

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

«Реконструкція електричної частини ПС-110/35/10 кВ в с.м.т. Улянівка
Сумського РЕМ»

Спеціальність 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав
студент гр. ЕТ-71

_____ Ю.О. Бездідько

Керівник
к.ф.-м.н., доцент

_____ М.В. Петровський

Суми – 2021

РЕФЕРАТ

с 51, рис 9, табл. 18

Бібліографічний опис: Бездідько Ю.О. Реконструкція електричної частини ПС-110/35/10 кВ в с.м.т. Улянівка Сумського РЕМ : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавр; спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Ю.О. Бездідько; керівник М.В. Петровський. – Суми: СумДУ, 2021. – 51 с.

Ключові слова:

реконструкція, підстанція, трансформатор, захист, вимикач, шини, лінія, заземлення, блискавкозахист;

реконструкция, подстанция, трансформатор, защита, выключатель, шины, линия, заземления, молниезащита;

reconstruction, substation, transformer, protection, switch, bus, line, grounding, lightning protection..

Об'єкт дослідження: трансформаторна підстанція 110/35/10 кВ.

Короткий огляд.

Для підстанції вибрано силовий трансформатор відповідно до навантаження, розраховано струми короткого замикання, вибрано засоби обмеження струмів короткого замикання, вибрано шини для розподільчих пристроїв, вибрано електровимірювальні трансформатори струму та напруги, та трансформаторів власних потреб. Вибрано реле для захисту силового трансформатора. Розраховано зони захисту стрижневих блискавковідводів та заземлювального контуру.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ:

ПС – підстанція;

ТП – трансформаторна підстанція;

КЗ – коротке замикання;

ПЛ – повітряна лінія;

КТП – комплектна трансформаторна підстанція;

ЕУ - електроустановка;

ЛЕП – лінія електропередач;

ВРУ – відкрита розподільча установка;

ЗРУ – закрита розподільча установка;

КРП – комплексний розподільчий прилад;

МВ - масляний вимикач;

ВВ – вакуумний вимикач;

ТТ - трансформатор струму;

ТН - трансформатор напруги;

ТВН - трансформатор власних потреб;

ОПН – нелінійний обмежувач напруги;

ПЛ – повітряна лінія;

КЛ – кабельна лінія;

СПП – самонесучі ізольовані проводи;

ПУЕ – правила улаштування електроустановок;

РЕМ – районні електричні мережі;

ПЕМ – підприємство електричних мереж.

Зміст

ВСТУП	6
1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ І ФОРМУВАННЯ МЕРЕЖІ 110 кВ БІЛОПІЛЬСЬКОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ В РАЙОНІ РОЗМІЩЕННЯ ПС 110/35/10 кВ В С.М.Т УЛЯНІВКА	7
1.1 Електричні навантаження споживачів ПС 110/35/10 кВ в с.м.т Улянівка...	7
1.2 Характеристика існуючої схеми електропостачання споживачів в районі розміщення ПС 110/35/10 кВ в с.м.т Улянівка.....	7
2. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	8
3. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	10
4. ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОЇ АПАРАТУРИ	13
4.1 Вибір засобів обмеження струмів короткого замикання.....	13
4.2. Вибір ошиновки розподільних пристроїв.....	17
4.3. Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги.....	21
4.4 Вибір трансформатора власних потреб	28
5. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА.....	30
5.1 Розрахунок реактивного опору та струмів КЗ на шинах.....	30
5.2 Розрахунок подовжнього диференційного струмового захисту	33
5.3 Вибір уставок реле ДЗТ-11.....	35
5.4 Розрахунок максимального струмового захисту з комбінованим пуском по напрузі	38
6. РОЗРАХУНОК ЗОН ЗАХИСТУ СТРИЖНЕВИХ БЛИСКАВКОВІДВОДІВ.....	40
7. РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНОГО КОНТУРУ	44
ВИСНОВКИ	47
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	48
ДОДАТКИ.....	49

БР 3.6.141.321 ПЗ									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Реконструкція електричної частини ПС-110/35/10 кВ в с.м.т. Улянівка Сумського РЕМ Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів	
		Бездідько						5	51
		Петровський							
		Лебединський							
СумДУ гр. ЕТ-71/4-8									

ВСТУП

Підстанція 110 кВ Улянівка є одним з енерговузлів, що входять в системоутворюючу мережу Білопільської енергосистеми.

