями напруги та за потужністю.

На боці високої напруги 110 кВ обираємо трансформатори НКФ-110-58У1, на боці 10 кВ – ЗНОЛ.09-10.02, використовуючи дані із таблиць наведених у довідниках.

Таблиця 2.13 – Вибір трансформатора напруги з боку ВН

Тип	Клас напруги	Номінальна напруга обмоток			Номінальна потужність, В·А, в класі точності				Максимальна потужність, В·А
		Первинної, кВ	Основної вторинної, В	Додаткової, В	0,2	0,5	1	3	
НКФ-110-58У1	110	110/√3	100/√3	100/3	-	400	600	1200	2000

					БР 5.6.141.283 ПЗ				Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата					43

Таблиця 2.14 – Вибір трансформатора напруги з боку НН

Тип	Клас напруги	Номинальна напруга обмоток			Номинальна потужність, В·А, в класі точності				Максимальна потужність, В·А
		Первинної, кВ	Основної вторинної, В	Додаткової, В	0,2	0,5	1	3	
ЗНОЛ.09 -10.02	10	10/√3	100/√3	100	50	75	150	300	630

2.6 Обґрунтування схеми електричних з'єднань підстанції

Основна схема електричних з'єднань повинна задовольняти такі вимоги [4]:

- забезпечувати надійність електропостачання в нормальних й післяаварійних режимах;
- урахувати перспективи розвитку;
- допускати можливість розширення;
- забезпечувати можливість виконання ремонтних і експлуатаційних робіт на окремих елементах схеми й без відключення приєднань.

При цьому слід застосовувати найпростіші схеми.

Підстанція відноситься до класу тупикових підстанцій. Для даного класу напруги, набору зовнішніх приєднань і потужності трансформаторів, з урахуванням того, що застосування віддільників в умовах холодного клімату не рекомендується, приймаємо до установки на проектованій підстанції схему «два блоки «лінія - трансформатор» з вимикачем у колі трансформатора та неавтоматичною перемичкою» (рис. 2.5).

Схема з ремонтною перемичкою, виконаною за допомогою роз'єднувачів («неавтоматичною» перемичкою), забезпечує можливість приєднання обох трансформаторів до однієї лінії при ремонті іншої.

Схема підстанції наведена на графічній частині проекту.

У нормальному режимі все комутаційне обладнання включене, за винятком роз'єднувачів QS3...QS4 у ремонтній перемичці. Повітряні лінії W1, W2 - лінії, які з'єднують проектовану підстанцію з енергосистемою.

Розглянемо наслідки аварійних ситуацій у даній схемі:

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

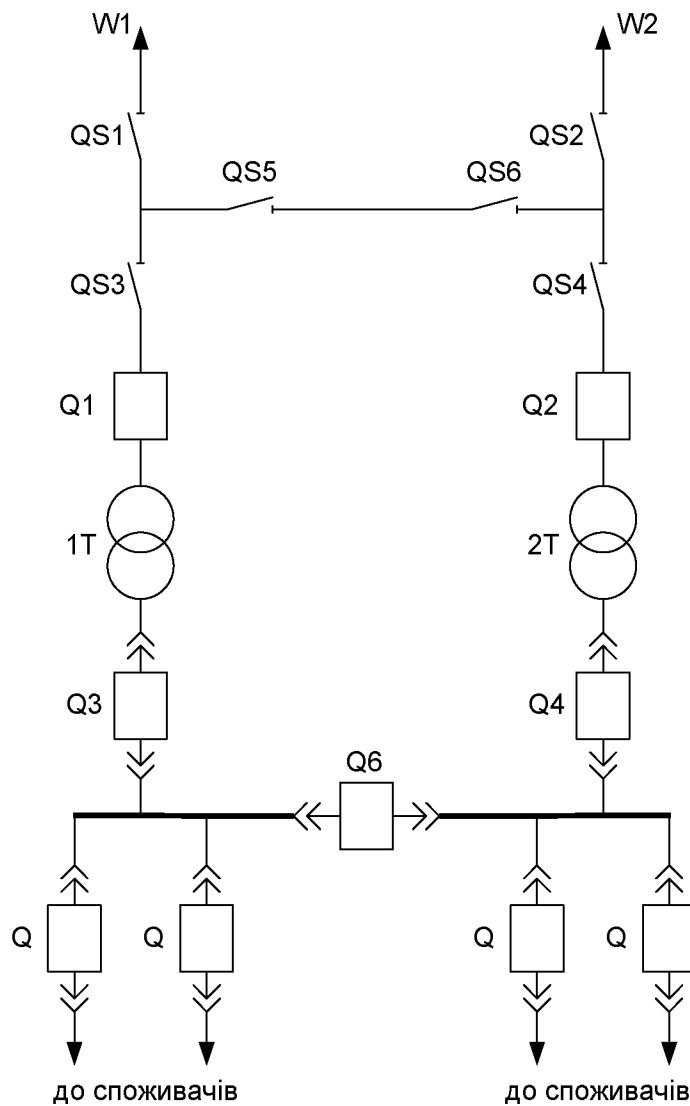


Рисунок 2.5 – Схема розміщення високовольтних апаратів на підстанції

1) Відмова одного із трансформаторів (припустимо T1). При короткому замиканні в трансформаторі T1 відбувається відключення вимикача Q1. Живлення споживачів підстанції здійснюється через трансформатор T2 за рахунок його перевантажувальної здатності.

2) Відмова однієї лінії, яка з'єднує споживачів з електростанцією (W1). При короткому замиканні на лінії W1 відбувається відключення вимикача Q1, трансформатор T1 втрачає живлення. Після відключення W1 оперативний персонал відключає ушкоджену лінію лінійним роз'єднувачем. Після цього замикається раніше відключений роз'єднувач QS3, відбувається включення Q1 і трансформатор T1 відновлює живлення.

3) Відмова одного з вимикачів (Q1). При короткому замиканні у вимикачі

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Q1 відключається головний вимикач і лінія W1. Живлення всіх споживачів підстанції здійснюється від лінії W2 і трансформатора T2.

Таким чином, з наведеного аналізу видно, що при використанні даної схеми відсутній варіант простої (одиначної) аварійної ситуації, яка приводить до відключення споживачів проекрованої підстанції.

Найбільш важкою аварійною ситуацією є відмова однієї з живильних ліній (W1) у період ремонту одного із трансформаторів (T2), але й у цьому випадку є можливість забезпечити живлення споживачів проекрованої підстанції від лінії W2 через ремонтну перемичку QS3-QS4 і трансформатор T1.

