

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту
Зав. кафедрою електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський
« ___ » _____ 20 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
тема «Проектування та розробка конфігурації електричної мережі і
схеми підстанції»

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТ-61

Говорун В.В.

Керівник

к.т.н., доцент
Волохін В.В.

Суми – 2020

Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроенергетики

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедрою електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський
« ___ » _____ 20 р.

Завдання

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Говоруна Віктора Володимировича

1. Тема роботи «Проектування та розробка конфігурації електричної мережі і схеми підстанцій»

затверджено наказом по університету № _____ від _____

2. Термін здачі студентом завершеної роботи 5.06.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи координати , потужність і категорія споживачів мережі, добові графіки навантажень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)

- розрахунок електричної мережі;
- розрахунок електричної частини підстанції;
- розрахунок перехідних процесів;
- розрахунок релейного захисту;
- індивідуальне завдання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним позначенням обов'язкових креслень)

- схема мережі;
- електрична схема підстанції.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Найменування етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Розрахунок електричної мережі	25.04.- 30.04.2020	
2	Розрахунок електричної частини підстанції	01.05.- 07.05.2020	
3	Розрахунок перехідних процесів	08.05.- 18.05.2020	
4	Розрахунок релейного захисту	19.05.- 24.05.2020	
5	Індивідуальне завдання	25.05.- 30.05.2020	

Студент -дипломник

Керівник роботи

РЕФЕРАТ

с. 61, рис. 14, табл. 41.

Бібліографічний опис: Говорун В.В. Проектування та розробка конфігурації електричної мережі і схеми підстанцій [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Говорун В.В.; наук. керівник В.В. Волохін. – Суми: СумДУ, 2020. – 61 с.

Ключові слова: електрична мережа, підстанція, силовий трансформатор, схема електричних з'єднань, перехідні процеси, релейний захист;

электрическая сеть, подстанция, силовой трансформатор, схема электрических соединений, переходные процессы, релейная защита;

electrical network, substation, power transformer, electrical circuit of electrical connections, transients, relay protection.

Короткий огляд – В роботі досліджено режими роботи електричної мережі 220 кВ, включно з параметрами схеми заміщення ліній й трансформаторів та навантаженнями вузлів мережі. Проведено вибір потужності силових трансформаторів, схеми електричних з'єднань підстанцій, високовольтних апаратів та ошиновки розподільних пристроїв, електровимірювальних трансформаторів струму й напруги. Розраховано струми короткого замикання та обрано релейний захист. Також в кваліфікаційній роботі розраховано грозозахист, де вибрано зони захисту стрижневих блискавковідкодів.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Розрахунок електричної мережі	7
1.2 Розроблення конфігурацій електричних мереж	8
1.3 Розрахунок струмів та напруг на ділянках без урахування втрат та вибір проводів	9
1.4 Вибір трансформаторів	11
1.6 Розрахунок нормального режиму мережі	13
1.7 Розрахунок втрат напруги.....	19
2. Розрахунок електричної частини підстанції	21
2.1 Перевірка потужності силових трансформаторів	21
2.2 Розрахунок струмів короткого замикання	23
2.3 Вибір високовольтних апаратів	27
2.4 Вибір шин розподільчих пристроїв.....	34
2.5 Вибір електровимірювальних трансформаторів струму та напруги	36
2.6 Вибір трансформаторів власних потреб	41
3. Розрахунок електромагнітних перехідних процесів в електричній мережі	44
4. Розрахунок релейного захисту	47
4.1 Захист від ушкоджень усередині трансформатора	52
5. Розрахунок зон захисту стрижневих блискавковідводів ВРП.....	53
Висновки.....	58
Список літератури	59

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Вступ

Процес проектування електричних мереж та підстанцій. повинно здійснюватися в рамках проектної документації. В такому випадку об'єкти будуть відповідати заявленим вимогам і нести необхідне навантаження. Проектування електричної підстанції складається з ряду послідовних етапів, першим з яких є побудова графіків електричних навантажень та струмів коротких замикань для вибору електричних апаратів.

У процесі виконання роботи необхідно вирішити наступні завдання:

- Визначити питомі параметри ЛЕП і каталожні дані трансформаторів. Виконати розрахунок параметрів схеми заміщення лінії й трансформаторів. Визначити наведені до сторони ВН навантаження трансформаторів (з урахуванням втрат в обмотках трансформаторів);
- Скласти розрахункову схему заміщення мережі й визначити розрахункові навантаження вузлів мережі (з урахуванням втрат у колі намагнічування трансформаторів і реактивної потужності, що генерується лініями);
- Визначити напруги у вузлах мережі, втрати напруги й втрати потужності на ділянках мережі. Перевірити допустимість режиму за рівнями напруг і за нагріванням проводів;
- Виконати розрахунок нормального режиму замкнутої мережі (всі лінії включені в роботу). Визначити напруги у вузлах мережі, втрати напруги й втрати потужності в мережі. Виконати аналіз отриманих результатів;
- Визначити сумарну потужність споживчої підстанції. Вибрати число й потужність силових трансформаторів на підстанції із вказівкою їхніх параметрів;
- За номінальними параметрами (з урахуванням дії струмів КЗ) зробити вибір вимикачів у розподільних пристроях (РП) всіх напруг підстанції. Дати короткий опис обраних вимикачів;
- Виконати розрахунок електромагнітних перехідних процесів та релейного захисту трансформатора.

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1. Розрахунок електричної мережі

П'ять споживачів характеризується великою потужністю, для цієї групи споживачів доставлена електроенергія повинна бути перетворена на напругу 10 кВ. Електроспоживачі I категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох взаємно резервованих джерел живлення; перерва в їх електропостачанні при порушенні електропостачання від одного із джерел живлення може бути припустима лише на час автоматичного відновлення живлення. Електроспоживачі II категорії рекомендовано забезпечувати електроенергією від двох взаємно резервованих джерел живлення; перерва в їх електропостачанні при порушенні електропостачання від одного із джерел живлення може бути припустима на час, необхідний для ввімкнення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади. Для електроспоживачів II категорії дозволяється живлення однією повітряною лінією, якщо забезпечена можливість проведення аварійного ремонту цієї лінії за час не більше однієї доби.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

Параметр	1-й спож.	2-й спож.	3-й спож.	4-й спож.	5-й спож.
<i>X, км</i>	-28	-19	11	31	47
<i>Y, км</i>	15	31	35	18	11
<i>P, МВт</i>	49	74	51	63	55
<i>Cos φ</i>	0,88	0,92	0,95	0,82	0,86
Категорія	I	II	I	II	I

1.2 Розроблення конфігурацій електричних мереж

Визначимо реактивну потужність для кожного з п'яти споживачів за формулою:

$$Q = jPtg(\arccos \varphi)$$

Повна потужність для кожного з споживачів має вигляд:

$$S = P + jQ$$

Провівши нескладні розрахунки були отримані повні потужності, які записані до таблиці 3.1

Таблиця 1.2 – Потужність споживачів

Параметр	1-й спож.	2-й спож.	3-й спож.	4-й спож.	5-й спож.
S	$49+j26,45$	$74+j31,52$	$51+j16,76$	$63+j43,97$	$55+j32,64$

Згідно з ПУЕ будуємо кільцеву мережу, оскільки споживачі $S_1 - S_5$ I або II категорії повинні забезпечуватися двухстороннім живленням.

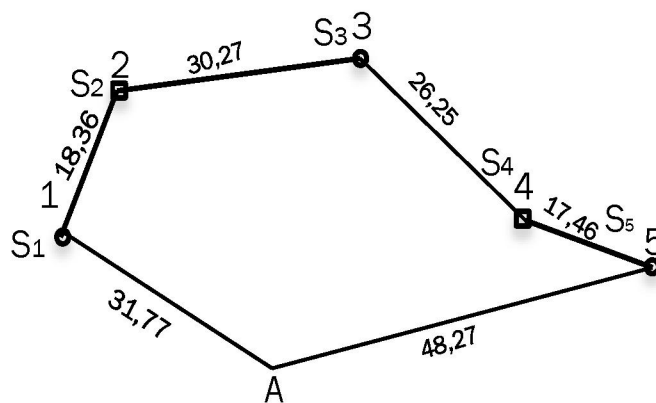


Рис. 1.2 – Схема електричної мережі

1.3 Розрахунок струмів та напруг на ділянках без урахування втрат та вибір проводів

Визначимо довжину ліній згідно плану даної схеми та занесемо до таблиці.

Таблиця 1.3 – Розраховані довжини ліній

Ділянки ліній						
	A-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-A'
$l, \text{ км}$	31,77	18,36	30,27	26,25	17,46	48,27

Розрахуємо кільцеву мережу перетворивши її на мережу з двохстороннім живленням (Рис 1.3)

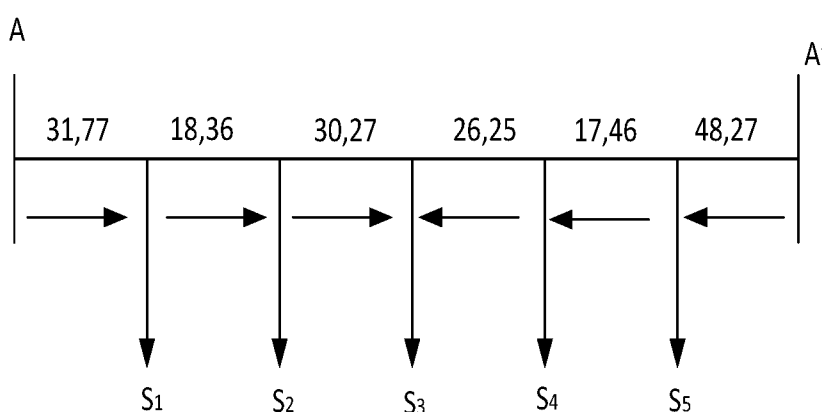


Рис. 1.3 – Мережа з двохстороннім живленням

Визначаємо потужності на лініях кільцевої мережі. Вважаємо, що лінія однорідна

$$S_{A1} = \frac{S_1 \cdot l_{1A'} + S_2 \cdot l_{2A'} + S_3 \cdot l_{3A'} + S_4 \cdot l_{4A'} + S_5 \cdot l_{5A'}}{l_{AA'}} =$$

$$= 159,01 + j78,79 \text{ (МВА)}$$

Де відповідно $l_{AA'}$ - довжина всього замкнутого кільця А-1-2-3-4-5-А'

$$l_{1A'} = l_{12} + l_{23} + l_{34} + l_{45} + l_{5A'} = 18,36 + 30,27 + 26,25 + 17,46 + 48,27 = 140,61 \text{ (км)}$$

$$l_{2A'} = l_{23} + l_{34} + l_{45} + l_{5A'} = 30,27 + 26,25 + 17,46 + 48,27 = 122,25 \text{ (км)}$$

$$l_{3A'} = l_{34} + l_{45} + l_{5A'} = 26,25 + 17,46 + 48,27 = 91,98 \text{ (км)}$$

$$l_{4A'} = l_{45} + l_{5A'} = 17,46 + 48,27 = 65,73 \text{ (км)}$$

$$S_{5A} = \frac{S_5 \cdot l_{5A} + S_4 \cdot l_{4A} + S_3 \cdot l_{3A} + S_2 \cdot l_{2A} + S_1 \cdot l_{1A}}{l_{AA'}} = 132,91 + j72,56 \text{ (МВА)}$$

Складемо баланс потужності

$$S_{A1} + S_{5A} = 159,01 + j78,79 + 132,91 + j72,56 = 292 + j151,34 \text{ (MVA)}$$

$$\begin{aligned} S &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 = \\ &= 49 + j26,45 + 74 + j31,52 + 51 + j16,76 + 63 + j43,97 + 55 \\ &\quad + j32,64 = 292 + j151,34 \text{ (MVA)} \end{aligned}$$

Розрахуємо потужності на ділянках 1-2, 2-3, 3-4, 4-5. Розрахунок ведеться без втрат потужності.

$$S_{12} = S_{A1} - S_1 = 159,01 + j78,79 - (49 + j26,45) = 110,01 + j52,34 \text{ (MVA)}$$

$$S_{23} = S_{12} - S_2 = 110,01 + j52,34 - (74 + j31,52) = 36,01 + j20,81 \text{ (MVA)}$$

$$S_{34} = S_{23} - S_3 = 36,01 + j20,81 - (51 + j16,76) = -14,91 + j4,05 \text{ (MVA)}$$

$$S_{45} = S_{34} - S_4 = -14,91 + j4,05 - (63 + j43,97) = -77,91 - j39,92 \text{ (MVA)}$$

Розраховуємо напруги за довжинами ліній та потужністю, що йде по лінії за формулою Ілларіонова:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}}$$

Для прикладу проведемо розрахунок на ділянці А-1

$$U_{A1} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L_{A1}} + \frac{2500}{P_{A1}}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{31,77} + \frac{2500}{159,01}}} = 178,3 \text{ (кВ)}$$

Для мережі обрана номінальна напруга 220 кВ. В кільці повинна бути напруга одного номінального значення.

Також визначаємо струм в лініях за формулою:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

$$I_{A1} = \frac{S_{A1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{159,01^2 + 78,79^2}}{\sqrt{3} \cdot 220} = 465,91 \text{ (A)}$$

Аналогічно пораховано для кожної ділянки. Результати розрахунку показані в таблиці 1.4

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Таблиця 1.4 – Вибір перерізу проводів

Ділянка	S, МВА	U, кВ	U _н , кВ	I, А	Марка проводу	Допустимий струм проводу, А
А-1	159,01+j78,79	178,3	220	465,91	АС240/32	605
1-2	110,01+j52,34	141,5	220	319,91	АС240/32	605
2-3	36,01+j20,81	107,97	220	109,35	АС240/32	605
3-4	-14,91+j4,05	74,349	220	40,53	АС240/32	605
4-5	-77,91-j39,92	132,24	220	229,73	АС240/32	605
5-А'	132,91+j72,56	185,16	220	397,38	АС240/32	605

1.4 Вибір трансформаторів

Визначаємо потужність кожного із трансформаторів. При цьому на однотрансформаторній підстанції потужність трансформатора S_T повинна бути не менше потужності споживачів S_M , що постачається від нього $S_T \geq S_M$. А коефіцієнт навантаження трансформатора повинен бути порядку 0,9 ($k_3 = S_M / S_{н.т}$). Потужність трансформаторів на двухтрансформаторній підстанції повинна забезпечити навантаження споживачів у випадку аварії одного з них. Тому потужність кожного трансформатора вибирається з обліком його перевантажувальної здатності за умовою $S_T \geq S_M / 1,4$. У результаті коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі становить 0,65 – 0,75 ($k_3 = S_M / 2S_{н.т}$). Для споживачів I та II категорії необхідно встановити по 2 трансформатори на підстанцію.