Реконструкція ПС 110 кВ Улянівка викликано необхідністю модернізації та заміни застарілого електрообладнання та автоматики.

У даній роботі розглядаються такі можливості посилення надійності схеми електропостачання:

- 1) Установка вакуумних вимикачів на стороні 10 кВ;
- 2) Установка вакуумних вимикачів на стороні 110 кВ;
- 3) Заміна розрядників, на більш сучасні, обмежувачі перенапруги нелінійні.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ І ФОРМУВАННЯ МЕРЕЖІ 110 кВ БІЛОПІЛЬСЬКОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ В РАЙОНІ РОЗМІЩЕННЯ ПС 110/35/10 кВ В С.М.Т УЛЯНІВКА

1.1 Електричні навантаження споживачів ПС 110/35/10 кВ в с.м.т Улянівка.

Електричні навантаження є вихідними даними для вирішення складного комплексу технічних і економічних завдань. Визначення електричних навантажень становить перший етап проектування будь-якої системи електропостачання і проводиться з метою вибору і перевірки струмоведучих елементів (шин, проводів), силових трансформаторів, захисних пристроїв і т.д.

1.2. Характеристика існуючої схеми електропостачання споживачів в районі розміщення ПС 110/35/10 кВ в с.м.т Улянівка.

ПС 110/35/10 кВ в с.м.т Улянівка введена в експлуатацію в 1967 році. Підключена до енергосистеми шляхом спорудження ПЛ 110 кВ Білопільська-1 і ПЛ 110 кВ Білопільська-2 і призначена для електропостачання споживачів як побутового так і сільськогосподарського сектора, а також ряду адміністративних установ с.м.т. Улянівка.

Напруга на введення трансформаторів подається за двома взаєморезервуючими лініями: Білопільська -1 і Білопільська -2. Така схема дозволяє робити почерговий ремонт вимикачів без відключення споживачів.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

2. ВИБІР ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Таблиця 1 – Вихідні дані

$P_{НОМ.НАВ},$ МВт	$\cos \varphi$	XL1, Ом	XL2, Ом	Скз.С, МВА
3,7	0,89	20	15	1900

Таблиця 2 - Навантаження в % від потужності

Години	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
% від $S_{НОМ}$	45	45	60	95	95	75	75	100	95	125	135	110

Знаходимо номінальну потужність трансформатора

$$S_{нож} = \frac{P_{НОМ}}{\cos \varphi} = \frac{3,7}{0,89} = 4,16 \text{ (МВА)}$$

Знаходимо $S_{тр}$

$$S_{тр} = \frac{S_{НОМ}}{1,4} = 2,97 \text{ (МВА)}$$

Обираємо відповідно до номіналу потужність трансформатора

$$S_{НОМ} = 6,3 \text{ (МВА)}$$

Знаходимо навантаження в кожній годині за формулою:

$$S_n = \frac{S_{НОМ} \cdot \%}{100}$$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Таблиця 3 – Навантаження в МВА

Години	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Навантаження, МВА	1,9	1,9	2,5	3,9	3,9	3,1	3,1	4,2	3,9	4,6	5,6	4,6

Побудуємо графік навантаження.