2.7 Вибір трансформаторів власних потреб

Приймачами власниками власних потреб є [10]:

- оперативні кола;
- електродвигуни, системи охолодження силових трансформаторів, висвітлення і електроопалення приміщень;
- електропідігрівання комутаційної апаратури і т.д.

Сумарна розрахункова потужність приймача власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту. Розрахунок потужності приймача власних потреб наведений у табл. 2.15.

На підстанції передбачається установка 2 трансформаторів власних потреб. Номінальна потужність вибирається з умов

$$S_{TCH} \geq S_{CH},$$

де S_{TCH} - потужність трансформатора власних потреб, кВА;

S_{CH} - потужність споживачів власних потреб, кВА.

Розрахункове навантаження

$$S_{уст} = K_C \cdot \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2}$$

де K_C – коефіцієнт попиту. Приймаємо рівним 0,8

$$S_{уст} = 0.8 \cdot \sqrt{27,4^2 + 6,2^2} = 22,5 \text{ кВА}$$

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.15 – Розрахунок потужності приймача власних потреб

№ п/п	Найменування споживача	Установлена потужність		Коеф. попиту	$\cos\varphi$	Навантаження	
		Одиниці, кВт х кількість	Всього, кВт			$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ кВАр
1	Охолодження трансформаторів ТРДН-25000/110	2х5	10	0,8	0,85	10	6,2
2	Підігрів високовольтних вимикачів зовнішньої установки	2х4	8	0,8	1	8	-
3	Підігрів приводів роз'єднувачів зовнішньої установки	4х0,6	2,4	0,8	1	2,4	-
4	Опалення, освітлення, вентиляція закритого РУ	-	5	0,8	1	5	-
5	Освітлення РУ	-	2	0,8	1	2	-
	Всього					27,4	6,2

Під час ввімкнення цього навантаження на один трансформатор допускається його перевантаження на 20%. Потужність трансформатора для забезпечення живлення навантаження власних потреб з урахуванням ремонтних навантажень. Ремонтне навантаження на підстанції можна брати таким, що дорівнює $S_{ТСР} = 20 - 25$ кВА.

$$S_{ТСН} = \frac{S_{СН} + S_{ТСР}}{1,2} = \frac{22,5 + 20}{1,2} = 35,4 \text{ кВА.}$$

Беремо стандартну потужність трансформатора $S_{ТСН} = 40$ кВА. Остаточну для живлення споживача власних потреб беремо два трансформатори стандартної потужності: ТМ-40/10.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2.8 Компонування розподільних пристроїв на боці 110 кВ

Підстанції (ПС) 110 кВ споруджують, як правило, відкритими.

Спорудження закритих ПС напругою 110 кВ, допускається в таких випадках [9]: розміщення ПС із трансформаторами 16 МВА і вище на службовій території міст, розміщення ПС на території міст, коли це допускається містобудівним міркуванням.

На ПС електропостачання промислових підприємств передбачається водяне опалення, приєднане до теплових мереж підприємств.

Будинки ЗРУ (закритих РУ) допускається виконувати як окремо розміщені, так і зблокованими з будинками РПУ в тому числі і по вертикалі.

Трансформатори 110 кВ варто установлювати відкритими, а у районах із забрудненою атмосферою з посиленою ізоляцією.

Схеми для напруг 110 кВ і вище повинні складатися з урахуванням таких вимог: ремонт вимикачів 110 кВ і вище виконується без відключення приєднань: повітряні лінії відключаються від РП не більше ніж двома вимикачами, трансформатори блоків відключаються не більше ніж трьома вимикачами і т.ін.

При відключеннях вимикачів у нормальному режимі РП не повинне відключати більше одного блока, у ремонтному - не більше двох блоків.

Для РП35-220 кВ при числі приєднань 12-16 одну з двох систем секціонують, при числі приєднань більш ніж 16 – секціонують обидві системи шин.

2.9 Компонування розподільних пристроїв на боці 10кВ

РП 10 кВ входять до складу підстанцій як головні РП. До РП10 кВ підстанцій підключаються понижуючі трансформатори, синхронні компенсатори та ін.

Схеми РП10 кВ повинні задовольняти наступним вимогам [4-6]: неспрацювання вимикача не повинне приводити до припинення

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

електропостачання відповідальних споживачів (1 категорія по ПУЭ), розширення РП з ростом навантажень не повинне приводити до зміни схеми і значних будівельних і монтажних робіт.

Секціювання збірних шин дозволяє задовольнити вимоги надійності. Розширення РП здійснюється заповненням резервних осередків або введенням нової секції.

РУ 10 кВ для комплектних трансформаторів ПС виконується у вигляді КРУН або КРУ, встановлюваних у закритих приміщеннях. У ЗРУ 10 кВ рекомендується встановлювати шафи КРУ заводського виготовлення.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА

3.1 Визначення параметрів, необхідних для розрахунку захистів трансформатора

1. Розраховуємо захист для трансформатора типу ТРДН-25000/110, каталожні дані якого наведено в таблиці 3.

Трансформатор отримує живлення від енергосистеми з параметрами $x_{с.макс} = 12 \text{ Ом}$; $x_{с.мін} = 18 \text{ Ом}$ (опори приведені до $U_{ср.ном} = 115 \text{ кВ}$).

2. Для складання схеми заміщення (рис. 3.1) розрахуємо опори трансформатора:

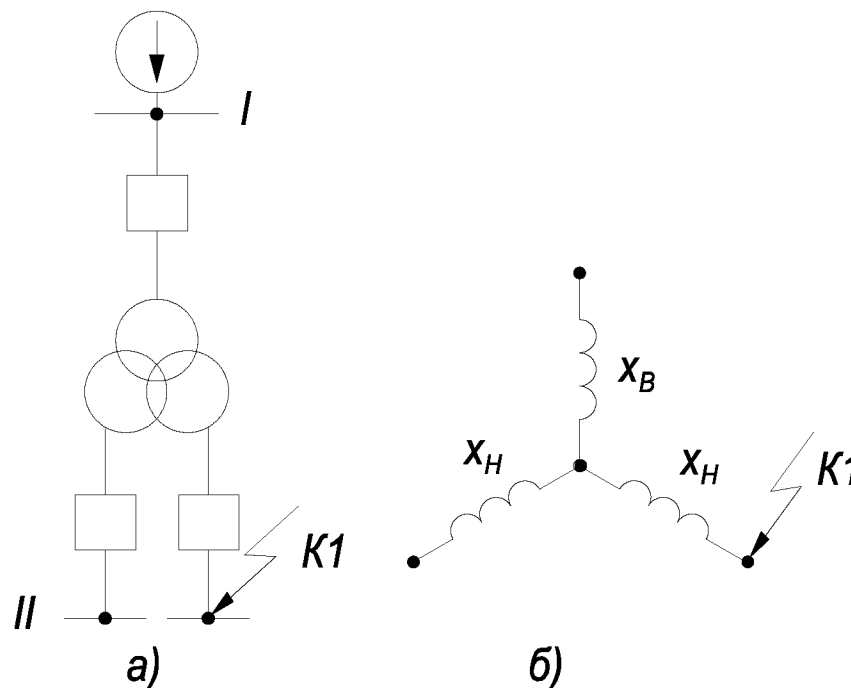


Рисунок 3.1 – Пояснююча схема (а) і схема заміщення (б) трансформатора з розщепленою обмоткою