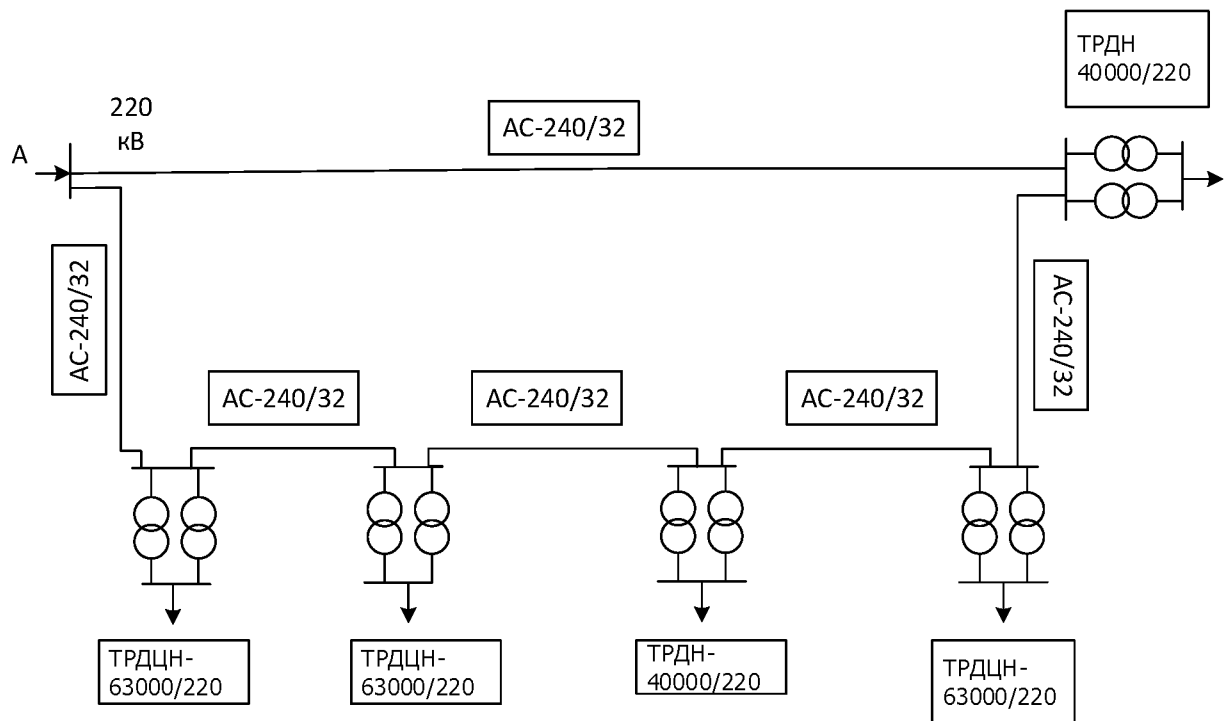


Рис 1.4 – Розташування підстанцій

Таблиця 1.5. Результати вибору трансформаторів

Номер підстанції	S_m Підстанції МВА	Категорія споживача	Кількість трансформаторів	S_T Розрахункова МВА	Марка трансформатора	Коефіцієнт на- вантаження k_n
1	79,54	I	2	39,77	ТРДН- 40000/220	0,69
2	114,9	I	2	57,45	ТРДЦН- 63000/220	0,64
3	76,68	II	2	38,34	ТРДН- 40000/220	0,67
4	109,76	II	2	54,88	ТРДЦН- 63000/220	0,61
5	91,36	I	2	45,68	ТРДЦН- 63000/220	0,51

Значення коефіцієнта навантаження менше 0,65 дозволить в майбутньому розширяти мережу та підключати нових споживачів.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблиця 1.6. Параметри вибраних трансформаторів

Тип	S _{НОМ} , МВА	Межі регулювання	Каталожні дані						Розрахункові дані		
			U _{НОМ} обмоток, кВ		U _к , %	ΔP _к , кВт	ΔP _х , кВт	I _х , %	R _т , Ом	X _т , Ом	ΔQ _х , кВАр
			ВН	НН							
ТРДН-40000/220	40	±8*1,5	230	11/11 6,6/6,6	12	170	50	0,9	5,6	158,7	360
ТРДЦН-63000/220	63	±8*1,5	230	11/11 6,6/6,6	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504

1.6 Розрахунок нормального режиму мережі

Розрахунок проведемо на основі схеми заміщення, що зображена на рис 1.3.

Проведемо розрахунок активного, реактивного опору ліній та зарядної потужності.

Активний опір лінії, Ом:

$$R_{л} = r_0 \cdot l$$

де l - довжина лінії (км), r_0 - питомий опір (Ом/км).

Реактивний опір лінії, Ом:

$$X_{л} = x_0 \cdot l$$

де l - довжина лінії (км), x_0 - питомий реактивний опір (Ом/км).

Реактивна провідність лінії, См:

$$B_{л} = b_0 \cdot l$$

де l - довжина лінії (км), b_0 - питома ємнісна провідність (См/км).

Зарядна потужність лінії:

$$Q_{л} = B_{л} \cdot U^2 \quad (\text{МВАр})$$

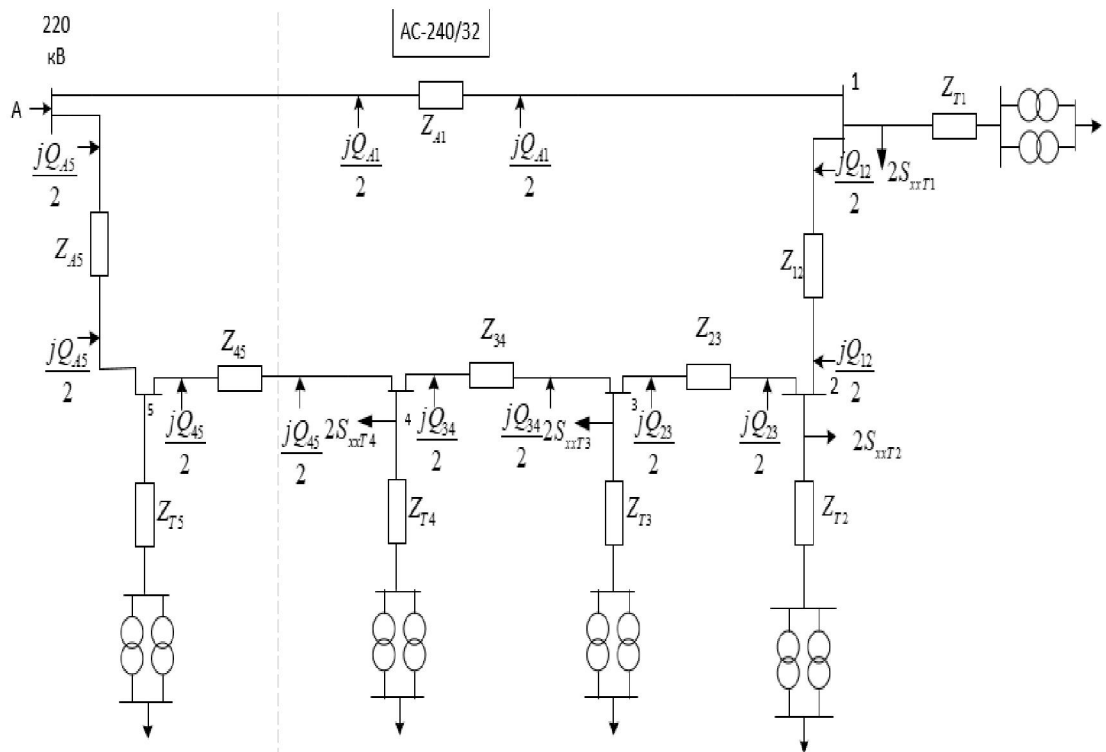


Рис. 1.5 – Схема заміщення мережі

Таблиця 1.7 – Каталогні дані проводів

Ділянки мережі	Марка провoda	Довжина ділянки, км	220 кВ (А-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-А)				
			Каталожні дані			Розраховані дані	
			r_0 Ом/км	x_0 Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-6}$ См/км	Z_L Ом	Q_L МВАр
А-1	АС-240/32	31,77	0,121	0,435	2,6	$3,84 + j13,8$ 2	3,99
1-2	АС-240/32	18,36				$2,22 + j7,99$	2,31
2-3	АС-240/32	30,27				$3,66 + j13,1$ 7	3,81
3-4	АС-240/32	26,25				$3,18 + j11,4$ 2	3,3
4-5	АС-240/32	17,46				$2,11 + j7,6$	2,19
5-А	АС-240/32	48,27				$5,84 + j20,9$ 9	6,07

Розрахунок втрат потужності виконується з кінця лінії, також враховані втрати холостого ходу в трансформаторах. При розрахунках на підстанціях з двома трансформаторами втрати холостого ходу збільшуються вдвічі, а опір обмоток зменшується вдвічі.

$$\Delta S = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot Z$$

де: P - активна потужність на ділянці, МВА;

Q - реактивна потужність на ділянці, МВАр;

Z - опір ділянки, Ом.

Проводимо розрахунок втрат потужності на підстанціях ТП₁-ТП₅. Знаходимо точку потякорозподілу за уточненими даними. Потім розриваємо колову мережу в точці потякорозподілу та проводимо розрахунок втрат потужності.

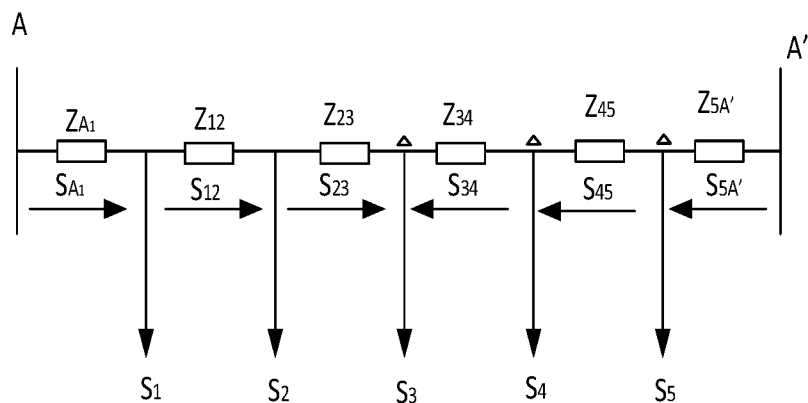


Рис. – 1.6 Схема заміщення колової мережі А-1-2-3-4-5-А' представлена у вигляді розімкнутої

Приймаємо, що потужність на кінці ділянки 3-4 дорівнює

$$S_{34}^k = S_{34} = 14,91 + j4,05 \text{ (МВА)}$$

Знаходимо втрати на ділянці 3-4

$$\begin{aligned} \Delta S_{34} &= \frac{S_{34}^2}{U^2} \cdot (R_{34} + jX_{34}) = \frac{(14,91 + j4,05)^2}{220^2} \cdot (3,18 + j11,42) \\ &= 0,016 + j0,056 \text{ (МВА)} \end{aligned}$$

Потужність на початку ділянки 3-4 дорівнює:

$$\begin{aligned} S_{34}^n &= S_{34} + \Delta S_{34} - j \frac{Q_{L34}}{2} = 14,91 + j4,05 + 0,016 + j0,056 - j1,65 \\ &= 14,92 + j2,456 \text{ (МВА)} \end{aligned}$$

Аналогічно розраховуємо втрати потужності на кожній ділянці та трансформаторі.

$$\Delta S_{T4} = \frac{S_4^2}{U_T^2} \cdot (R_{T4} + jX_{T4}) = \frac{(63 + j43,97)^2}{230^2} \cdot (3,9 + j100,7)$$

$$= 0,435 + j11,236 \text{ (MBA)}$$

$$S_4^{\Pi} = S_4 + \Delta S_{T4} + 2 \cdot S_{xx4}$$

$$= 63 + j43,97 + 0,435 + j11,236 + 2 \cdot (0,082 + j0,504)$$

$$= 63,599 + j56,219 \text{ (MBA)}$$

Потужність на кінці ділянки 4-5 дорівнює

$$S_{45}^k = S_4^{\Pi} + S_{34}^{\Pi} = 14,92 + j2,456 + 63,599 + j56,219 = 78,52 + j58,67 \text{ (MBA)}$$

Знаходимо втрати на ділянці 4-5

$$\Delta S_{45} = \frac{S_{45}^2}{U^2} \cdot (R_{45} + jX_{45}) = \frac{(78,52 + j58,67)^2}{220^2} \cdot (2,11 + j7,6)$$

$$= 0,419 + j1,508 \text{ (MBA)}$$

Потужність на початку ділянки 3-4 дорівнює:

$$S_{45}^{\Pi} = S_{45}^k + \Delta S_{45} - j \frac{Q_{L45}}{2} = 78,52 + j58,67 + 0,419 + j1,508 - j1,095$$

$$= 78,939 + j59,084 \text{ (MBA)}$$

$$\Delta S_{T5} = \frac{S_5^2}{U_T^2} \cdot (R_{T5} + jX_{T5}) = \frac{(55 + j32,635)^2}{230^2} \cdot (3,9 + j100,7)$$

$$= 0,302 + j7,786 \text{ (MBA)}$$

$$S_5^{\Pi} = S_5 + \Delta S_{T5} + 2 \cdot S_{xx5}$$

$$= 55 + j32,635 + 0,302 + j7,786 + 2 \cdot (0,082 + j0,504)$$

$$= 55,466 + j41,429 \text{ (MBA)}$$

Потужність на кінці ділянки 5-A' дорівнює

$$S_{5A'}^k = S_{45}^{\Pi} + S_5^{\Pi} = 78,939 + j59,084 + 55,466 + j41,429$$

$$= 134,405 + j100,512 \text{ (MBA)}$$

Знаходимо втрати на ділянці 4-5

$$\Delta S_{5A'} = \frac{S_{5A'}^2}{U^2} \cdot (R_{5A'} + jX_{5A'}) = \frac{(134,405 + j100,512)^2}{220^2} \cdot (5,84 + j20,99)$$

$$= 3,399 + j12,22 \text{ (MBA)}$$

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Потужність на початку ділянки 3-4 дорівнює:

$$\begin{aligned} S_{5A'}^{\Pi} &= S_{5A'}^k + \Delta S_{5A'} - j \frac{Q_{L5A'}}{2} \\ &= 134,405 + j100,512 + 3,399 + j12,22 - j3,035 \\ &= 137,804 + j109,695 \text{ (МВА)} \end{aligned}$$