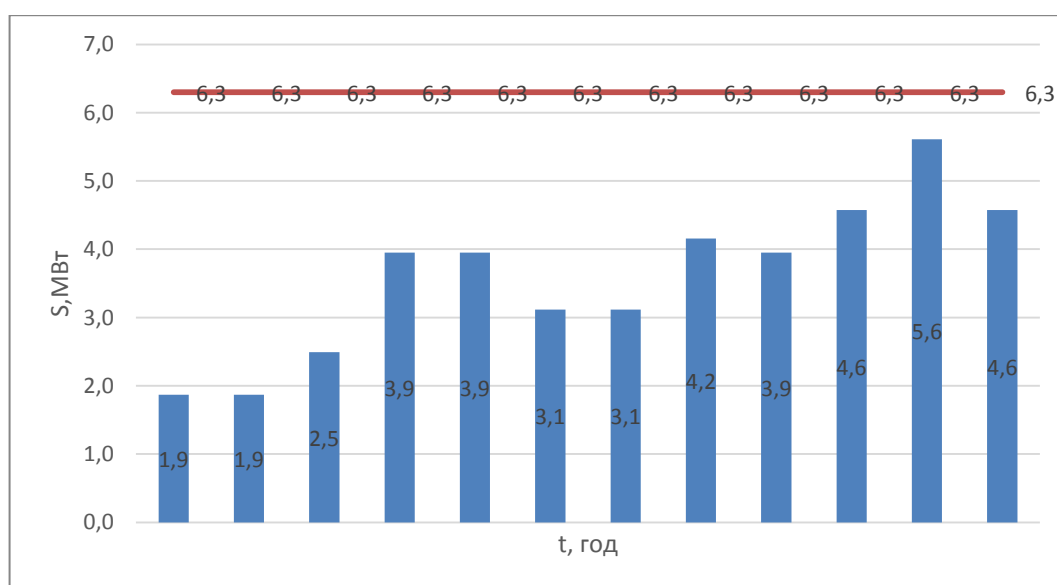


Рисунок 1 - Графік навантаження

З графіка видно що часу перевантаження трансформатора немає, тому перевірку правильності вибору трансформатора не робимо.

Вибираємо трансформатор ТМТН-6300/110-У1

3. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Значення струмів короткого замикання необхідні для правильного вибору устаткування на стороні 110 кВ і 10 кВ.

Розрахунок струмів короткого замикання виконаємо в іменованих одиницях. Потужність короткого замикання на шинах 110 кВ центра живлення складає $S_c = 1900 \text{ МВА}$

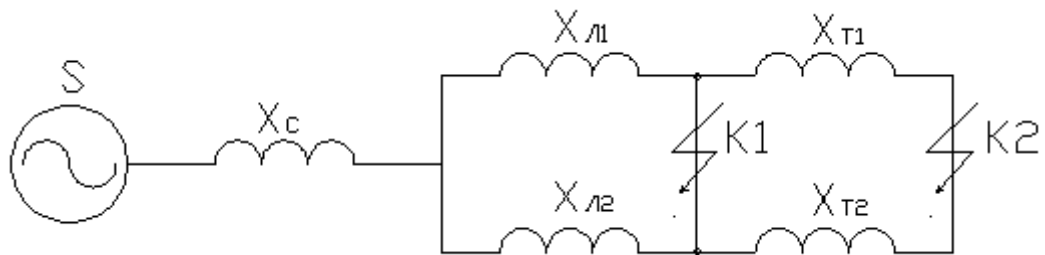


Рисунок 2 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Опір системи дорівнює

$$X_c = \frac{U_{л}^2}{S_c} = \frac{110^2}{1900} = 6,37 \text{ (Ом)}.$$

Загальний опір працюючих ліній

$$X_{л} = \frac{X_{л1} \cdot X_{л2}}{X_{л1} + X_{л2}} = \frac{20 \cdot 15}{20 + 15} = 8,57 \text{ Ом}.$$

Розрахуємо опір трансформатора:

Потужність трансформатора $S_T = 6,3 \text{ (МВА)}$;

Опір трансформатора

$$X_{T1} = \frac{U_K \% \cdot U_H^2}{100 \cdot S_H} = \frac{10,5 \cdot 110^2 \cdot 10^6}{100 \cdot 6,3 \cdot 10^6} = 201,66 \text{ (Ом)};$$

Опір трансформаторів

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						10
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_T = \frac{X_{T1}}{2} = \frac{201,66}{2} = 100,83 \text{ Ом.}$$

Періодична складова СКЗ у точці K_1 :

$$I_{K1} = \frac{U_{Л}}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{Л})} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot (6,37 + 8,57)} = 4,25 \text{ (кА)};$$

та сама у точці K_2 приведена до напруги вищої сторони:

$$I_{K2}^B = \frac{U_{Л}}{\sqrt{3} \cdot (X_C + X_{Л} + X_T)} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot (6,37 + 8,57 + 100,83)} = 548,56 \text{ (А)}.$$

Реальний СКЗ у точці K_2 :

$$I_{K2} = I_{K2}^B \cdot \frac{110}{10} = 0,548 \cdot \frac{110}{10} = 6,03 \text{ (кА)}.$$

Ударний струм:

у точці K_1

$$I_y = \sqrt{2} \cdot 1,608 \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,608 \cdot 4,25 = 9,667 \text{ (кА)};$$

у точці K_2

$$I_y = \sqrt{2} \cdot 1,82 \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,82 \cdot 6,03 = 15,53 \text{ (кА)}.$$

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

$$I_{нт} = I_{K1} = 4,25 \text{ (кА)}$$

$$I_{нт} = I_{K2} = 6,03 \text{ (кА)}$$

Аперіодична складова СКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{Kn} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}},$$

де T_a – постійна часу загасання аперіодичної складової для K_1 ; $T_a=0,02$ с., $t=0,06$ с., для K_2 – $T_a=0,05$ с., $t=0,1$ с.