а) загальний індуктивний опір:

$$x_m = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{U_{ср.ном}^2}{S_n} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{25} = 55,54 \text{ Ом.}$$

б) опір обмотки вищої напруги:

$$x_e = 0,125x_m = 0,125 \cdot 55,54 = 6,94 \text{ Ом.}$$

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

в) опір обмотки нижчої напруги:

$$x_n = 1,75x_m = 1,75 \cdot 55,54 = 97,2 \text{ Ом.}$$

3. При розрахунках струмів КЗ для захистів трансформаторів із РПН слід урахувати зміну опору за рахунок регулювання напруги. Для трансформаторів 110 кВ приблизно можна прийняти:

$$x_{н.мин} = x_{н.ном} (1 - \Delta U)^2 = 97,2 \cdot (1 - 0,12)^2 = 75,3 \text{ Ом;}$$

$$x_{н.макс} = x_{н.ном} (1 + \Delta U)^2 = 97,2 \cdot (1 + 0,12)^2 = 121,9 \text{ Ом.}$$

$$\text{Звідси } x_{в.мин} = x_{в.ном} (1 - \Delta U)^2 = 6,94 \cdot (1 - 0,12)^2 = 5,4 \text{ Ом;}$$

$$x_{в.макс} = x_{в.ном} (1 + \Delta U)^2 = 6,94 \cdot (1 + 0,12)^2 = 8,7 \text{ Ом.}$$

4. Струм короткого замикання на шинах нижчої напруги (точка К1, рис. 3.1):

$$I_{к.макс}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3}(x_{с.макс} + x_{в.мин} + x_{н.мин})} = \frac{115}{\sqrt{3}(12 + 5,4 + 75,3)} = 0,717 \text{ кА.}$$

$$I_{к.мин}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{2 \cdot (x_{с.мин} + x_{в.макс} + x_{н.макс})} = \frac{115}{2 \cdot (18 + 8,7 + 121,9)} = 0,387 \text{ кА.}$$

3.2 Розрахунок поздовжнього диференціального струмового захисту

1. Струм спрацьовування захисту визначається за більшою із двох розрахункових умов:

а) відбудування від кидка струму намагнічування, що виникає при включенні трансформатора на холостий хід або при відновленні напруги після відключення КЗ, а також від перехідних струмів небалансу при зовнішніх КЗ:

$$I_{с.з} = k_{отс} \cdot I_{ном},$$

де $k_{отс}$ - коефіцієнт відбудування, для реле типу РНТ $k_{отс} = 1,3$;

$I_{ном}$ - номінальний струм тієї сторони трансформатора, напругу якої прийнято в якості розрахункової;

$$I_{ном} = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{ср.ном}} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,126 \text{ кА.}$$

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{с.з} = 1,3 \cdot 126 = 163,2 \text{ А.}$$

б) відбудування від максимального періодичного струму небалансу, що виникає при зовнішніх КЗ:

$$I_{с.з} \geq k_3 \cdot I_{нб.расч},$$

де $k_3 = 1,3$ - коефіцієнт запасу по вибірковості;

$I_{нб.расч}$ - максимальний розрахунковий струм небалансу, визначений як сума трьох складових, пропорційних періодичній складовій струму КЗ,

$$I_{нб.расч} = I'_{нб.расч} + I''_{нб.расч} + I'''_{нб.расч}.$$

2. Складова струму $I'_{нб.расч}$ обумовлена погрішністю трансформатора струму:

$$I'_{нб.расч} = k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{к.макс},$$

де $k_{одн} = 1,0$; $\varepsilon = 0,1$; $I_{к.макс}$ - максимальний струм зовнішнього КЗ, приведений до розрахункового щабля напруги.

3. Складова $I''_{нб.расч}$ обумовлена регулюванням коефіцієнта трансформації силового трансформатора (автотрансформатора) після того, як захист був збалансований на середніх відпайках. Ця складова визначається як сума струмів небалансу на сторонах, де є регулювання:

$$I''_{нб.расч} = \sum_{n=I}^{III} \Delta U_n \cdot I_{к.макс.n},$$

де ΔU_n - відносна погрішність регулювання напруги, приймається рівній половині діапазону регулювання сторони n трансформатора (якщо регулювання $\pm 10\%$, то $\Delta U_n = 0,1$);

$I_{к.макс.n}$ - максимальний періодичний струм, що протікає по стороні n трансформатора.

4. Складова $I'''_{нб.расч}$ обумовлена неточністю установки на реле розрахункових чисел витків:

$$I'''_{нб.расч} = \sum_{n=I}^{III} \Delta w_n \cdot I_{к.макс.n},$$

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\Delta w_n = \frac{w_{n.расч} - w_n}{w_n}$ - погрішність вирівнювання для сторони n трансформатора. У цьому випадку при попередніх розрахунках ця складова не враховується.

5. З урахуванням наведених виразів виконуємо розрахунок струму спрацьовування захисту за умовою відбудування від струму небалансу:

$$I_{c.3} = k_3 (k_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_I) I_{к.макс}^{(3)} = 1,3 \cdot (1,0 \cdot 0,1 + 0,12) \cdot 717 = 205,0 \text{ А.}$$

Приймаємо більше значення $I_{c.3} = 205,0 \text{ А.}$

6. Вибір типу реле робимо на основі оцінки чутливості захисту, який визначаємо приблизно, вважаючи, що весь струм пошкодження (приведений до вторинної сторони) попадає в реле. Попередня перевірка чутливості проводиться по первинному струму при двофазному КЗ на стороні НН, при цьому повинна виконуватися умова:

$$k_u = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{c.3}} \geq 2,0,$$

$$k_u = \frac{387}{205,0} = 1,887 < 2.$$

7. Оскільки захист із реле типу РНТ не забезпечує чутливості, то застосовуємо реле типу ДЗТ-11, для якого струм спрацьовування захисту вибирається за умовами:

а) відбудування від кидка, що намагнічує струм

$$I_{c.3} = k_{отс} \cdot I_{ном} = 1,5 \cdot 126 = 188,3 \text{ А.}$$

б) відбудування від струму небалансу при КЗ на низькій стороні

$$I_{c.3} = k_3 \cdot (k_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_I) I_{к.макс}^{(3)} = 1,5(1,0 \cdot 0,1 + 0,12) \cdot 717 = 236,5 \text{ А.}$$

Струм спрацьовування захисту приймаємо за більшою з умов $I_{c.3} = 236,5 \text{ А.}$

8. Визначаємо чутливість захисту при КЗ на стороні НН при мінімальному регулюванні:

$$k_u = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{c.3}} = \frac{387}{236,5} = 1,636.$$

Це значення k_u трохи менше нормованого, однак, уже при номінальному

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнті трансформації трансформатора струм КЗ складе:

$$I_{к.мин}^{(2)} = \frac{115}{2(18 + 6,94 + 97,2)} = 0,471 \text{ кА.}$$

Таким чином необхідний коефіцієнт чутливості забезпечується

$$k_{ч} = \frac{471}{236,5} \approx 2.$$

Тому захист із реле ДЗТ-11 може бути застосований.

3.3 Вибір уставок реле типу ДЗТ-11

1. Визначаємо первинні номінальні струми для двох сторін обладнання, що захищається, по формулі:

$$I_{ном.п} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.п}},$$

де $S_{ном}$ - номінальна потужність трансформатора;

$U_{ном.п}$ - номінальна напруга сторони обладнання, що захищається.

2. Для сторони високої напруги 115 кВ:

$$I_{ном.п} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 126 \text{ А.}$$

Для сторони низької напруги 10,5 кВ:

$$I_{ном.п} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1375 \text{ А.}$$

3. Визначаємо вторинні номінальні струми плечей захисту:

$$I_{в.ном.п} = \frac{I_{ном.п} k_{сх.п}}{K_{I.п}},$$

де $k_{сх.п}$ - коефіцієнт схеми з'єднання вторинних обмоток трансформатора на стороні об'єкта, що захищається (при з'єднанні обмоток у $k_{сх} = 1,0$ зірку; при з'єднанні обмоток у $k_{сх} = \sqrt{3}$ трикутник);

$K_{I.п}$ - коефіцієнт трансформації трансформатора, прийнятий на стороні об'єкта, що захищається (при виборі коефіцієнта ТТ треба враховувати, щоб вторинні номінальні струми суттєво не перевищували паспортні значення

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

струмів 5 А або 1 А). Сторона з найбільшим вторинним струмом приймається в якості основної, що забезпечує найменшу погрішність вирівнювання для реле.

4. Для сторони високої напруги 115 кВ:

$$I_{в.ном.п} = \frac{126 \cdot \sqrt{3}}{300 / 5} = 3,62 \text{ А.}$$

5. Для сторони низької напруги 10,5 кВ:

$$I_{в.ном.п} = \frac{1375}{2000 / 5} = 3,44 \text{ А.}$$

Враховуючи, що обмотка низької напруги трансформатора виконана розщепленою, отримане значення струму необхідно подвоїти - $I_{в.ном.п} = 6,87 \text{ А}$.

Отримані розрахункові дані наводимо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунки первинних і вторинних струмів сторін трансформатора

Позначення параметрів	I – ВН-115 кВ	II - НН-10,5 кВ
$I_{ном.п}$, А	402	4399
K_{In}	700/5	5000/5
Схема з'єднання трансформатора	трикутник	зірка
$I_{в.ном.п}$, А	3,62	6,87

З таблиці 18 випливає, що в якості основної слід взяти сторону низької напруги (10,5 кВ), що має більший вторинний номінальний струм.

6. Струм спрацьовування реле для основної сторони трансформатора визначаємо по виразу:

$$I_{с.р.п} = \frac{I_{с.з} \cdot k_{сх} \cdot \left(\frac{U_{ном.расч}}{U_{ном.п}} \right)}{K_{I,п}},$$

де $U_{ном.расч}$ - номінальна напруга сторони, відповідного розрахункового щабля напруги.

$$I_{c.p.n} = \frac{236,5 \cdot 1 \cdot \frac{115}{10,5}}{2000 / 5} = 6,48 \text{ А.}$$

7. Розрахункове число витків робочої обмотки для основної сторони визначаємо по формулі:

$$w_{осн.расч} = \frac{F_{cp}}{I_{c.p.осн}} = \frac{100}{6,48} = 15,4 \text{ витків.}$$

8. Приймаємо найближче менше ціле значення $w_{раб.осн} = 15$ витків, що забезпечує запас по вибірковості. При цьому фактичний струм спрацьовування реле становить:

$$I_{c.p.осн} = \frac{100}{15} = 6,67 \text{ А.}$$

9. Розрахунок числа витків для іншої сторони захисту вибираємо за умовами балансу на реле МДС захисту при зовнішньому КЗ або нормальному режимі (рисунок 3.2):

$$I_{в.номI} \cdot w_I = I_{в.номII} \cdot w_{II}$$

звідки

$$w_{расч.n} = w_{осн} \cdot \left(\frac{I_{в.ном.осн}}{I_{в.ном.n}} \right).$$

$$w_{расч} = 15 \cdot \frac{6,87}{3,62} = 28,46 \text{ витків.}$$

10. Приймаємо найближче ціле значення, що забезпечує найменшу погрішність вирівнювання $w_I = 28$ витків.

11. Уточнений струм спрацьовування захисту з урахуванням погрішності вирівнювання знаходиться по виразах, наведених у п. 3.1:

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{де } \Delta w_{II} = \frac{15,4 - 15}{15,4} = 0,0287.$$

14. Число витків гальмівної обмотки, що забезпечує надійне відбудування реле від струму небалансу при даному видіві КЗ, визначається по виразу:

$$w_{\text{торм.н}} = \frac{k_3 \cdot I_{\text{нб.расч}} \cdot w_{\text{раб.н}}}{I_{\text{торм.н}} \cdot \text{tg}\alpha},$$

де $k_3 = 1,5$;

$I_{\text{торм.н}}$ - первинний гальмівний струм на стороні трансформатора, що захищається, на якій включена гальмівна обмотка;

$\text{tg}\alpha = 0,75$ - тангенс кута нахилу дотичної проведеної з початку координат до нижньої розрахункової по вибірковості гальмівної характеристики (рис. 3.3).