Приймаємо, що потужність на кінці ділянки 2-3 дорівнює

$$S_{23}^k = S_{23} = 36,095 + j20,814 \text{ (МВА)}$$

Знаходимо втрати на ділянці 3-4

$$\begin{aligned} \Delta S_{23} &= \frac{S_{23}^2}{U^2} \cdot (R_{23} + jX_{23}) = \frac{(36,095 + j20,814)^2}{220^2} \cdot (3,66 + j13,17) \\ &= 0,131 + j0,472 \text{ (МВА)} \end{aligned}$$

Потужність на початку ділянки 3-4 дорівнює:

$$\begin{aligned} S_{23}^{\Pi} &= S_{23} + \Delta S_{23} - j \frac{Q_{L23}}{2} = 36,095 + j20,814 + 0,131 + j0,472 - j1,905 \\ &= 36,226 + j19,382 \text{ (МВА)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{T2} &= \frac{S_2^2}{U_T^2} \cdot (R_{T2} + jX_{T2}) = \frac{(74 + j31,524)^2}{230^2} \cdot (3,9 + j100,7) \\ &= 0,477 + j12,316 \text{ (МВА)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_2^{\Pi} &= S_2 + \Delta S_{T2} + 2 \cdot S_{xx2} \\ &= 74 + j31,524 + 0,477 + j12,316 + 2 \cdot (0,082 + j0,504) \\ &= 74,641 + j44,848 \text{ (МВА)} \end{aligned}$$

Потужність на кінці ділянки 1-2 дорівнює

$$\begin{aligned} S_{12}^k &= S_2^{\Pi} + S_{23}^{\Pi} = 74,641 + j44,848 + 36,226 + j19,382 \\ &= 110,867 + j64,229 \text{ (МВА)} \end{aligned}$$

Знаходимо втрати на ділянці 1-2

$$\begin{aligned} \Delta S_{12} &= \frac{S_{12}^2}{U^2} \cdot (R_{12} + jX_{12}) = \frac{(110,867 + j64,229)^2}{220^2} \cdot (2,22 + j7,89) \\ &= 0,753 + j2,709 \text{ (МВА)} \end{aligned}$$

Потужність на початку ділянки 1-2 дорівнює:

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

$$S_{12}^n = S_{12}^k + \Delta S_{12} - j \frac{Q_{L12}}{2} = 110,867 + j64,229 + 0,753 + j2,709 - j1,165$$

$$= 111,621 + j65,783 \text{ (MBA)}$$

$$\Delta S_{T1} = \frac{S_1^2}{U_T^2} \cdot (R_{T1} + jX_{T1}) = \frac{(49 + j26,447)^2}{230^2} \cdot (5,6 + j158,7)$$

$$= 0,328 + j9,301 \text{ (MBA)}$$

$$S_1^n = S_1 + \Delta S_{T1} + 2 \cdot S_{xx1}$$

$$= 49 + j26,447 + 0,328 + j9,301 + 2 \cdot (0,05 + j0,36)$$

$$= 49,428 + j36,469 \text{ (MBA)}$$

Потужність на кінці ділянки 1-А дорівнює

$$S_{1A}^k = S_{12}^n + S_1^n = 111,621 + j65,783 + 49,428 + j36,469$$

$$= 161,049 + j102,252 \text{ (MBA)}$$

Знаходимо втрати на ділянці 1-А

$$\Delta S_{1A} = \frac{S_{1A}^2}{U^2} \cdot (R_{1A} + jX_{1A}) = \frac{(161,049 + j102,252)^2}{220^2} \cdot (3,84 + j13,82)$$

$$= 2,89 + j10,39 \text{ (MBA)}$$

Потужність на початку ділянки 1-А дорівнює:

$$S_{1A}^n = S_{1A}^k + \Delta S_{1A} - j \frac{Q_{1A}}{2} = 161,049 + j102,252 + 2,89 + j10,39 - j2,995$$

$$= 163,939 + j110,643 \text{ (MBA)}$$

Загальна потужність дорівнює:

$$S_A = S_{1A}^n + S_{5A'}^n = 163,939 + j110,643 + 137,804 + j109,695$$

$$= 301,743 + j220,338 \text{ (MBA)}$$

Розраховані дані занесемо до таблиці 1.8

Таблиця 1.8. Результати розрахунку потужностей

Ділянка	S кінцева, MBA*	ΔS , MBA*	S початкова, MBA*
A-1	161,049+j102,252	2,89+j10,39	163,939+j110,643
1-2	110,867+j64,229	0,753+j2,709	111,621+j65,783
2-3	36,095+j20,814	0,131+j0,472	36,226+j19,382
3-4	14,905+j4,051	0,016+j0,056	14,921+j2,456

Таблиця 1.8 – Продовження

4-5	78,52+j58,674	0,419+j1,508	78,939+j59,084
5-A	134,305+j100,512	3,399+j12,22	137,804+j109,695
1-1'	49+j26,447	0,328+j9,301	49,428+j36,469
2-2'	74+j31,524	0,477+j12,316	74,461+j44,848
3-3'	51+j16,763	0,305+j8,646	51,405+j26,129
4-4'	63+j43,974	0,435+j11,236	63,599+j56,219
5-5'	55+j32,635	0,302+j7,786	55,466+j41,429
A	301,743+j220,338		

1.7 Розрахунок втрат напруги

Розрахунок падіння напруги виконуємо із джерела живлення , при цьому напруга у споживача не повинна відрізнятись більш ніж на 5% від номінальної, у відповідності з правилами.

Напругу джерела живлення приймаємо $U_A = 242$ (кВ)

Розрахунок проводимо за формулою:

$$U' = \sqrt{(U - \Delta U)^2 + \delta U^2} \text{ (кВ)}$$

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U} \text{ (кВ)}$$

$$\delta U = \frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U} \text{ (кВ)}$$

де: P - активна потужність на початку ділянки, МВА;

Q - реактивна потужність на початку ділянки, МВАр;

R - активний опір, Ом;

X - реактивний опір, Ом.

$$U_{A1} = \sqrt{\left(242 - \frac{161,939 \cdot 3,84 + 110,643 \cdot 13,82}{242}\right)^2 + \left(\frac{161,939 \cdot 13,82 - 110,643 \cdot 3,84}{242}\right)^2} = 233,203 \text{ (кВ)}$$

$$U_{12} = \sqrt{\left(233,203 - \frac{111,621 \cdot 2,22 + 65,783 \cdot 7,99}{233,203}\right)^2 + \left(\frac{111,621 \cdot 7,99 - 65,783 \cdot 2,22}{233,203}\right)^2} = 229,909 \text{ (кВ)}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$U_{23} = \sqrt{\left(229,909 - \frac{36,226 \cdot 3,66 + 19,382 \cdot 13,17}{229,909}\right)^2 + \left(\frac{36,226 \cdot 13,17 + 19,382 \cdot 13,66}{229,909}\right)^2} = 228,229 \text{ (кВ)}$$

$$U_{34} = \sqrt{\left(228,229 - \frac{14,921 \cdot 3,18 + 2,456 \cdot 11,42}{228,229}\right)^2 + \left(\frac{14,921 \cdot 11,42 + 2,456 \cdot 3,18}{228,229}\right)^2} = 227,9 \text{ (кВ)}$$

$$U_{45} = \sqrt{\left(227,9 - \frac{78,939 \cdot 2,11 + 59,084 \cdot 7,6}{227,9}\right)^2 + \left(\frac{59,084 \cdot 7,6 + 78,939 \cdot 2,11}{227,9}\right)^2} = 225,208 \text{ (кВ)}$$

$$U_{5A} = \sqrt{\left(225,208 - \frac{137,804 \cdot 5,84 + 109,695 \cdot 20,99}{225,208}\right)^2 + \left(\frac{137,804 \cdot 20,99 + 109,695 \cdot 5,84}{225,208}\right)^2} = 211,643 \text{ (кВ)}$$

Таблиця 1.9 Результати розрахунку напруг

Ділянка	Модуль напруги, кВ	Номінальна напруга кВ	Відхилення напруги %
A	242	242	0
A-1	230,203	220	4,43
1-2	229,909	220	4,3
2-3	228,229	220	3,6
3-4	227,9	220	3,46
4-5	225,208	220	2,32
5-A	211,643	220	3,94

В нашому випадку використовувати відгалудження РПН та установки для компенсації реактивної потужності не потрібно, оскільки відхилення напруги не перевищує 5%.

2. Розрахунок електричної частини підстанції

2.1 Перевірка потужності силових трансформаторів

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

$S_{\text{ном.наб}}, \text{MBA}$	$X_{\text{Л1}}, \text{Ом}$	$X_{\text{Л2}}, \text{Ом}$	$S_{\text{кз.с}}, \text{MBA}$	$t, \text{°C}$
55,68	61,17	13,82	2300	-10

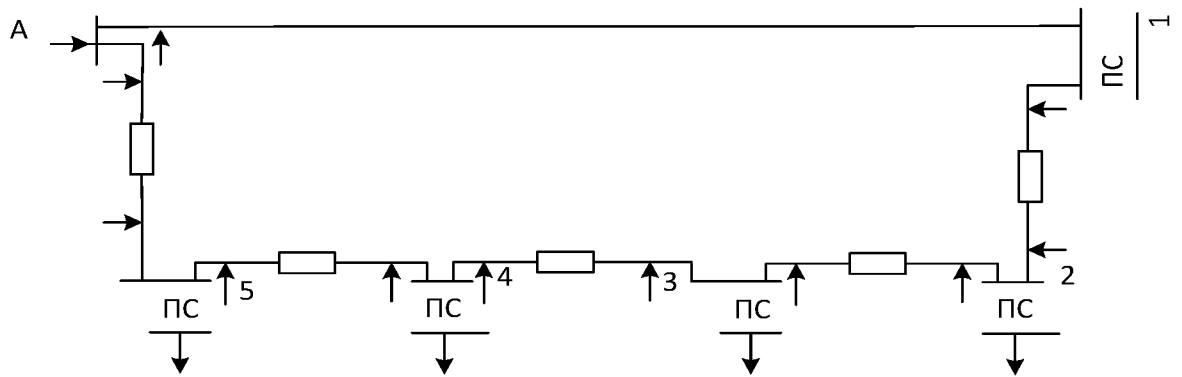


Рис 2.1 – Розміщення підстанцій

Таблиця 2.2 – Графік навантаження

Го-дин и	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$S_{\text{наб}}, \%$	45	55	60	90	90	80	80	100	90	110	120	100
$S_{\text{наб}}, \text{MBA}$	25,06	30,62	33,41	50,11	50,11	44,54	44,54	55,68	50,11	61,25	66,82	55,68

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

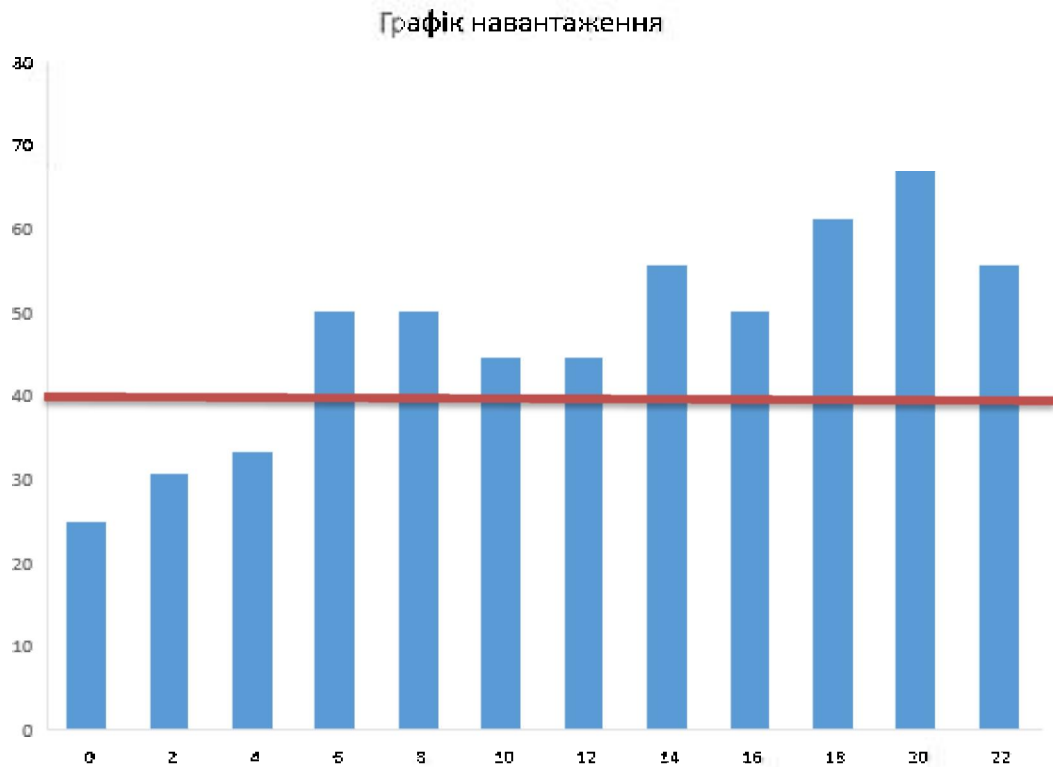


Рис 2.2 – Графік навантаження підстанції

Для підстанції за умовою $S_{\text{ТР}} \geq \frac{S_{\text{НАВ}}}{1,4}$ було обрано два трансформатора типу ТРДН 40000/220 оскільки споживач I-ої категорії.