для K_1

$$i_a = \sqrt{2} \cdot 4,25 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,02}} = 0,299 \text{ (кА)};$$

для K_2

										Арк.
										11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$i_a = \sqrt{2} \cdot 6,03 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,05}} = 1,155 \text{ (кА)}.$$

Інтеграл Джоуля для К₁

$$B_{K1} = I_{K1}^2 (t + T_a) = 4,25^2 \cdot (0,06 + 0,02) = 1,445 \text{ (кА}^2\text{с)}$$

для К₂

$$B_{K2} = I_{K2}^2 (t + T_a) = 6,03^2 \cdot (0,1 + 0,05) = 5,46 \text{ (кА}^2\text{с)}$$

Таблиця 4 – Значення струмів короткого замикання

Струми короткого замикання	СКЗ у початковий момент часу, кА	Ударний СКЗ i_y , кА	СКЗ у момент розмикання контактів вимикача, кА	Аперіод. складова СКЗ, i_a кА	Інтеграл Джоуля B_k , $\text{кА}^2\text{с}$
Шини 110 кВ (К ₁)	4,25	9,667	4,251	0,299	1,446
Шини 10 кВ (К ₂)	6,03	15,53	6,03	1,155	5,462

4. ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОЇ АПАРАТУРИ

4.1 Вибір засобів обмеження струмів короткого замикання

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

Максимальний струм на зовнішньому боці

$$I_{\max}^{BH} = \frac{1,4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}}$$

$$I_{\max}^{BH} = \frac{1,4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{1,4 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 110} = 46,29 \text{ А.}$$

Струм у колі вступних вимикачів на боці 10 кВ

$$I_{\max}^{HH} = \frac{1,4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}$$

$$I_{\max}^{HH} = \frac{1,4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{1,4 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 10} = 509 \text{ А.}$$

Струм у колі секційного вимикача

$$I_{\max}^{CB} = \frac{1,4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH} \cdot 2}$$

$$I_{\max}^{CB} = \frac{0,7 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{0,7 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 10} = 254,6 \text{ А.}$$

Струм у колі лінії, що відходить

$$I_{\max}^{LB} = \frac{1,4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH} \cdot 10}$$

$$I_{10}^{omx} = \frac{1,4 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH} \cdot 10} = \frac{1,4 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10} = 50,9 \text{ А.}$$

Вибираємо вимикачі на боці вищої напруги.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						13
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5- Вибір вимикача на боці 110 кВ

Умова Вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	46,29 А	3150 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	4,25 кА	40 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	9,67 кА	102 кА
$I_{нт} \leq I_{ОткНом}$	4,25 кА	40 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	0,299 кА	9,2 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,44 кА ² ·с	4800 кА ² ·с

Обираємо вимикач типу ВРС - 110-40/3150У2.

Обраний вимикач цілком задовольняє умови вибору.

Таблиця 6 - Вибір вимикачів у колі трансформатора на боці 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	509 А	1600 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	6,03 кА	20 кА
$I_{уд} \leq I_{СКВ}$	15,53 кА	52 кА
$I_{нт} \leq I_{ОткНом}$	6,03 кА	20 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	1,155 кА	8 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	5,46 кА ² ·с	1200 кА ² ·с

Обираємо вимикач типу ВР2-20/1600У2

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Обраний вимикач цілком задовольняє умови вибору.

Таблиця 7 - Вибір секційного вимикача на боці 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	254,6 А	1250 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	6,03 кА	20 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	15,53 кА	52 кА
$I_{нт} \leq I_{ОткНом}$	6,03 кА	20 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	1,155 кА	8 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	5,46 кА ² ·с	1200 кА ² ·с

Попередньо обираємо вимикач типу ВР1-20/1250У2.

Таблиця 8 - Вибір вимикачів на лінію, що відходить, 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	509 А	1000 А
$I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$	6,03 кА	20 кА
$i_y \leq I_{прСКВ}$	15,53 кА	52 кА
$I_{нт} \leq I_{ОткНом}$	6,03 кА	20 кА
$I_{ат} \leq I_{аном}$	1,155 кА	8 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	5,46 кА ² ·с	1200 кА ² ·с

На лінію, що відходить, встановлюємо вимикач ВРС-10-20/1000У2.