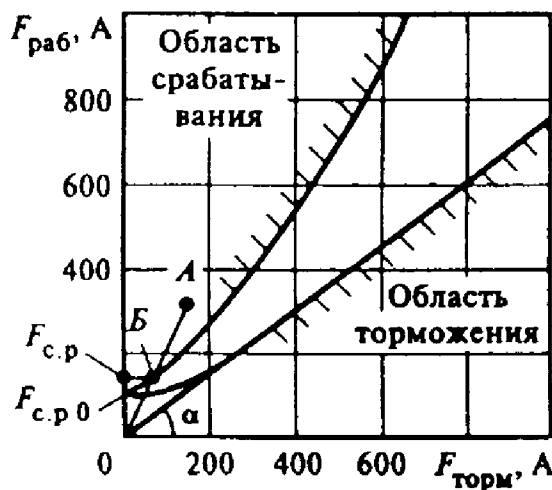


Рисунок 3.3 – Характеристика для визначення чутливості диференціального захисту з реле типу ДЗТ-11 при наявності гальмування

$$w_{\text{торм}} = \frac{k_3 \cdot I_{\text{нб.расч}} \cdot w_{\text{раб.н}}}{I_{\text{к.макс}} \cdot \text{tg}\alpha} = \frac{1,5 \cdot 267,4 \cdot 15}{717 \cdot 0,75} = 11,19 \approx 11 \text{ витків.}$$

Таким чином, до установки на реле приймаються наступні витки:

$$w_I = 28 \text{ шт.}, w_{II} = 15 \text{ шт.}, w_{\text{торм}} = 11 \text{ шт.}$$

15. Чутливість захисту визначаємо приблизно по первинних струмах при розрахунковому КЗ на стороні НН для випадків мінімального й нормального регулювання трансформатора:

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_u = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{с.з}}$$

де $I_{с.з}$ – фактичний струм спрацьовування захисту, визначається з виразу

$$I_{с.р.н} = \frac{I_{с.з} \cdot k_{сх} \cdot \left(\frac{U_{ном.расч}}{U_{ном.н}} \right)}{K_{I.n}}$$

звідси

$$I_{с.з} = \frac{I_{с.р.н} \cdot K_{I.n}}{k_{сх} \cdot \left(\frac{U_{ном.расч}}{U_{ном.н}} \right)}$$

де $I_{с.р.н} = I_{с.р.осн} = 6,67$ А.

$$I_{с.з} = \frac{6,67 \cdot 2000 / 5}{1 \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)} = 243,5$$
 А.

16. Тоді визначаємо коефіцієнти чутливості:

$$k_{ч1} = \frac{387}{243,5} = 1,59, \quad k_{ч2} = \frac{471}{243,5} = 1,93.$$

Оскільки коефіцієнт чутливості захисту при нормальному регулюванні напруги практично відповідає нормованому, а при мінімальному регулюванні досить високий, то захист із реле ДЗТ-11 рекомендується до установки.

3.4 Розрахунок максимального струмового захисту з комбінованим пуском по напрузі

1. Для двохобмоткових трансформаторів захист встановлюється на стороні живлення (ВН) і виконується у двохрелейному виконанні із з'єднанням трансформатора в трикутник для підвищення чутливості.

Оскільки в цьому випадку обмотка НН розщеплена, то в колі кожного відгалуження встановлюється окрема МТЗ, як правило, з пуском по напрузі. Захист діє із двома витримками часу: з першою витримкою відключається вимикач відгалуження НН, із другою – усі вимикачі об'єкта.

2. Спочатку визначаємо струм спрацьовування МТЗ без пуску по напрузі,

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

який відбудовує від максимального струму навантаження з урахуванням самозапуску рухового навантаження:

$$I_{c.з} = \frac{k_3 \cdot k_c \cdot I_{нагр.макс}}{k_г},$$

де $k_3 = 1,2$ - коефіцієнт запасу по вибірковості;

$k_г = 0,8$ - коефіцієнт повернення реле РТ-40;

k_c - коефіцієнт самозапуску, що враховує збільшення струму загальмованого рухового навантаження після відновлення напруги, приймаємо $k_c = 2,5$;

$I_{нагр.макс}$ - максимальний струм навантаження, приймаємо рівним номінальному струму трансформатора.

$$I_{c.з} = \frac{1,2 \cdot 2,5 \cdot 126}{0,8} = 470,7 \text{ А.}$$

3. Коефіцієнт чутливості захисту визначаємо при двофазному металевому КЗ у мінімальному режимі:

$$k_ч = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{c.з}} = \frac{387}{470,7} = 0,822 < 1.$$

Оскільки чутливість МТЗ без пуску по напрузі виявляється недостатньою, застосуємо блокування по напрузі з боку НН трансформатора.

4. Струм спрацьовування МТЗ із пуском по напрузі відбудовує від номінального струму трансформатора $I_{ном}$ на стороні, де встановлений захист:

$$I_{c.з} = \frac{k_3}{k_г} \cdot I_{ном} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 1,0 \cdot 126 = 188,3 \text{ А.}$$

а чутливість захисту в тій же розрахунковій точці складе:

$$k_ч = \frac{387}{188,3} = 2,055.$$

5. Напругу спрацьовування пускового органу мінімальної напруги, виконаного у вигляді реле, включеного на міжфазну напругу, визначаємо приблизно за умовами відбудовування від струмів самозапуску рухового навантаження при відновленні напруги:

$$U_{c.з} \leq \frac{U_{с.мин}}{k_г},$$

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

де $k_g = 1,2$ - коефіцієнт повернення для реле мінімальної напруги;

$U_{c.мин}$ - мінімальна міжфазна напруга в умовах самозапуску при відновленні напруги, приймаємо $U_{c.мин} = 0,7U_{ном}$.

$$U_{c.з} = \frac{0,7 \cdot 110}{1,2} = 64,2 \text{ кВ.}$$

6. Напругу спрацьовування пускового органу по зворотній послідовності комбінованого пуску по напрузі приймаємо рівною мінімальній уставці фільтр-реле:

$$U_{2c.з} = 0,06 \cdot U_{ном} = 0,06 \cdot 115 = 6,9 \text{ кВ.}$$

7. Чутливість блокувальних органів перевіряється при КЗ на прийомних сторонах трансформатора, куди й підключені блокувальні реле, тобто $U_{к.защ}^{(3)} = 0$, а

$$U_{2к.защ} = \frac{U_\phi}{2} = \frac{115}{2 \cdot \sqrt{3}} = 33,2 \text{ кВ.}$$

Тоді

$$k_{qU} = \frac{U_{2к.защ}}{U_{2c.з}} = \frac{33,2}{6,9} = 4,811 > 1,5.$$

Оскільки при КЗ на прийомній стороні трансформатора $k_q > 1,5$, то диференціальний захист шини на цій стороні можна не встановлювати.