Для перевірки правильності вибору трансформатора для ПС-1 реальний графік навантаження перетворимо в двоступінчастий. Початкове навантаження еквівалентного графіка:

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

$$= \frac{1}{40}$$

$$\cdot \sqrt{\frac{25,06^2 \cdot 2 + 30,62^2 \cdot 2 + 33,41^2 \cdot 2 + 50,11^2 \cdot 4 + 44,54^2 \cdot 4 + 55,68^2 \cdot 4}{2 + 2 + 2 + 4 + 4 + 4}}$$

$$= 1,263$$

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, годин.

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

$$K'_2 = \frac{1}{40} \cdot \sqrt{\frac{61,25^2 \cdot 2 + 66,82^2 \cdot 2}{2 + 2}} = 1,602$$

Максимальне перевантаження трансформатора складає:

$$K_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{S_{НОМ.ТР}} = \frac{66,82}{40} = 1,67$$

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

Оскільки $K'_2 > 0,9K_{MAX} = 0,9 \cdot 1,67 = 1,51$ то остаточно беремо $K'_2 = 1,602$

За ГОСТом 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду і часу перевантаження 4 години, знаходимо значення перевантаження допустиме $K_{2ГОСТ}$. Порівнюємо значення $K_2 = 1,602$ і

$K_{2ГОСТ} = 1,742$. Значення $K_{2ГОСТ}$ більше, ніж K_2 , значить трансформатор обраний правильно.

2.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору устаткування на стороні 220 кВ і 10 кВ. Підстанція живлення за двома тупиковими лініями: схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис 5.1.

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованій системі одиниць. Потужність короткого замикання на шинах 220 кВ центра живлення складає $S_C = 2300$ МВА, $X_T = 158,7$ Ом

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

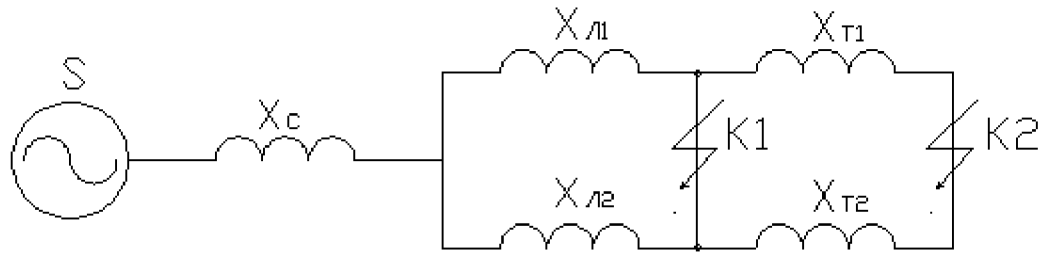


Рис 2.3 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Опір системи дорівнює, Ом:

$$X_c = \frac{U_B^2}{S_c} = \frac{220^2}{2300} = 21,04$$

Опір лінії дорівнює, Ом:

$$X_l = \frac{X_{Л1} \cdot X_{Л2}}{X_{Л1} + X_{Л2}} = \frac{61,17 \cdot 13,82}{61,17 + 13,82} = 11,27$$

Періодична складова струму короткого замикання у точці К₁, кА:

$$I_{K1} = \frac{U_l}{\sqrt{3} \cdot (X_c + X_l)} = \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (21,04 + 11,27)} = 3,931 \cdot 10^3$$

Періодична складова струму короткого замикання у точці К₂ приведена до напруги високої сторони, кА:

$$I_{K2}^B = \frac{U_l}{\sqrt{3} \cdot (X_c + X_l + \frac{X_T}{2})} = \frac{220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (21,04 + 11,27 + \frac{158,7}{2})} = 1,138 \cdot 10^3$$

Реальний струм у точці К₂, кА:

$$I_{K2} = I_{K2}^B \cdot \frac{U_B}{U_H} = 1138 \cdot \frac{220}{10} = 25,025 \cdot 10^3$$

Знаходимо ударний струм, кА:

$$\text{У точці К}_1: I_y = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot 3,931 = 8,951$$

$$\text{У точці К}_2: I_y = \sqrt{2} \cdot 1,834 \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,834 \cdot 25,025 = 64,907$$

Аперіодична складова струму короткого замикання до моменту розбіжності контактів вимикача, кА:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot e^{\frac{-t}{T_a}}$$

Де T_a – постійна часу загасання аперіодичної складової

Для $K_1 = T_a = 0,025 \text{ с}, t = 0,06 \text{ с}$.

$K_2 = T_a = 0,05 \text{ с}, t = 0,1 \text{ с}$. (Для трансформатора 63 МВА $T_a = 0,24$)

Аперіодична складова струму короткого замикання до моменту розбіжності контактів вимикача для точки K_1 , кА:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{k1} \cdot e^{\frac{-t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 3,931 \cdot e^{\frac{-0,06}{0,025}} = 0,50435$$

Для точки K_2 , кА:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{k2} \cdot e^{\frac{-t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 25,025 \cdot e^{\frac{-0,1}{0,05}} = 4,78$$

Інтеграл Джоуля-Ленца для точки K_1 , $\text{кА}^2\text{с}$:

$$Q_1 = I_{k1}^2 \cdot (t + T_a) = 3,931^2 \cdot (0,06 + 0,025) = 1,314$$

Для точки K_2 , $\text{кА}^2\text{с}$:

$$Q_2 = I_{k2}^2 \cdot (t + T_a) = 25,026^2 \cdot (0,1 + 0,05) = 93,94$$

Таблиця 2.3 – Значення струмів короткого замикання для ПС-1

Струми короткого замикання	СКЗ у початковий момент часу, кА	Ударний СКЗ i_y , кА	СКЗ у момент розмикання контактів вимикача, кА	Аперіодична складова СКЗ i_a , кА	Інтеграл Джоуля B_k , $\text{кА}^2\text{с}$
Шини 220 кВ (K_1)	3,931	8,951	3,931	0,504	1,314
Шини 10 кВ (K_2)	25,025	64,907	25,025	4,78	93,94

Розрахунок проведений для підстанції №1 (ПС-1), аналогічно знайдемо струми короткого замикання для кожної підстанції. Для спрощення розуміння дані одразу напишемо в таблиці.

Таблиця 2.4 – Значення струмів короткого замикання для ПС-3

Струми короткого замикання	СКЗ у початковий момент часу, кА	Ударний СКЗ i_y , кА	СКЗ у момент розмикання контактів вимикача, кА	Аперіодична складова СКЗ i_a , кА	Інтеграл Джоуля B_K , $кА^2с$
Шини 220 кВ (K_1)	3,199	7,284	3,199	0,41	0,869
Шини 10 кВ (K_2)	23,472	60,878	23,472	4,492	82,64

Таблиця 2.5 – Значення струмів короткого замикання для ПС-2

Струми короткого замикання	СКЗ у початковий момент часу, кА	Ударний СКЗ i_y , кА	СКЗ у момент розмикання контактів вимикача, кА	Аперіодична складова СКЗ i_a , кА	Інтеграл Джоуля B_K , $кА^2с$
Шини 220 кВ (K_1)	3,479	7,922	3,479	0,446	1,029
Шини 10 кВ (K_2)	32,172	83,444	32,172	29,994	351,92

Таблиця 2.6 – Значення струмів короткого замикання для ПС-4

Струми короткого замикання	СКЗ у початковий момент часу, кА	Ударний СКЗ i_y , кА	СКЗ у момент розмикання контактів вимикача, кА	Аперіодична складова СКЗ i_a , кА	Інтеграл Джоуля B_K , $кА^2с$
Шини 220 кВ (K_1)	3,279	7,467	3,279	0,421	0,914

Таблиця 2.6 - Продовдження

Шини 10 кВ (K_2)	31,369	81,361	31,369	29,246	334,57
----------------------------	--------	--------	--------	--------	--------

Таблиця 2.7 – Значення струмів короткого замикання для ПС-5

Струми короткого замикання	СКЗ у початковий момент часу, кА	Ударний СКЗ i_y , кА	СКЗ у момент розмикання контактів вимикача, кА	Аперіодична складова СКЗ i_a , кА	Інтеграл Джоуля B_K , $кА^2с$
Шини 220 кВ (K_1)	3,513	7,999	3,513	0,451	1,049
Шини 10 кВ (K_2)	32,303	83,784	32,303	30,116	354,79

2.3 Вибір високовольтних апаратів

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

- Вибір за напругою;
- Вибір за нагріванням при довготривалих струмах;
- Перевірка на електродинамічну стійкість;
- Перевірка на термічну стійкість.

В схемі двотрансформаторної підстанції необхідно вибрати:

- Вимикачі на високій напрузі (220 кВ);
- Ввідні та секційні вимикачі на низькій напрузі (10 кВ);
- Вимикачі ліній, що відходять від підстанції (10 кВ);
- Роз'єднувачі високої напруги (220 кВ).

- Трансформатори струму й напруги на високій та низькій сторонах (220 кВ та 10 кВ);
- Ошиновка розподільних пристроїв на високій та низькій сторонах (220 кВ та 10 кВ);

Проводимо вибір для ПС – 1 дані яких знаходяться в таблиці 2.3

➤ Тип трансформатора ТРДН-40000/220.

Визначимо максимальний струм на високій напрузі:

$$I_{max}^{BH} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{1,4 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 146,96 \text{ (A)}$$

Струм у колі ввідних вимикачів на низькій напрузі:

$$I_{max}^{HH} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{1,4 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3233,2 \text{ (A)}$$

Струм у колі секційного вимикача:

$$I_{max}^{CB} = \frac{0,7 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{0,7 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1616,58 \text{ (A)}$$

Струм у колі , що відходить до підстанції

$$I_{max}^{LB} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH} \cdot n} = \frac{1,4 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 5} = 646,63 \text{ (A)}$$

Де n – кількість ліній, що відходить від підстанцій. Наприклад, якщо від підстанції відходить 5 ліній.

Таблиця 2.8 – Вибір вимикачів на напрузі 220 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	220 (кВ)	220 (кВ)
$I_{роз} \leq I_{ном}$	146,96 (А)	2000 (А)
$I_{по} \leq I_{прСКВ}$	3,931 (кА)	31,5 (кА)
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	8,951 (кА)	102 (кА)
$I_{n\tau} \leq I_{отк.ном}$	3,931 (кА)	40 (кА)
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	0,504 (кА)	-
$B_k \leq I_T^2 t_T$	1,314 (кА ² с)	4800 (кА ² с)

Для ПС-1 на напрузі 220 кВ обрано вимикач типу **ВВБ-220Б-31,5/2000 У1**.

Повітряні вимикачі серії ВВБ призначені для зовнішньої установки в електричних мережах змінного струму 50 Гц з великим струмом замикання на землю. Вимикачі серії ВВБ для всіх напруг аналогічні за своєю конструкцією. Основним елементом вимикачів є модуль, встановлений на опорну ізолюючу колонку. Залежно від значення робочої напруги на вимикачах встановлюється відповідна кількість модулів, включених послідовно. На одній колонці зазвичай розташовується не більше двох модулів, механічно і електрично пов'язаних між собою.

Таблиця 2.9 – Вибір вимикачів на напрузі 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 (кВ)	10 (кВ)
$I_{роз} \leq I_{ном}$	3233,2 (А)	4000 (А)
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	25,025 (кА)	45 (кА)
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	64,907 (кА)	120 (кА)
$I_{нт} \leq I_{отк.ном}$	25,025 (кА)	45 (кА)
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	4,78 (кА)	-
$B_k \leq I_T^2 t_T$	93,94 (кА ² с)	8100 (кА ² с)

На напрузі 10 Кв обрано вимикач типу **МГГ-10-4000-45У3**.

Вимикач МГГ-10 (масляний горшковий генераторний, на напругу 10 кВ) відноситься до вимикачів з малим об'ємом масла і використовується в установках з великими струмами (2000 і 3000 А), а також для комплектування камер типу КРУ.

Оскільки вимикач розрахований на великі струми, його відключення супроводжується сильною електричною дугою, яка може пошкодити контакти і

погасити яку значно важче, ніж у вимикачі ВВБ. Тому в вимикачах МГГ використана система контактів, що полегшує гасіння дуги і оберігає від пошкодження контактні поверхні.

Таблиця 2.10 – Вибір секційного вимикача на напрузі 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 (кВ)	10 (кВ)
$I_{роз} \leq I_{ном}$	1616,58(А)	2000 (А)
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	25,025 (кА)	31,5 (кА)
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	64,907 (кА)	80 (кА)
$I_{нт} \leq I_{отк.ном}$	25,025 (кА)	31,5 (кА)
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	4,78 (кА)	-
$B_k \leq I_T^2 t_{Г}$	93,94 (кА ² с)	2976 (кА ² с)

Секційний вимикач обрано типу **ВВЕ-10-31,5-2000-УЗ**.

Вакуумний вимикач ВВЕ-10 з електромагнітним приводом розрахований для експлуатації в шафах КРУ. Принцип роботи вимикача заснований на гасінні електричної дуги, що виникає при розмиканні контактів в вакуумі. Висока електрична міцність вакуумного проміжку забезпечує надійне гасіння дуги.

Таблиця 2.11. – Вибір лінійного вимикача на напрузі 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 (кВ)	10 (кВ)
$I_{роз} \leq I_{ном}$	646,63 (А)	1000 (А)
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	25,025 (кА)	31,5 (кА)
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	64,907 (кА)	80 (кА)
$I_{нт} \leq I_{отк.ном}$	25,025 (кА)	31,5 (кА)
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	4,78 (кА)	-
$B_k \leq I_T^2 t_{Г}$	93,94 (кА ² с)	2976 (кА ² с)

Лінійний вимикач обрано типу **ВВЕ-10-31,5-2000-У3**.

Таблиця 2.12. – Вибір роз'єднувачів на напрузі 220 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	220 (кВ)	220 (кВ)
$I_{роз} \leq I_{ном}$	146,92 (А)	1000 (А)
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	8,951 (кА)	100 (кА)
$B_k \leq I_T^2 t_T$	1,314 (кА ² с)	4800 (кА ² с)

Роз'єднувач вибрано типу **РНДЗ.1-220/1000 У1**.