У таблиці 9 наведений вибір роз'єднувачів на боці 110 кВ, роз'єднувачі необхідні з одним і двома комплектами ножів, що заземлюють.

Таблиця 9 - Вибір роз'єднувачів 110 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	46,29 А	630 А
$i_{уд} \leq I_{прСКВ}$	9,67 кА	100 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,45 кА ² ·с	4800 кА ² ·с

Обираємо до установки на боці 110 кВ роз'єднувачі типу РНДЗ-110/630 Т1.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

4.2. Вибір ошиновки розподільних пристроїв

В РУ 110 кВ застосовують гнучкі шини, які виконуються сталевалюмінієвими проводами марки АС.

1) Вибираються ці шини за економічною щільністю струму.

$$q_{\min} = \frac{I_{\text{прив}}}{j_e}$$

j_e - економічна щільність струму

$j_e = 1,1$ - для неізолюваних алюмінієвих проводів (при $T_{\text{нб}} = 3000 - 5000$ год - час використання найбільшого навантаження)

$$q_{\min} = \frac{46,29}{1,1} = 42,08 \text{ мм}^2$$

Можемо обрати провід АС 120/19 найближчий до розрахованого.

2) Вибраний переріз перевіряється за допустимим струмом

$$I_{\max} = 46,29 \text{ А}$$

$$I_{\text{дон}} = 390 \text{ А}$$

3) Вибраний переріз гнучких шин перевіряється на термічну стійкість при КЗ.

$$q_{\min} \leq q_{\text{розрах}}$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{1,45}}{91 \cdot 10^{-3}} = 13,21 \text{ мм}^2 ,$$

$$\text{де } C = 91 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кАс}^{-1/2}}{\text{мм}^2} .$$

Умова виконується $13,21 \leq 120$.

4) Перевірку вибраних шин на електродинамічну стійкість при КЗ для гнучких шин не проводимо, так як повинна виконуватися умова: $I_{\text{кз}} > 20 \text{ кА}$, а за нашими розрахунками $I_{\text{кз}} = 4,25 \text{ кА}$ - отже умова не виконується.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						17
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5) Виконуємо перевірку за умовами коронування. Переріз проводів для напруг 110 кВ за умовами корони повинен бути не менше 120 мм^2 , тому провід АС 120/19 задовольняє умову.

1) В РУ 10 кВ застосовують жорсткі шини, які перевіряються по нагріву, щоб температура провідника не перевищувала припустимого значення необхідно, щоб виконувалася нерівність:

$$I_{\text{раб.нб}} \leq I_{\text{дон}}$$

$$I_{\text{раб.нб}} = 509 \text{ А}$$

По $I_{\text{раб.нб}}$ вибираємо алюмінієві шини прямокутного перерізу 40×5 з двома смугами на фазу, для цих шин $I_{\text{дон ном}} = 540 \text{ А}$.

$I_{\text{раб.нб}}$ - максимальний струм в після аварійному та нормальному режимах.

$I_{\text{дон}}$ - максимальний допустимий струм шин вибраного перерізу.

k_n - поправочний коефіцієнт на струм при розрахованій температурі середовища (умовна температура середовища 25°C , нормована температура жил 70°C і температурі середовища 20°C).

$$I_{\text{дон}} = I_{\text{дон ном}} \cdot k_n = 540 \cdot 1,05 = 567 \text{ А}$$

$509 \text{ А} \leq 567 \text{ А}$, тобто нерівність виконується.

2) Жорсткі шини повинні перевірятися на термічну стійкість при КЗ.

$$q \geq q_{\text{min}}$$

q_{min} - мінімальний переріз за термічною стійкістю.