8. Струм спрацьовування захисту від симетричного перевантаження, що діє на сигнал, визначається за умовою відбудування від номінального струму трансформатора на стороні, де встановлений захист, по виразу

$$I_{c.з} = \frac{k_3}{k_g} \cdot I_{т.ном} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 126 = 164,7 \text{ А.}$$

9. Витримка часу МТЗ узгоджується з витримкою часу захисту лінії на стороні НН.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

4. РОЗРАХУНОК ЗОН ЗАХИСТУ СТРИЖНЕВИХ БЛИСКАВКОВІДВОДІВ ВРП

В бакалаврській роботі необхідно розрахувати висоту і зону захисту блискавковідводів ВРП-110 кВ, встановлених на двох порталах, рис. 4.1 (поз. 1 і 2), і двох блискавковідводів, що стоять окремо, зазначених на рис. 4.1 (поз. 3 і 4), вважаючи, що блискавковідводи розташовані симетрично по відношенню до вузької сторони ВРП. Надійність зони захисту від уражень блискавки $P_3 = 0,999$.

Накреслити горизонтальний перетин зони захисту блискавковідводів ВРП на висоті h_x . Параметри розміщення блискавковідводів по площині ВРП наведені в табл. 4.1.

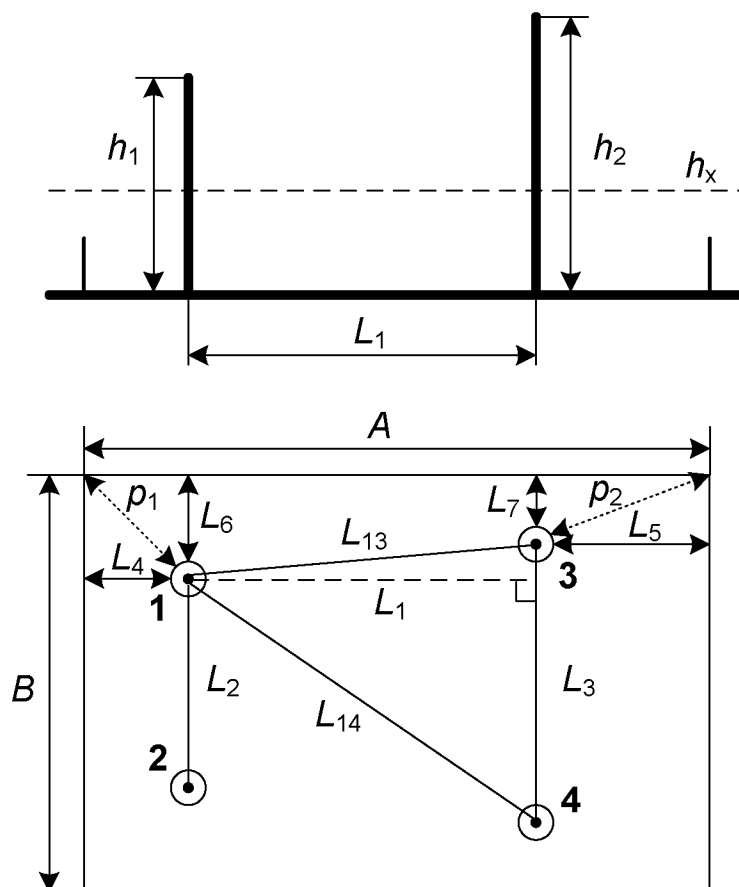


Рисунок 4.1 – Схема розміщення стрижневих блискавковідводів ВРП-110 кВ

Таблиця 4.1 – Розрахункові параметри

$A,$ м	$B,$ м	$L_1,$ м	$L_2,$ м	$L_3,$ м	$L_4,$ м	$L_5,$ м	$h_x,$ м
58	34	34	26	32	10	14	6

1. Визначаємо відстані L_6 та L_7 :

$$L_6 = \frac{B - L_2}{2} = \frac{34 - 26}{2} = 4 \text{ м};$$

$$L_7 = \frac{B - L_3}{2} = \frac{34 - 32}{2} = 1 \text{ м}.$$

2. Визначаємо відстані p_1 та p_2 :

$$p_1 = \sqrt{L_4^2 + L_6^2} = \sqrt{10^2 + 4^2} = 10,77 \text{ м};$$

$$p_2 = \sqrt{L_5^2 + L_7^2} = \sqrt{14^2 + 1^2} = 14,04 \text{ м}.$$

3. Зона захисту подвійного стрижневого блискавковідводу складається з зовнішніх областей зони захисту (напівконусів з габаритами h_0 , r_0), що виконуються за формулами для одиничних стрижневих блискавковідводів. Розміри внутрішніх областей визначаються параметрами h_0 і h_c , перший з яких задає максимальну висоту зони безпосередньо біля блискавковідводів, а другий – мінімальну висоту зони посередині між блискавковідводами.

Зона захисту одиничного стрижневого блискавковідводу висотою $h \leq 30$ м при надійності захисту $P_s = 0.999$, визначається рівняннями:

$$\begin{cases} h_{0n} = 0,7h_n \\ r_{xn} = \frac{r_{0n} \cdot (h_{0n} - h_x)}{h_{0n}} \\ r_{0n} = 0,6 \cdot h_n \end{cases}$$

Розраховуємо висоти блискавковідводів 1 та 2 виходячи з умови створення ними зони захисту на висоті h_x до кутів ВРП:

$$\begin{cases} h_{01} = 0,7h_1 \\ r_{x1} = \frac{r_{01} \cdot (h_{01} - h_x)}{h_{01}}, \text{ при } r_{x1} = p_1 \\ r_{01} = 0,6 \cdot h_1 \end{cases}$$

Шляхом математичних перетворень отримаємо рівняння відносно шуканої величини h_1 :

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_1 = \frac{0,6h_1 \cdot (0,7h_1 - h_x)}{0,7h_1};$$

$$0,42h_1^2 - (0,7p_1 + 0,6h_x)h_1 = 0;$$

$$h_1 = 0; \quad h_1 = 26,52 \text{ м.}$$

Остаточно приймаємо блискавковідводи 1 та 2 висотою $h_1 = h_2 = 26,52$ м, так як вона задовольняє умові застосування рівнянь при $h \leq 30$ м.