Роз'єднувачі високовольтні зовнішньої установки на 220 кВ серії РНДЗ призначені для включення і відключення знеструмлених ділянок, що знаходяться під напругою електричних кіл високої напруги, а також заземлення відключених ділянок за допомогою заземлюючих ножів (при їх наявності).

Аналогічно проведемо вибір для ПС-3 (за таблицею 2.4). Оскільки на підстанції №3 трансформатор потужністю 40 МВА та розрахункові значення приблизно такі як і на першій підстанції то були обрані аналогічні високовольтні електричні апарати.

Проводимо вибір для ПС – 2 дані яких знаходяться в таблиці 2.5

Тип трансформатора ТРДН-63000/220.

Визначимо максимальний струм на високій напрузі:

$$I_{max}^{BH} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{1,4 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 231,47 \text{ (А)}$$

Струм у колі ввідних вимикачів на низькій напрузі:

$$I_{max}^{HH} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{1,4 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5092,2 \text{ (А)}$$

Струм у колі секційного вимикача:

$$I_{max}^{CB} = \frac{0,7 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{0,7 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2546,58 \text{ (А)}$$

Струм у колі , що відходить до підстанції

$$I_{max}^{ЛВ} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн} \cdot n} = \frac{1,4 \cdot 63000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 5} = 1018,63 \text{ (А)}$$

Таблиця 2.13 – Вибір вимикачів на напрузі 220 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	220 (кВ)	220 (кВ)
$I_{роз} \leq I_{ном}$	231,47 (А)	2000 (А)
$I_{по} \leq I_{прСКВ}$	3,379(кА)	31,5 (кА)
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	7,922 (кА)	102 (кА)
$I_{нт} \leq I_{отк.ном}$	3,479 (кА)	40 (кА)
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	0,446 (кА)	-
$B_k \leq I_T^2 t_T$	1,029 (кА ² с)	4800 (кА ² с)

На стороні 220 кВ обрано вимикач типу **ВВБ-220Б-31,5/2000 У1**.

Таблиця 2.14 – Вибір вимикачів на напрузі 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	220 (кВ)	10 (кВ)
$I_{роз} \leq I_{ном}$	5092,2 (А)	5600 (А)
$I_{по} \leq I_{прСКВ}$	32,172 (кА)	63 (кА)
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	83,444 (кА)	170 (кА)
$I_{нт} \leq I_{отк.ном}$	32,172 (кА)	64 (кА)
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	29,994 (кА)	38 (кА)
$B_k \leq I_T^2 t_T$	351,92 (кА ² с)	16384 (кА ² с)

На стороні 220 кВ обрано вимикач типу **МГГ-10-5600-63У3**.

Таблиця 2.15 – Вибір секційного вимикача на напрузі 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 (кВ)	10 (кВ)
$I_{роз} \leq I_{НОМ}$	2546,58(А)	3150 (А)
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	32,172 (кА)	45 (кА)
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	83,444 (кА)	120 (кА)
$I_{нт} \leq I_{отк.НОМ}$	32,172 (кА)	45 (кА)
$I_{ат} \leq I_{а.НОМ}$	29,994 (кА)	45 (кА)
$B_k \leq I_T^2 t_T$	351,92 (кА ² с)	8100 (кА ² с)

Секційний вимикач обрано типу **МГГ-10-3150-45УЗ**

Таблиця 2.16 – Вибір лінійного вимикача на напрузі 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 (кВ)	10 (кВ)
$I_{роз} \leq I_{НОМ}$	1018,63 (А)	3150 (А)
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	32,172 (кА)	45 (кА)
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	83,444 (кА)	120 (кА)
$I_{нт} \leq I_{отк.НОМ}$	32,172 (кА)	45 (кА)
$I_{ат} \leq I_{а.НОМ}$	29,994 (кА)	45 (кА)
$B_k \leq I_T^2 t_T$	351,92 (кА ² с)	8100 (кА ² с)

Лінійний вимикач обрано типу **МГГ-10-3150-45УЗ**.

Таблиця 2.17. – Вибір роз'єднувачів на напрузі 220 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	220 (кВ)	220 (кВ)
$I_{роз} \leq I_{НОМ}$	231,47 (А)	1000 (А)
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	7,922 (кА)	100 (кА)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$B_k \leq I_T^2 t_T$	1,029 (кА ² с)	4800 (кА ² с)
----------------------	---------------------------	--------------------------

Обрано роз'єднувач типу РНДЗ.1-220/1000 У1.

Таблиця 2.18 – Високовольтні електричні апарати

№ ПС	Тип високовольтних електричних апаратів				
	Вим. 220 кВ	Вим. 10 кВ	Секц. вим. 10 кВ	Лін. вим 10 кВ	Роз'єдн. 220 кВ
1	ВВБ-220Б-31,5/2000 У1	МГГ-10-4000-45У3	ВВЕ-10-31,5-2000-У3	ВВЕ-10-31,5-2000-У3	РНДЗ.1-220/1000 У1
2	ВВБ-220Б-31,5/2000 У1	МГГ-10-5600-63У3	МГГ-10-3150-45У3	МГГ-10-3150-45У3	РНДЗ.1-220/1000 У1
3	ВВБ-220Б-31,5/2000 У1	МГГ-10-4000-45У3	ВВЕ-10-31,5-2000-У3	ВВЕ-10-31,5-2000-У3	РНДЗ.1-220/1000 У1
4	ВВБ-220Б-31,5/2000 У1	МГГ-10-5600-63У3	МГГ-10-3150-45У3	МГГ-10-3150-45У3	РНДЗ.1-220/1000 У1
5	ВВБ-220Б-31,5/2000 У1	МГГ-10-5600-63У3	МГГ-10-3150-45У3	МГГ-10-3150-45У3	РНДЗ.1-220/1000 У1

2.4 Вибір шин розподільчих пристроїв

Ошиновка в РП 220 кВ застосовують гнучкі шини, які виконуються сталю-алюмінієвими проводами. Вибираються ці шини за наступними умовами:

Економічна щільність струму $q_p = \frac{I_{\text{норм}}}{j_e}$, де j_e — економічна щільність струму; $j_e = 1.1$, для неізолюваних алюмінієвих проводів

$$q_p = \frac{I_{\text{норм}}}{j_e} = \frac{146,96}{1,1} = 133,6 \text{ (мм}^2\text{)}$$

За умовою вибираємо провід АС-240/32.

Перевірка за допустимим струмом $146,96 \leq 605 \text{ А}$ умова виконується.

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Перевірка на термічну стійкість при КЗ:

$$q_{min} \leq q_{розрах}$$

$$q_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \text{ де } C = 91 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кА} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}}}{\text{мм}^2}$$

$$q_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{1,128}}{91 \cdot 10^{-3}} = 11,671 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Перевірка гнучких шин на електродинамічну стійкість при КЗ не проводимо, так як виконується умова: $I_{КЗ}^{ВН} = 3,644 < 20 \text{ кА}$

Обираємо для встановлення провід АС-240/32, де допустимий струм становить 605 (А). $I_{доп} = 605 \text{ А}$.

Для закритих РП 10 кВ використовуються жорсткі шини. Вибір перетину виконується за допустимим струмом. Беремо шини коробчастого перерізу алюмінієві 2x125x55x6,5 (мм), переріз (2x1370) (мм²) $W_{y0-y0} = 100 \text{ (см}^3\text{)}$, $W_{y-y} = 9,5 \text{ (см}^3\text{)}$, $I_{доп} = 4640 \text{ (А)}$

Знаходимо припустимий струм з урахуванням поправки на температуру навколишнього середовища:

$$I'_{доп} = I_{доп} \sqrt{\frac{v_{доп} - v_{о.ф.}}{v_{доп} - v_{о.н.}}} = 4640 \sqrt{\frac{70 - (-10)}{70 - 20}} = 5869,19 \text{ (А)}$$

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:

$$f_0 = \frac{173.2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}} = \frac{173.2}{2^2} \sqrt{\frac{625}{2 \cdot 13,7 \cdot 10^{-2}}} = 206,5 \text{ Гц} > 200 \text{ Гц}$$

Умовою механічної міцності шин є

$$\sigma_{расч} \leq \sigma_{доп}$$

де $\sigma_{расч}$ - розрахунковий механічний напружок у матеріалі шин, МПА,

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

$\sigma_{\text{доп}} = 75$ МПа - допустима механічна напруга в матеріалі шин для алюмінію марки ДДЗТ.

Визначимо розрахункову механічну напругу за формулою :

$$\sigma_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_y^2 l^2}{W_{y0y0} \cdot a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(63,459 \cdot 10^3)^2 \cdot 2^2}{100 \cdot 0,5} = 5,58 \text{ МПа}$$

де $a = 0,5$ м - відстань між фазами.

$$5,58 \text{ МПа} \leq 75 \text{ МПа}$$

Визначимо силу взаємодії між швелерами:

$$f_n = 0,5 \cdot \frac{i_y^2}{h} \cdot 10^{-7} = 0,5 \cdot \frac{(63,459 \cdot 10^3)^2}{0,125} \cdot 10^{-7} = 1610,8 \text{ Н/м}$$

Аналогічний розрахунок проведемо для кожної підстанції. Зробимо висновок, що обрана ошиновка для підстанцій задовольняє вимогам.

Таблиця 2.19 – Розраховані дані щодо вибору ошиновки

№ ПС	q_p (мм ²)	q_{min} (мм ²)	$\sigma_{\text{расч}}$ МПа	f_n Н/м
1	133,6	11,67	5,58	1610,8
2	210,42	14,02	12,061	3481,7
3	133,6	11,89	5,644	1629,4
4	210,42	12,53	11,08	3198,9
5	210,42	14,21	12,18	3515,8

2.5 Вибір електровимірювальних трансформаторів струму та напруги

Для ввімкнення електровимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту необхідна установка трансформаторів струму і напруги.

У колі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюється амперметр, вольтметр, варметр, лічильники активної і реактивної енергії, на шинах 220 кВ – вольтметр із перемикачем для виміру трьох міжфазних 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 2.20.

Таблиця 2.20 – Вторинне навантаження трансформаторів струму

Прилад	Тип	Клас	Навантаження по фазах		
			А	В	С
Амперметр	Э-335	1	0.5	0.5	0.5
Ватметр	Д350	1.5	0.5	-	0.5
Варметр	Д345	1.5	0.5	-	0.5
Лічильник активної енергії	СА3	1	2.5	-	2.5
Лічильник реактивної енергії	СР4	1.5	2.5	-	2.5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра з боку НН			6.5	0.5	6.5
Сумарне навантаження струму в колі секц. Вимикач на НН			0.5	0.5	0.5
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра на боці ВН			0.5	0.5	0.5
Сумарне навантаження струму в колі відхідної лінії			0.5	0.5	0.5

Таблиця 2.21 – Вибір трансформатора струму у колі силового трансформатора на боці вищої напруги

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	220 кВ	220 кВ
$I_{роз} \leq I_{ном}$	146,96 (А)	300 А
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	8,951 (кА)	-
$B_k \leq I_T^2 t_T$	1,314 (кА ² с)	288,12 (кА ² с)
$Z_H \leq Z_{H,ном}$	0,82 (Ом)	1,2 Ом

Обрано трансформатор струму типу **ТФЗМ 220 Б – III**.

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 не більше, ніж розрахований за формулою:

$$Z_{пр} = Z_{ном} - Z_{прил} - Z_K;$$

Де $Z_{ном}$ – номінальний опір навантаження, Ом;

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

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

$Z_{\text{к}}$ – опір контактів, Ом;

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

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинен бути не менше, ніж 4 (мм²) для алюмінієвих жил.

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

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{S},$$

Де ρ – питомий опір алюмінію $0,0283 \frac{\text{Ом}\cdot\text{м}}{\text{мм}}$,

S – перетин жил (мм²),

$$Z_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 100}{4} = 0,7 \text{ (Ом)}$$

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 220Б-III відповідає умовам вибору

Таблиця 2.22 – Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на боці нижчої напруги

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{\text{н}}$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{роз}} \leq I_{\text{ном}}$	3233,2 (А)	4000
$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{СКВ}}$	64,907 (кА)	-
$B_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}}$	93,94 (кА ² с)	3675 (кА ² с)
$Z_{\text{н}} \leq Z_{\text{н.ном}}$	0,64	1,2

Обрано трансформатор струму типу **ТШЛ10-У3**.

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 не більше, ніж розрахований за формулою:

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

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

Де $Z_{\text{ном}}$ – номінальний опір навантаження, Ом;

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

$Z_{\text{к}}$ – опір контактів, Ом;

$$Z_{\text{пр}} = 1,2 - 0,26 - 0,1 = 0,84 \text{ (Ом)}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинен бути не менше, ніж 4 (мм²) для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля $l=40 \text{ м}$

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{S},$$

Де ρ – питомий опір алюмінію $0,0283 \frac{\text{Ом}\cdot\text{м}}{\text{мм}}$,

S – перетин жил (мм²),

$$Z_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 40}{4} = 0,28 \text{ (Ом)}$$

Загальний опір струмового кола:

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,62 + 0,1 + 0,28 = 0,64 \text{ (Ом)}$$

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

Трансформатор струму ТШЛ10-У3 відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.23 – Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{роз}} \leq I_{\text{ном}}$	646,63 (А)	1000
$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{СКВ}}$	64,907 (кА)	-
$B_k \leq I_T^2 t_T$	93,94 (кА ² с)	4800 (кА ² с)
$Z_{\text{н}} \leq Z_{\text{н.ном}}$	0,4	0,4

Обрано трансформатор струму на лінії типу ТЛ10-І.

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

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

					Лист
					39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Тоді опір сполучних проводів може бути не більше, ніж розрахований за формулою:

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

Де $Z_{\text{ном}}$ – номінальний опір навантаження, Ом;

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

$Z_{\text{к}}$ – опір контактів, Ом;

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 - 0,02 - 0,1 = 0,28 \text{ (Ом)}$$

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинен бути не менше, ніж 4 (мм²) для алюмінієвих жил.

Перетин жил при довжині кабеля $l=40 \text{ м}$

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{S}$$

Де ρ – питомий опір алюмінію $0,0283 \frac{\text{Ом}\cdot\text{м}}{\text{мм}}$,

S – перетин жил (мм²),

$$Z_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 40}{4} = 0,28 \text{ (Ом)}$$

Загальний опір струмового кола:

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,02 + 0,1 + 0,28 = 0,4 \text{ (Ом)}$$

Що менше, ніж 0,4 Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 0,5.