Розраховуємо висоти блискавковідводів 3 та 4 виходячи з умови створення ними зони захисту на висоті h_x до кутів ВРП:

$$\begin{cases} h_{03} = 0,7h_3 \\ r_{x3} = \frac{r_{03} \cdot (h_{03} - h_x)}{h_{03}}, \text{ при } r_{x3} = p_2; \\ r_{03} = 0,6 \cdot h_3 \end{cases}$$

Шляхом математичних перетворень отримаємо рівняння відносно шуканої величини h_3 :

$$p_2 = \frac{0,6h_3 \cdot (0,7h_3 - h_x)}{0,7h_3};$$

$$0,42h_3^2 - (0,7p_2 + 0,6h_x)h_3 = 0;$$

$$h_3 = 0; \quad h_3 = 31,96 \text{ м.}$$

Висота блискавковідводів $h_3 = h_4 = 31,96$ м, не задовольняє умові застосування рівнянь при $h \leq 30$ м, тому для розрахунку висоти блискавковідводів застосовуємо наступні рівняння:

$$\begin{cases} h_{03} = [0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h - 30)]h_3; \\ r_{x3} = \frac{r_{03} \cdot (h_{03} - h_x)}{h_{03}}, \text{ при } r_{x3} = p_2; \\ r_{03} = [0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h - 30)]h_3; \end{cases}$$

Шляхом математичних перетворень розв'язуємо цю систему та знаходимо значення висоти 3 блискавковідводу $h_3 = 32,1$ м, що задовольняє умові застосування рівнянь при $30 < h \leq 100$ м.

Остаточно приймаємо блискавковідводи 3 та 4 висотою $h_3 = h_4 = 32,1$ м.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Розраховуємо параметри зони захисту блискавковідводів 1 та 2:

$$L_{12} = L_2 = 26 \text{ м};$$

$$r_{01} = r_{02} = 0,6 \cdot h_1 = 15,91 \text{ м};$$

$$h_{01} = h_{02} = 0,7 \cdot h_1 = 18,56 \text{ м};$$

$$r_{x1} = r_{x2} = \frac{r_{01} \cdot (h_{01} - h_x)}{h_{01}} = 10,77 \text{ м};$$

$$L_{c12} = [2,25 - 0,01007(h_1 - 30)]h_1 = 59,67 \text{ м};$$

$$L_{\max 12} = [4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h_1 - 30)]h_1 = 112,71 \text{ м};$$

$$\begin{cases} h_{c12} = h_{01} = 18,56 \text{ м}, & L_{12} \leq L_{c12} \\ r_{cx12} = \frac{r_{01}(h_{c12} - h_x)}{h_{c12}} = 10,77 \text{ м}, & h_x < h_{c12} \end{cases}$$

5. Розраховуємо параметри зони захисту блискавковідводів 3 та 4:

$$L_{34} = L_3 = 32 \text{ м};$$

$$r_{03} = r_{04} = 0,6 \cdot h_3 = 19,16 \text{ м};$$

$$h_{03} = h_{04} = 0,7 \cdot h_3 = 22,42 \text{ м};$$

$$r_{x3} = r_{x4} = \frac{r_{03} \cdot (h_{03} - h_x)}{h_{03}} = 14,04 \text{ м};$$

$$L_{c34} = 2,25 \cdot h_3 = 71,55 \text{ м};$$

$$L_{\max 34} = 4,25 \cdot h_3 = 136,18 \text{ м};$$

$$\begin{cases} h_{c34} = h_{03} = 22,42 \text{ м}, & L_{34} < L_{c34} \\ r_{cx34} = \frac{r_{03}(h_{c34} - h_x)}{h_{c34}} = 14,04 \text{ м}, & h_x < h_{c34} \end{cases}$$

6. Розраховуємо параметри зони захисту блискавковідводів 1 та 3 (2 та 4):

$$L_{13} = \sqrt{(L_1)^2 + \left(\frac{L_3 - L_2}{2}\right)^2} = 34,13 \text{ м};$$

6.1 Блискавковідводи 1 та 3 мають висоту $h_1 = 26,52 \text{ м}$

$$L_{c13} = 2,25 \cdot h_1 = 59,67 \text{ м};$$

$$L_{\max 13} = 4,25 \cdot h_1 = 112,71 \text{ м};$$

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$h_{c13} = h_{01} = 18.56 \text{ м}, \quad L_{13} \leq L_{c13}$$

6.2 Блискавковідводи 1 та 3 мають висоту $h_3 = 32,1 \text{ м}$

$$L_{c31} = 2,25 \cdot h_3 = 71,55 \text{ м};$$

$$L_{\max 31} = 4,25 \cdot h_3 = 136,18 \text{ м};$$

$$h_{c31} = h_{03} = 22.42 \text{ м}, \quad L_{13} \leq L_{c31}$$

$$\begin{cases} h_{c\min 13} = \frac{h_{c13} + h_{c31}}{2} = 20.49 \text{ м}, \\ r_{c013} = \frac{r_{01} + r_{03}}{2} = 17.54 \text{ м}, \\ r_{cx13} = \frac{r_{c013} (h_{c\min 13} - h_x)}{h_{c\min 13}} = 12.4 \text{ м}. \end{cases}$$

7. Розраховуємо параметри зони захисту блискавковідводів 1 та 4 (2 та 3):

$$L_{14} = \sqrt{(L_1)^2 + \left(L_2 + \frac{L_3 - L_2}{2} \right)^2} = 44.69 \text{ м};$$

7.1 Блискавковідводи 1 та 4 мають висоту $h_1 = 26,52 \text{ м}$

$$L_{c14} = 2,25 \cdot h_1 = 59,67 \text{ м};$$

$$L_{\max 14} = 4,25 \cdot h_1 = 112,71 \text{ м};$$

$$h_{c14} = h_{01} = 18.56 \text{ м}, \quad L_{14} \leq L_{c14}$$

7.2 Блискавковідводи 1 та 4 мають висоту $h_4 = 32,1 \text{ м}$

$$L_{c41} = 2,25 \cdot h_4 = 71,55 \text{ м};$$

$$L_{\max 41} = 4,25 \cdot h_4 = 136,18 \text{ м};$$

$$h_{c41} = h_{04} = 22.42 \text{ м}, \quad L_{14} \leq L_{c41}$$

$$\begin{cases} h_{c\min 14} = \frac{h_{c14} + h_{c41}}{2} = 20.49 \text{ м}, \\ r_{c014} = \frac{r_{01} + r_{04}}{2} = 17.54 \text{ м}, \\ r_{cx14} = \frac{r_{c014} (h_{c\min 14} - h_x)}{h_{c\min 14}} = 12.4 \text{ м}. \end{cases}$$

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		66

Горизонтальний переріз зони захисту показаний на рис. 4.2.