Трансформатор струму ТЛ10-І відповідає умовам вибору.

Обираємо трансформатори напруги за заданими значеннями напруги та за потужністю. На боці високої напруги (220 кВ) обираємо трансформатори НКФ-220-58У1, на боці 10 кВ – ЭНОЛ-06-10У3.

Таблиця 2.24 – Трансформатори напруги

Тип	Номінальна напруга обмоток			Номінальна потужність, В·А, в класі точності				Максимальна потужність, В·А
	Первинної, В	Основної вторинної, В	Додаткової, В	0,2	0,5	1	3	

Таблиця 2.24 - Продовження

НКФ-220-58У1	220000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	-	400	600	1200	2000
Тип	Номинальна напруга обмоток			Номинальна потужність, В·А, в класі точності				Максимальна потужність, В·А
	Первинної, В	Основної вторинної, В	Додаткової, В	0,2	0,5	1	3	
ЭНОЛ-06-10У3	10000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100/3 или 100	50	75	150	300	630

2.6 Вибір трансформаторів власних потреб

Споживачами власних потреб є оперативні кола, електродвигуни, системи охолодження силових трансформаторів, освітлення і електроопалення приміщень, електропідігрівання комутаційної апаратури і т.д.

Сумарна розрахункова потужність власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту. Розрахунок потужності приймачів власних потреб наведений у таблиці 2.27.

Таблиця 2.27 – Розрахунок потужності приймача власних потреб

Види споживачів	Встановлена потужність		cos φ	tgφ	Навантаження	
	одиниці, кВт*к-сть	Всього, кВт			Pвст, кВт	Qвст, квар
Охолодження ТРДН-40000/220	3*2	6	0,88	0,54	6	3,24
Підігрів вимикачів на напрузі 220 кВ	3,6*2	7,2	1	0	7,2	-
Підігрів КРП	1*6	6	1	0	6	-
Опалення і освітлення ОПУ	-	80	1	0	80	-
Освітлення, вентиляція ЗРП	-	7	0,95	0,33	7	2,31
Освітлення ВРП	-	5	0,93	0,4	5	2
Всього					111,2	7,55

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

На підстанції передбачається установка двох трансформаторів власних потреб. Номінальна потужність вибирається з умови

$$S_{\text{ТВП}} = S_{\text{роз}}/k_{\text{пер}}$$

Де $S_{\text{ТВП}}$ – потужність трансформатора власних потреб, кВА

$S_{\text{роз}}$ – потужність споживачів власних потреб, кВА.

$$S_{\text{роз}} = k_c \cdot \sqrt{P_{\text{уст}}^2 + Q_{\text{уст}}^2} = 0,8 \cdot \sqrt{111,2^2 + 7,55^2} = 89,15 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{ТВП}} \geq \frac{89,15}{1,4} = 63,68 \text{ кВА}$$

Беремо потужність трансформаторів власних потреб такою, що дорівнює 63 кВА. Для живлення власних потреб беремо два трансформатори ТМ-63/35.

Проведемо розрахунок та виберемо трансформатор власних потреб для підстанції де встановлений силовий трансформатор ТРДЦН-63000/220.

Таблиця 2.28 – Розрахунок потужності приймача власних потреб

Види споживачів	Встановлена потужність		cos φ	tgφ	Навантаження	
	одиниці, кВт*к-сть	Всього, кВт			Рвст,кВт	Qвст, квар
Охолодження ТРДЦН-63000/220	29,6*2	59,2	0,85	0,62	59,2	36,7
Підігрів вимикачів на напрузі 220 кВ	3,6*2	7,2	1	0	7,2	-

Таблиця 2.28 – Продовження.

Підігрів КРП	1*6	6	1	0	6	-
Опалення і освітлення ОПУ	-	90	1	0	85	-
Освітлення, вентиляція ЗРП	-	7	0,95	0,33	7	2,31
Освітлення ВРП	-	5	0,93	0,4	5	2
Всього					169,4	41,01

На підстанції передбачається установка двох трансформаторів власних потреб. Номінальна потужність вибирається з умови

$$S_{\text{ТВП}} = S_{\text{роз}}/k_{\text{пер}}$$

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Де $S_{ТВП}$ – потужність трансформатора власних потреб, кВА

$S_{роз}$ – потужність споживачів власних потреб, кВА.

$$S_{роз} = k_c \cdot \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = 0,8 \cdot \sqrt{169,4^2 + 41,01^2} = 174,29 \text{ кВА}$$

$$S_{ТВП} \geq \frac{174,29}{1,4} = 124,49 \text{ кВА}$$

Беремо потужність трансформаторів власних потреб такою, що дорівнює 160 кВА. Для живлення власних потреб беремо два трансформатори ТМ-160/35.

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

3. Розрахунок електромагнітних перехідних процесів в електричній мережі

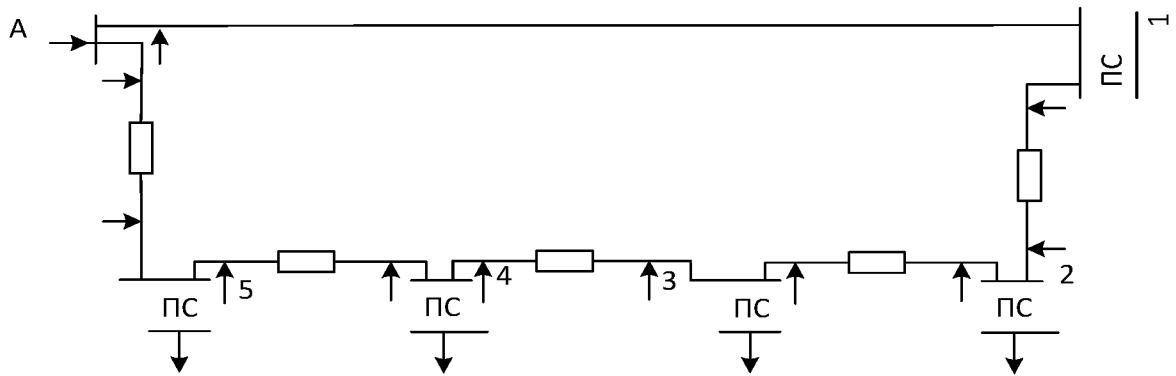


Рис 3.1 – Схема з'єднань електричної мережі

Таблиця 3.1 – Параметри проводів ліній електропередач

Ділянки мережі	Марка провода	Довжина ділянки, км
А-1	АС-240/32	31,77
1-2	АС-240/32	18,36
2-3	АС-240/32	30,27
3-4	АС-240/32	26,25
4-5	АС-240/32	17,46
5-А	АС-240/32	48,27

Таблиця 3.2 – Параметри споживачів

Параметр	1-й спож.	2-й спож.	3-й спож.	4-й спож.	5-й спож.
S	$49+j26,45$	$74+j31,52$	$51+j16,76$	$63+j43,97$	$55+j32,64$

Таблиця 3.3 – Параметри трансформаторів

Тип	$S_{НОМ}$, МВА	Межі регулювання	Каталожні дані						Розрахункові дані		
			$U_{НОМ}$ обмоток, кВ		U_K , %	ΔP_K , кВт	ΔP_X , кВт	I_X , %	R_T , Ом	X_T , Ом	ΔQ_X , кВАр
			ВН	НН							
ТРДН-40000/220	40	$\pm 8*1,5$	230	11/11 6,6/6,6	12	170	50	0,9	5,6	158,7	360
ТРДЦН-63000/220	63	$\pm 8*1,5$	230	11/11 6,6/6,6	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504

Приймаємо базисні умови:

$$U_6 = 10 \text{ кВ}$$

$$S_6 = 100 \text{ МВА}$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,77 \text{ (кА)}$$

Визначимо параметри схеми заміщення ліній та трансформаторів та розрахуємо струми короткого замикання.

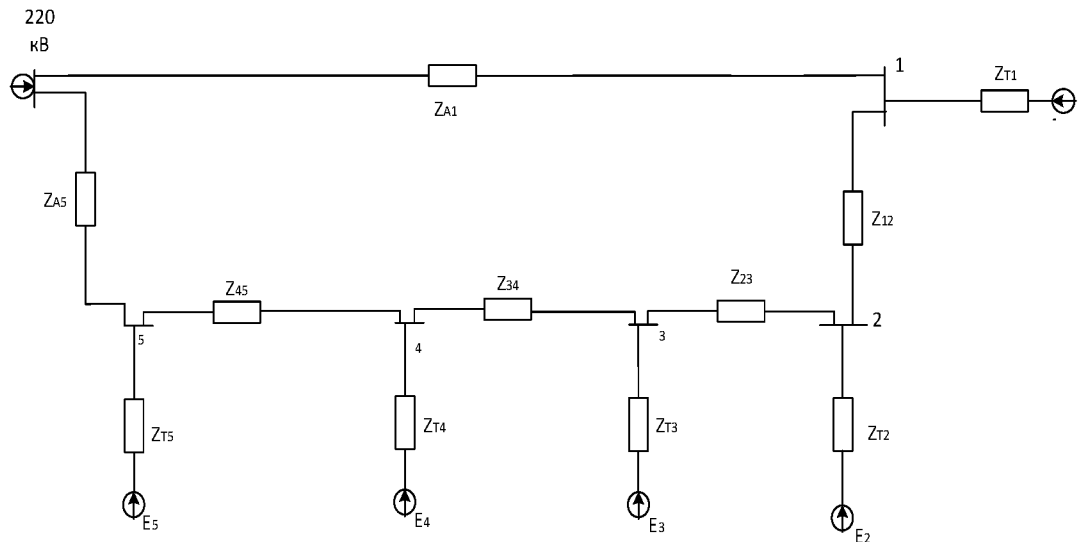


Рис 3.2 – Схема заміщення

Знайдемо опори ліній:

$$X_1 = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_C^2} = \frac{0,4 \cdot 31,77 \cdot 100}{242^2} = 0,022 \text{ (Ом)}$$

Розраховані опори занесемо в таблицю 6.4

Таблиця 3.4 – Опори ліній

Ділянки мережі	Довжина ділянки, км	Опори ліній, Ом
А-1	31,77	0,022
1-2	18,36	0,013
2-3	30,27	0,021
3-4	26,25	0,018
4-5	17,46	0,012
5-А	48,27	0,033

Знаходимо опори трансформаторів:

$$X_{T1} = \frac{U_K \cdot S_6}{2 \cdot 100 \cdot S_H} = \frac{12 \cdot 100}{2 \cdot 100 \cdot 40} = 0,15 \text{ (Ом)}$$

$$X_{T2} = \frac{U_K \cdot S_6}{2 \cdot 100 \cdot S_H} = \frac{12 \cdot 100}{2 \cdot 100 \cdot 63} = 0,095 \text{ (Ом)}$$

$$X_{T1} = X_{T3} = 0,15 \text{ (Ом)}$$

$$X_{T2} = X_{T4} = X_{T5} = 0,095 \text{ (Ом)}$$

Розрахуємо опір джерела:

$$x_{*(6)t} = \frac{S_6}{S_k} = \frac{100}{2300} = 0,043$$

ЕРС джерела:

$$E_{*(6)GS} = \frac{U_{\text{сер.ном}}}{U_{\text{сер.ном.I}}} = \frac{230}{230} = 1$$

Знайдемо еквівалентний опір лінії:

Опір лінії на ділянці 5-А

$$X_1 = \frac{X_{5A} \cdot X_{5T}}{X_{5A} + X_{5T}} = \frac{0,033 \cdot 0,095}{0,033 + 0,095} = 0,024$$

$$X_2 = X_{45} + X_1 = 0,012 + 0,024 = 0,036$$

Опір лінії на ділянці 4-5

$$X_3 = \frac{X_2 \cdot X_{T4}}{X_2 + X_{T4}} = \frac{0,036 \cdot 0,095}{0,036 + 0,095} = 0,026$$

$$X_4 = X_{34} + X_3 = 0,018 + 0,026 = 0,044$$

Опір лінії на ділянці 3-4

$$X_5 = \frac{X_4 \cdot X_{T3}}{X_4 + X_{T3}} = \frac{0,044 \cdot 0,15}{0,044 + 0,15} = 0,034$$

$$X_6 = X_5 + X_{23} = 0,034 + 0,021 = 0,055$$

Опір лінії на ділянці 2-3

$$X_7 = \frac{X_6 \cdot X_{T2}}{X_6 + X_{T2}} = \frac{0,055 \cdot 0,095}{0,055 + 0,095} = 0,035$$

$$X_8 = X_{12} + X_7 = 0,013 + 0,035 = 0,048$$

Опір лінії на ділянці 1-2

$$X_9 = \frac{X_8 \cdot X_{T1}}{X_8 + X_{T1}} = \frac{0,048 \cdot 0,15}{0,048 + 0,15} = 0,036$$

Знаходимо еквівалентний опір:

$$X_E = X_{A1} + X_9 = 0,022 + 0,036 = 0,058$$

										Лист
										46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Результуючий опір до точки K_1

$$X_{*(6)\text{рез}} = X_E + x_{*(6)t} = 0,058 + 0,043 = 0,102$$

Початкове значення періодичної складової в точці K_1

$$I_{\Pi,t=0,1} = \frac{E_{*(6)GS} \cdot I_6}{X_{*(6)\text{рез}}} = \frac{1 \cdot 5,77}{0,102} = 56,714 \text{ (кА)}$$

Потужність КЗ у точці K_1

$$S_{K1} = \frac{S_6}{X_{*(6)\text{рез}}} = \frac{100}{0,102} = 982,31 \text{ (МВА)}$$

Ударний струм КЗ (при $t=0,01$ с, $T_a \sim 0,05$ с)

$$I_{y,t} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\Pi,t=0,1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 56,714 = 144,369 \text{ (кА)}$$

Діюче значення ударного струму КЗ

$$I_{y,t} = 1,52 \cdot I_{\Pi,t=0,1} = 1,52 \cdot 56,714 = 86,21 \text{ (кА)}$$

4. Розрахунок релейного захисту

Релейний захист (РЗ) здійснює безперервний контроль за станом усіх елементів електроенергетичної системи і реагує на виникнення несправностей та ненормальних режимів. У разі виникнення пошкоджень, РЗ повинен виявити пошкоджену ділянку і відокремити її від електричної мережі, шляхом впливу на первинне комутаційне обладнання, призначеного для розмикання струмів аварійного режиму. За виникнення збоїв енергомережі, релейний захист, повинен виявляти їх і, залежно від характеру порушення, або вимикати обладнання, якщо виникла небезпека його пошкодження, або проводити автоматичні операції, потрібні для відновлення нормального стану (наприклад, увімкнення після аварійного вимкнення, з надією на самоусунення аварії чи під'єднання резервного живлення), або здійснювати сигналізацію оперативним працівникам, які повинні вживати заходи для виправлення неполадок.