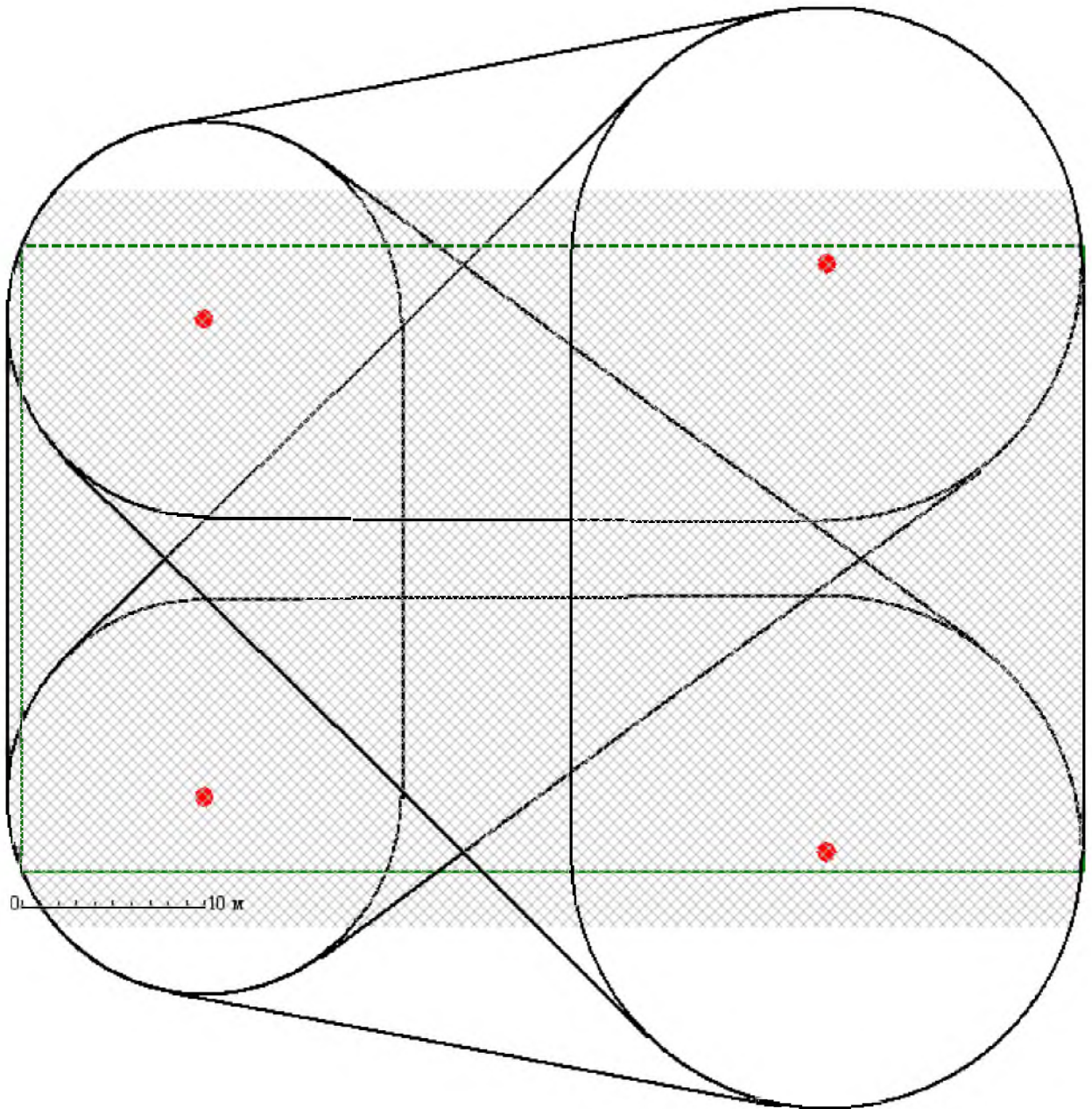


Рисунок 4.2 – Горизонтальний переріз зони захисту блискавковідводів ВРП

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі зроблений розрахунок нормального режиму роботи замкнутої електричної мережі, конфігурація якої була визначена завданням.

Результати розрахунків втрат потужності показали, що найбільш придатною номінальною напругою кільцевої мережі є напруга 110 кВ. З урахуванням цього були обрані відповідні перерізи проводів для ліній електропередач, а також типи трансформаторів на підстанціях.

Для існуючої конфігурації замкнутої мережі були розраховані параметри схеми заміщення ліній і трансформаторів, складена розрахункова схема заміщення мережі й визначені розрахункові навантаження вузлів мережі.

У процесі розрахунків електричної частини підстанції ПС-2 була проведена перевірка правильності вибору номінальної потужності встановлених трансформаторів і здійснений вибір на підставі розрахунків струмів короткого замикання високовольтних апаратів РП, вимірювальних трансформаторів струму й напруги.

При виконанні розрахунків релейного захисту трансформатора підстанції ПС-2 був зроблений розрахунок поздовжнього диференційного струмового захисту та максимального струмового захисту з комбінованим пуском по напрузі.

Для захисту від міжфазних коротких замикань запропонований захист за допомогою реле типу ДЗТ-11, для якого був виконаний вибір уставок і розрахунок параметрів обмоток реле.

Проведений розрахунок блискавкозахисту підстанції, що виконаний у вигляді 4-х стрижневих блискавковідводів.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. И. М. Шапиро, С. С. Рокотяна. – Москва: Энергоатомиздат, 1986.
3. Технические сведения. Силовые трансформаторы / Под ред. И.Л. Лебединского. – Сумы: Изд-во СумДУ, 2005. – 49 с.
4. Электротехнический справочник: В 3-х т. Т. 3. Кн. 1. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. - 6-е изд. – М.: Энергоиздат, 1988. – 656 с.
5. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций. – М.: Энергия, 1980. – 608 с.
6. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „ Розрахунок замкнутої електричної мережі” з курсу „ Електричні системи та мережі” / укладачі: І.Л. Лебединський, С.М. Лебедка, В.І. Романовський, В.В. Волохін. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 40 с.
7. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - 640 с.
8. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
9. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Харків: Видавництво «Форт», 2017. – 792 с.
10. Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.В. Наяшкова и др. Под ред. А.А. Васильева. - 2-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 1990.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. -М.: Энергоатомиздат, 1985.

12. Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению «Электротехника», по курсу «Основы релейной защиты электрических систем». Часть III. Расчет защит трансформаторов и автотрансформаторов. Мариуполь: ПГТУ, 2001.

13. Техника высоких напряжений / Под ред. Г.С. Кучинского. – СПб.: Энергоатомиздат, 2003.

14. Методичні вказівки та завдання до розрахунково-графічних робіт з курсу «Грозазахист і перенапряга у електричних мережах» / укладач М.В. Петровський. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 40 с.

15. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. – Київ: Мінрегіонбуд України. – 2008.

16. 2068 Методичні вказівки до оформлення дипломних робіт: для студ. спец. 7.090603 денної та заочної форм навчання / М.А. Никифоров, І.Л. Лебединський. – Суми: СумДУ, 2008. – 72 с.

					БР 5.6.141.283 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		