Релейний захист, є основним видом електричної автоматики, без якої неможлива нормальна робота енергосистем.

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Для захисту силових трансформаторів, використовуються диференційні релейні схеми. У диференційному захисті (ДЗ) трансформаторів, визначаються струми з боку високої й низької напруги, уточнюється їх різниця та застосовується перший закон Кірхгофа.

Диференційний захист зазвичай, призначено для захисту від міжфазних замикань в обмотках трансформатора та на їх виводах, від замикань між витками однієї фази, а також, від замикань на корпус трансформатора.

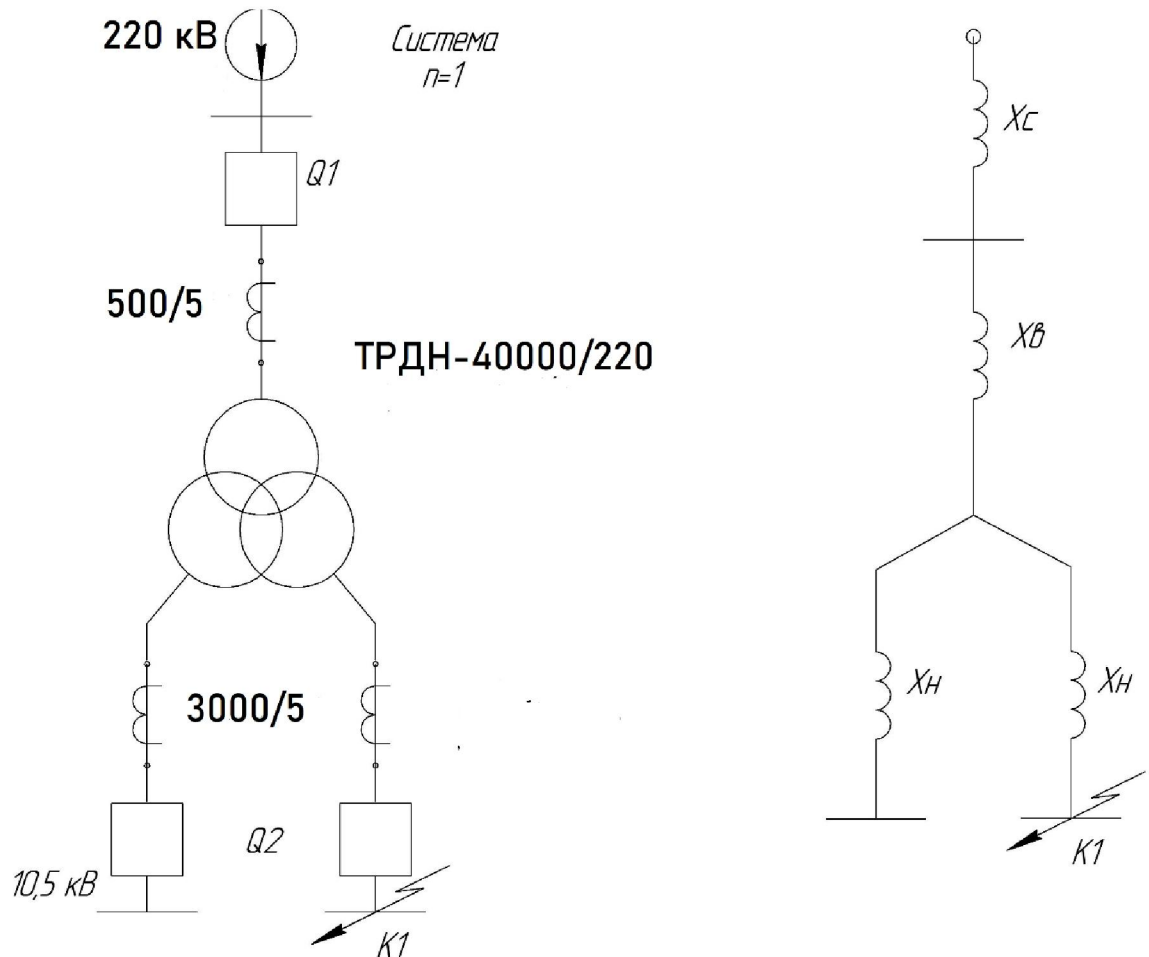


Рис 4.1 – Пояснювальна схема і схема заміщення

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку релейного захисту

Тип	$S_{НОМ}$, МВА	Межі регулювання	Каталожні дані						Розрахункові дані		
			$U_{НОМ}$ обмоток, кВ		U_K , %	ΔP_K , кВт	ΔP_X , кВт	I_X , %	R_T , Ом	X_T , Ом	ΔQ_X , кВАр
			ВН	НН							
ТРДН-40000/220	40	$\pm 8 * 1,5$	230	11/11 6,6/6,6	12	170	50	0,9	5,6	158,7	360
ТРДЦН-63000/220	63	$\pm 8 * 1,5$	230	11/11 6,6/6,6	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504

Прийемо, що трансформатор живиться від енергосистеми з параметрами:

$$X_{с.макс} = 12 \text{ (Ом)}$$

$$X_{с.мин} = 18 \text{ (Ом)}$$

Розрахуємо опір трансформатора:

$$X_T = \frac{U_K \cdot U_{ном.в.}^2}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{12 \cdot (230 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 40 \cdot 10^6} = 158,7 \text{ (Ом)}$$

$$X_{ТС} = X_{ТН} = 158,7 \cdot 1,75 = 277,73 \text{ (Ом)}$$

$$X_{ТВ} = 158,7 \cdot 0,125 = 19,84 \text{ (Ом)}$$

При розрахунках струмів КЗ для захисту трансформаторів з РПН потрібно врахувати зміну опору за рахунок регулювання напруги. Для трансформатора типу ТРДН 40000/220 межі регулювання складають $\pm 8 * 1,5 \%$. Отже розрахуємо зміну опору:

$$X_{В.мин} = X_B(1 - \Delta U_1)^2 = 19,84 \cdot (1 - 0,12)^2 = 15,36 \text{ (Ом)}$$

$$X_{Н.мин} = X_H(1 - \Delta U_1)^2 = 277,73 \cdot (1 - 0,12)^2 = 215,07 \text{ (Ом)}$$

$$X_{В.макс} = X_B(1 + \Delta U_1)^2 = 19,84 \cdot (1 + 0,12)^2 = 24,89 \text{ (Ом)}$$

$$X_{Н.макс} = X_H(1 + \Delta U_1)^2 = 277,73 \cdot (1 + 0,12)^2 = 348,39 \text{ (Ом)}$$

Струм КЗ на шинах НН становить:

$$I_{к.макс}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot (X_{с.макс} + X_{В.мин} + X_{Н.мин})} = \frac{230 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(12 + 15,36 + 215,07)} = 547,75 \text{ (А)}$$

$$I_{к.мин}^{(2)} = \frac{U_{ср.ном}}{2 \cdot (X_{с.мин} + X_{В.макс} + X_{Н.макс})} = \frac{230 \cdot 10^3}{2(18 + 24,89 + 348,39)} = 339,38 \text{ (А)}$$

Розрахуємо первинні та вторинні струми:

$$I_{ном.пер} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{40 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot 10^3} = 100,41 \text{ (А)}$$

$$I_{ном.втор} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{40 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 11 \cdot 10^3} = 2099,5 \text{ (А)}$$

За розрахунковими даними струмів $I_{ном.пер}$ та $I_{ном.втор}$ вибираємо трансформатори струму: 500/5 та два 3000/5, оскільки у нас трансформатор з розщепленою обмоткою.

$$I_1 = \frac{I_{ном.пер} \cdot k_{сх}}{n_T} = \frac{100,41 \cdot \sqrt{3}}{500/5} = 1,74 \text{ (А)}$$

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

$$I_2 = \frac{I_{\text{НОМ.ВТОР}} \cdot k_{\text{СХ}}}{n_T} = \frac{2099,5 \cdot 1}{3000/5} = 3,49 \text{ (A)}$$

Отримані дані заносимо до таблиці 7.2:

Таблиця 4.2 – Розрахунок первинних та вторинних струмів сторін трансформатора

Параметри	ВН 230 кВ	НН 11кВ
$I_{\text{НОМ}}, \text{A}$	100,41	2099,5
$K_{\text{ТТ}}$	500/5	3000/5
Схема з'єднання ТТ	Δ	Y
$I_{\text{НОМ.ВТОР}}, \text{A}$	1,74	3,49

Проведемо розрахунок повздовжнього диференційного струмового захисту

Струм спрацювання захисту визначається по більшому із двох значень:

А) Відстройка від кидка струму намагнічування:

$$I_{\text{с.з.}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot 100,41 = 130,533 \text{ (A)}$$

Б) Відстройка від струму небалансу:

$$I_{\text{с.з.}} = k_3(k_{\text{одн}}\varepsilon + \Delta U)I_{\text{к.макс(1)}}^{(3)} = 1,3(1 \cdot 0,1 + 0,12) \cdot 547,75 = 156,66 \text{ (A)}$$

Приймаємо $I_{\text{с.з.}} = 156,66 \text{ (A)}$

1) Попередня перевірка коефіцієнту чутливості:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин(2)}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}} = \frac{339,38}{156,66} = 2,16$$

Перевірка на чутливість реле типу ДЗТ – 11:

Обираємо струм спрацювання захисту:

а) Відстройка від кидка струму намагнічування:

$$I_{\text{с.з.}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{НОМ}} = 1,5 \cdot 100,41 = 150,62 \text{ (A)}$$

б) Відстройка від струму небалансу при КЗ на шинах НН:

$$I_{\text{с.з.}} = k_3(k_{\text{одн}}\varepsilon + \Delta U)I_{\text{к.макс}}^{(3)} = 1,5(1 \cdot 0,1 + 0,12) \cdot 547,75 = 180,76 \text{ (A)}$$

Струм спрацювання захисту приймаємо буде дорівнювати значенню а).
 Приймаємо реле ДЗТ-11 з уставкою тормозної обмотки зі сторони НН.

$$I_{с.з.} = 150,62 \text{ (А)}$$

Визначимо коефіцієнт чутливості захисту реле при КЗ на шинах НН

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{с.з.}} = \frac{339,38}{150,62} = 2,25 > 2 \text{ відповідає умові чутливості}$$

Вибір уставок реле ДЗТ-11

За основну сторону приймаємо сторону НН, оскільки вона має більший вторинний номінальний струм.

Струм спрацювання реле для основної сторони визначається за виразом:

$$I_{ср.осн} = \frac{I_{с.з.} \cdot k_{с.х.} \cdot \frac{U_{ср.ном}}{U_{н.ном}}}{K_{тт}} = \frac{150,62 \cdot 1 \cdot \frac{230}{11}}{3000/5} = 5,249 \text{ (А)}$$

Розрахункове число витків для основної обмотки:

$$w_{осн.роз} = \frac{F_{ср}}{I_{ср.осн}} = \frac{100}{5,249} = 19,05 \text{ (витків)}$$

Приймаємо $w_{осн.роб} = 19$ (витків), що відповідає фактичному струму спрацювання реле:

$$I_{ср.осн} = \frac{100}{19} = 5,26 \text{ (А)}$$

Для сторони 230 кВ:

$$w_{ВН.роз} = w_{осн.роб} \cdot \frac{I_{в.ном.осн}}{I_{в.ном.ВН}} = 19 \cdot \frac{3,49}{1,74} = 38,11 - \text{приймаємо } 38 \text{ (витків)}$$

Приймаємо $w_{ВН.роз} = 38$ (витків)

Уточнюючий розрахунок з урахуванням вирівнювання

Струм спрацювання захисту з урахуванням вирівнювання:

$$I_{с.з.} = k_з (k_{одн} \varepsilon + \Delta U + \Delta w_1) I_{к.макс}^{(3)} = 1,5(1 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,0029) \cdot 547,75 = 183,14 \text{ (А)}$$

$$\text{де } \Delta w_1 = \frac{38,11 - 38}{38,11} = 0,0029.$$

Уточнюючий розрахунковий струм спрацювання для основної сторони:

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{с.з.}} \cdot k_{\text{с.х.}} \cdot \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{н.ном}}}}{K_{\text{ТТ}}} = \frac{183,14 \cdot 1 \cdot \frac{230}{11}}{3000/5} = 6,382 \text{ (А)}$$

Число витків тормозної обмотки:

$$w_{\text{торм}} = \frac{k_z \cdot I_{\text{нб.роз}} \cdot w_{\text{осн.роб}}}{I_{\text{к.макс(1)}}^{(3)} \cdot \text{tg}\alpha} = \frac{1,5 \cdot 183,14 \cdot 19}{547,75 \cdot 0,75} = 12,71 \text{ (витків)}$$

Приймаємо $w_{\text{торм}} = 12$ (витків)

4.1 Захист від ушкоджень усередині трансформатора

Газовий захист є основним захистом, який реагує на всі види ушкоджень всередині бака трансформатора, які супроводжуються виділенням газу, зниженням рівня масла в газовому реле. Для правильної роботи газового захисту корпус трансформатора встановлюється з нахилом 1,5 – 2 % у бік розширювача.

Основним елементом газового захисту є реле, яке працює на неелектричному принципі і встановлюється в розріз трубопроводу від корпусу трансформатора до розширювача.

Газовий захист абсолютно селективний і не реагує на ушкодження поза баком трансформатора.

Зазвичай, газовий захист виконується двухступінчатим:

Перший ступінь спрацьовує при незначному виділенні газу або зниженні рівня масла в газовому реле і з витримкою часу діє на сигнал.

Другий ступінь спрацьовує при значному виділенні газу, зниженні рівня масла в газовому реле або при інтенсивному прямуванні потоку масла з бака трансформатора у розширювач і діє на відключення трансформатора з усіх боків без витримки часу.

Живлення оперативних кіл газового захисту на змінному струму виконується від трансформаторів напруги. У випадках, коли газовий захист є основним швидкодіючим захистом трансформатора середньої та великої потужності, доцільно забезпечити живлення від пристроїв постійного струму.

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

5. Розрахунок зон захисту стрижневих блискавковідводів ВРП

Трансформаторні підстанції повинні мати захист від прямих ударів блискавки та грозових хвиль, які можуть прийти з приєднаних повітряних ліній електропередач. Цей захист виконують з урахуванням кількості грозових годин на рік за допомогою стрижневих і тросових блискавковідводів і захисних апаратів, встановлених в розподільних пристроях, а також грозозахисних тростів установлених на підходах повітряних ліній до розподільних пристроїв. До захисних апаратів належать обмежувач перенапруг (ОПН), розрядники вентильні (РВ) і захисні іскрові проміжки.

Дозволено застосовувати ОПН сумісно з РВ в одній РУ під час реконструкції існуючих ТП із заміною РВ на ОПН за умови, що залишкові напруги ОПН за номінального розрядного струму становлять менше 90% залишкової напруги РВ. На різних фазах одного приєднання потрібно встановлювати ЗА одного типу (трифазний комплект ОПН).

У разі встановлення додаткових ОПН під час реконструкції існуючого РУ з ОПН усі ЗА даного РУ потрібно координувати між собою за номінальною і залишковою напругами, а також за питомою енергоємністю.

ВРУ напругою від 15,75 кВ до 750 кВ і ПС напругою від 35 кВ до 750 кВ, а також будівлі ЗРУ і ЗТП потрібно захищати від прямих ударів блискавки.

На відкритих ТП напругою 35 кВ з трансформаторами одиничною потужністю до 1,6 МВА незалежно від кількості таких трансформаторів, а також на відкритих ПС напругою від 3 кВ до 10 кВ з трансформаторами будь-якої потужності захист від прямих ударів блискавки не виконують.

Захист будівель закритих розподільчих пристроїв (ЗРУ) і закритих трансформаторних підстанцій (ЗТП), які мають металеві покриття покрівлі, потрібно виконувати заземленням цих покриттів. У разі наявності залізобетонної покрівлі і безперервного електричного зв'язку окремих її елементів захист виконують заземленням її арматури.

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Захист будівель ЗРУ і ЗТП, дах яких не має металевих або залізобетонних покриттів з безперервним електричним зв'язком окремих їх елементів, потрібно виконувати стрижневими блискавковідводами або укладанням грозозахисної сітки безпосередньо на даху будівлі.

У разі встановлення стрижневих блискавковідводів на будівлі, яку захищають, від кожного блискавковідводу потрібно прокладати не менше двох заземлювальних провідників переважно по протилежних сторонах будівлі.

У даному завданні розраховано висоту і зону захисту блискавковідводів ВРП-220. Надійність зони захисту від уражень $P_3 = 0,999$.

Таблиця 5.1 – Розміри підстанції

A, м	B, м	L ₁ (м)	L ₂ (м)	L ₃ (м)	L ₄ (м)	L ₅ (м)	h _x (м)
50	40	30	12	28	10	10	4

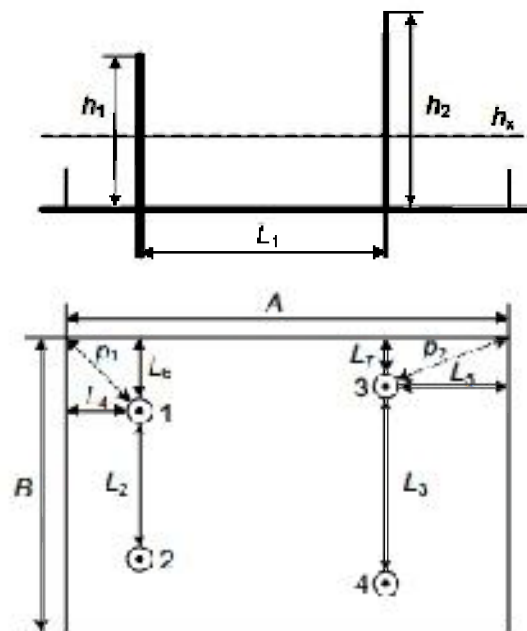


Рис 5.1 – Схема розміщення стрижневих блискавковідводів ВРП-220

За рисунком 8.1 визначимо довжини L_6, L_7, r_1, r_2 .

$$L_6 = \frac{B - L_2}{2} = \frac{40 - 12}{2} = 14 \text{ (м)}$$

$$L_6 = \frac{B - L_3}{2} = \frac{40 - 28}{2} = 6 \text{ (м)}$$

$$p_1 = \sqrt{L_4^2 + L_6^2} = \sqrt{10^2 + 14^2} = 17,21 \text{ (м)}$$

$$p_2 = \sqrt{L_5^2 + L_7^2} = \sqrt{10^2 + 6^2} = 11,66 \text{ (м)}$$

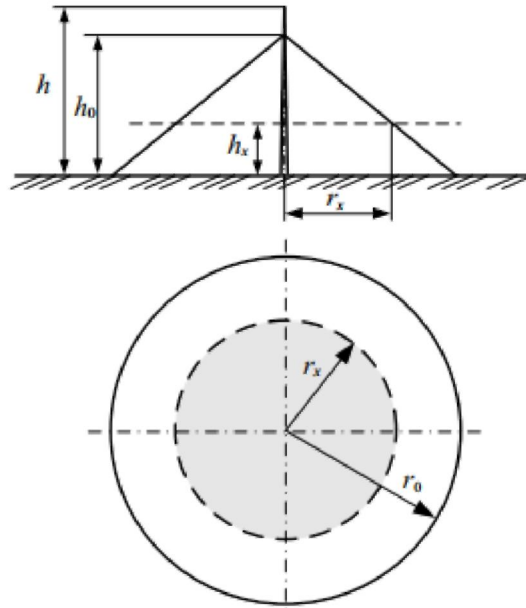


Рис 5.2 – Перетин зони захисту стрижневого блискавковідводу.

h – висота блискавковідводу; h_0 – висота конуса; r_0 – радіус конуса;

r_x – радіус горизонтального перерізу на висоті h_x .

Розрахуємо висоти блискавковідводів 1 та 2 та створені ними зони захисту ВРП на висоті h_x .

Приймаємо, що $r_{x1} = p_1$

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

Розв'яжемо дану систему:

$$p_1 = \frac{0,6h_1(0,7h_1 - h_x)}{0,7h_1} = 0,42h_1^2 - (0,7p_1 + 0,6h_x)h_1 = 0$$

Розв'язавши дане рівняння знайдемо висоту блискавковідводів 1-2

$$h_1 = 0 \text{ (м)}; h_2 = 34,4 \text{ (м)}$$

Отже $h_1 = h_2 = 34,4 \text{ (м)}$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Аналогічно розрахуємо висоти 3-4

Приймаємо, що $r_{x3} = p_2$

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

Розв'яжемо дану систему рівнянь:

$$p_2 = \frac{0,6h_3(0,7h_3 - h_x)}{0,7h_3} = 0,42h_3^2 - (0,7p_2 + 0,6h_x)h_3 = 0$$

Розв'язавши дане рівняння знайдемо висоту блискавковідводів 3-4

$$h_3 = 0(\text{м}); h_4 = 25,15(\text{м})$$

Отже $h_3 = h_4 = 25,15$ (м)

Розрахуємо параметри зон захисту блискавковідводів зони 1-2

$$L_{12} = L_2 = 12 \text{ (м)}$$

$$r_{01} = r_{02} = 0,6 \cdot h_1 = 0,6 \cdot 34,4 = 20,64 \text{ (м)}$$

$$h_{01} = h_{02} = 0,7 \cdot h_1 = 0,7 \cdot 34,4 = 24,08 \text{ (м)}$$

$$r_{x1} = r_{x2} = \frac{r_{01}(h_{01} - h_x)}{h_{01}} = \frac{20,64(24,08 - 4)}{24,08} = 17,21 \text{ (м)}$$

$$\begin{aligned} L_{c12} &= (2,25 - 0,01007(h - 30))h = (2,25 - 0,1007(34,4 - 30)) \cdot 34,4 \\ &= 75,89 \text{ (м)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{max12} &= (4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30))h \\ &= (4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(34,4 - 30)) \cdot 34,4 = 145,31 \text{ (м)} \end{aligned}$$

Розрахуємо параметри зон захисту блискавковідводів зони 3-4

$$L_{34} = L_3 = 28 \text{ (м)}$$

$$r_{03} = r_{04} = 0,6 \cdot h_3 = 0,6 \cdot 25,15 = 15,09 \text{ (м)}$$

$$h_{03} = h_{04} = 0,7 \cdot h_3 = 0,7 \cdot 25,15 = 17,61 \text{ (м)}$$

$$r_{x3} = r_{x4} = \frac{r_{03}(h_{03} - h_x)}{h_{03}} = \frac{15,09(17,61 - 4)}{17,61} = 11,66 \text{ (м)}$$

$$L_{c34} = 2,25 \cdot h_3 = 56,59 \text{ (м)}$$

$$L_{max34} = 4,25 \cdot h_3 = 106,89(\text{м})$$

Розрахуємо параметри зон захисту блискавковідводів зони 1-3

$$L_{13} = \sqrt{L_1^2 + \frac{(L_3 - L_2)^2}{2}} = \sqrt{30^2 + \frac{(28 - 12)^2}{2}} = 32,06 \text{ (м)}$$

$$L_{c13} = (2,25 - 0,01007(h - 30))h = (2,25 - 0,1007(34,4 - 30)) \cdot 34,4 = 75,89 \text{ (м)}$$

$$L_{max13} = (4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30))h = (4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(34,4 - 30)) \cdot 34,4 = 145,31 \text{ (м)}$$

$$L_{c31} = 2,25 \cdot h_3 = 56,59 \text{ (м)}$$

$$L_{max31} = 4,25 \cdot h_3 = 106,89 \text{ (м)}$$

Розрахуємо параметри зон захисту блискавковідводів зони 1-4

$$L_{13} = \sqrt{L_1^2 + \left(L_2 + \frac{(L_3 - L_2)^2}{2}\right)} = \sqrt{30^2 + \left(12 + \frac{(28 - 12)^2}{2}\right)} = 32,25 \text{ (м)}$$

$$L_{c14} = (2,25 - 0,01007(h - 30))h = (2,25 - 0,1007(34,4 - 30)) \cdot 34,4 = 75,89 \text{ (м)}$$

$$L_{max14} = (4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30))h = (4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(34,4 - 30)) \cdot 34,4 = 145,31 \text{ (м)}$$

$$L_{c41} = 2,25 \cdot h_3 = 56,59 \text{ (м)}$$

$$L_{max41} = 4,25 \cdot h_3 = 106,89 \text{ (м)}$$

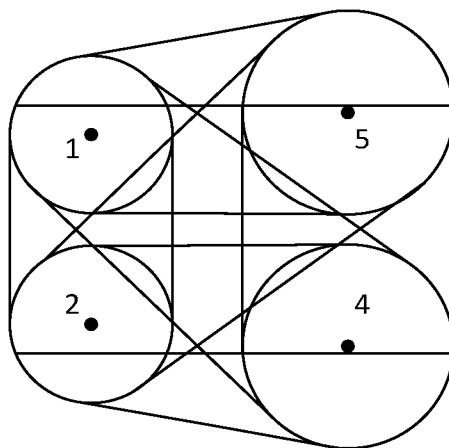


Рис 5.3 – Перетин зони захисту подвійного стрижневого блискавковідводу різної висоти

Висновки

У даній роботі проведено розрахунок електричної мережі, знайдено параметри схеми заміщення лінії та трансформаторів, було складено схему заміщення мережі та зроблений розрахунок нормального режиму замкнутої мережі.

У ході розрахунку електричної частини підстанції були вибрані: вимикачі в розподільних пристроях, трансформатори струму й напруги, ошиновка розподільних пристроїв, потужність і кількість силових трансформаторів та трансформаторів власних потреб.

Провівши розрахунок електромагнітних перехідних процесів визначено ударний струм трифазного КЗ та розрахунок періодичну складову струму короткого замикання.

В розрахунку релейного захисту було розраховано струми короткого замикання та було вибрано для захисту реле типу ДЗТ-11. Від пошкоджень всередині трансформатора використано газовий захист.

Для підстанції був проведений розрахунок блискавкозахисту, який виконаний у вигляді стрижневих блискавковідводів.

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

Список літератури

- 1 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.
- 2 Електричні системи та мережі: конспект лекцій / укладачі: І.Л. Лебединський, В.І. Романовський, Т.М. Загородня. – Суми: Сумський державний університет. 2018. – 214 с.
- 3 Идельчик В.И. Электрические системы и сети: - М.: Энергоатомиздат, 1989 – 592 с.
- 4 С.С. Ананичева Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Часть I энергетические системы и сети. – 2005. – 51 с.
- 5 Романюк Ю. Ф. Електричні системи та мережі. – К. : Знання, 2007. – 292 с.
- 6 Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. -М.: Энергоатомиздат, 1986 - 640 с.
- 7 Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.— 3- изд. - М.:Энергоатомиздат, 1987- 648 с.
- 8 Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 500 с
- 9 Правила улаштування електроустановок (зі змінами та доповненнями). К.: Форт, 2017- 760с.
- 10 Электротехнический справочник т.3, Ки.1. Производство, передача и распределение электрической энергии /Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г.Герасимова, П.Г.Грудинского и др. - 6-е изд.- М.:Энергоиздат, 1982 - 656 с.
- 11 Методичні вказівки та завдання до розрахунково-графічних робіт з курсу «Грозозахист і перенапряга в електричних мережах» / укладач М.В. Петровський. – Суми: Сумський державний університет, 2011 – 40 с.

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

12 Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 141–Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/Освітня програма «Електротехнічні системи електроспоживання»/ укладачі: І.Л. Лебединський, І.І. Борзенков –Суми: СумДУ, 2019. – 40 с.

					БР 3.6.141.275 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60