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{5,46}}{91 \cdot 10^{-3}} = 25,68 \text{ мм}^2$$

3) Вибрані шини, у загальному випадку, необхідно перевірити також на електродинамічну стійкість. Жорсткі 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.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Частота власних коливань шинної конструкції

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{\gamma}{q}},$$

де l - довжина прольоту між ізоляторами $l=1,5$ м;

γ - момент інерції поперечного перерізу шини щодо осі, перпендикулярної до напрямку згинаючої сили, $см^4$;

q - поперечний переріз шини, $см^2$.

$$\gamma = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,5 \cdot 4^3}{12} = 2,66 \text{ см}^4$$

b - товщина шини, см;

h - ширина шини, см.

$$f_0 = \frac{173,2}{1,5^2} \sqrt{\frac{\gamma}{q}} = \frac{173,2}{1,5^2} \sqrt{\frac{2,66}{0,5 \cdot 4}} = 44,44 \text{ Гц}$$

4) Перевірка шини на міцність

$$f_c = 0,25 \cdot 10^{-7} \cdot k_\phi \cdot \frac{i_{y0}^2}{b};$$

f_c - сила взаємодії між смугами

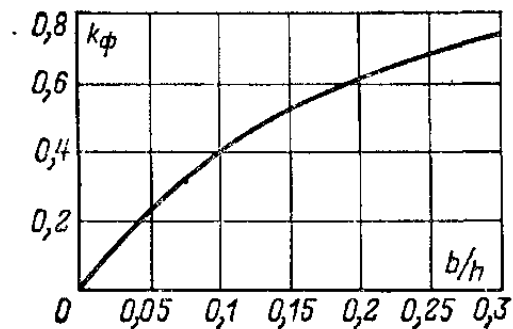


Рисунок 2 - Криві для визначення коефіцієнта k_ϕ для двосмугових шин

k_ϕ - коефіцієнт форми шин, що враховує вплив поперечних розмірів провідника на сили взаємодії. За рисунком 2 Визначаємо k_ϕ , який дорівнює

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

0,5, так як

$$\left(\frac{b}{h} = \frac{0,5}{4} = 0,125\right)$$

Тоді

$$f_c = 0,25 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5 \cdot \frac{15531,13^2}{0,5} = 6,03 \left(\frac{H}{м}\right)$$

Механічна напруга між смугами

$$\sigma_c = \frac{f_c l_n^2}{12 \cdot W_c} = \frac{6,03 \cdot 4,01^2}{12 \cdot 2,66} = 3,04 \text{ (МПа)}$$

$$l_n = 0,216 \cdot \sqrt{\frac{a_c}{i_{y\phi}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot J_c}{k_\phi}} = 0,216 \cdot \sqrt{\frac{0,01}{15531,13}} \cdot \sqrt[4]{\frac{10 \cdot 11^{10} \cdot 144}{0,5}} = 4,01 \text{ (м)}$$

$$a_c = 2b = 2 \cdot 0,5 / 100 = 0,01 \text{ (м)}$$

$$W_c = \frac{bh^2}{3} = \frac{0,5 \cdot 4^2}{3} = 2,66 \text{ (см}^3\text{)}$$

W_c - момент опору між смугами.

Механічна напруга між фазами

$$\sigma_\phi = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{y\phi}^2 \cdot l^2}{W_\phi \cdot a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(15531,13)^2 \cdot 1,5^2}{21,33 \cdot 0,5} = 1,88 \text{ МПа}$$

$$W_\phi = \frac{bh^4}{6} = \frac{0,5 \cdot 4^4}{6} = 21,33 \text{ (см}^3\text{)}$$

$a = 0,5$ м - відстань між фазами

$\sigma_{розр} = \sigma_c + \sigma_\phi \leq \sigma_{дон}$ - умова механічної міцності шини.

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

$\sigma_{дон} = 75$ МПа - допустима механічна напруга в матеріалі шин для алюмінієвого сплаву.

$$\sigma_{розр} = (3,04 + 1,88) \cdot 10^6 \leq 75 \cdot 10^6$$

Умова механічної міцності двосмугової шини виконується.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

4.3 Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги

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

У ланцюзі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюється амперметр, вольтметр, варметр, лічильники активної і реактивної енергії, на шинах 110 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 11.

Таблиця 11 – Вторинне навантаження трансформаторів струму

Прилад	Клас	Навантаження по фазах		
		А	У	З
Амперметр	1	0,5	0,5	0,5
Ватметр	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
Сумарне навантаження струму в колі силового тр-ра з боку НН		6,5	0,5	6,5

Продовження таблиці 10 - Вторинне навантаження трансформаторів струму

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

Вибір трансформаторів струму наведений у таблицях 11-13.

Таблиця 11 - Вибір трансформатора струму в колі силового трансформатора на боці вищої напруги

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	46,29 А	200 А
$i_y \leq I_{прСКВ}$	9,66 кА	-
$B_K \leq I_T^2 t_r$	1,44 кА ² ·с	192 кА ² ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	0,82 Ом	1,2 Ом

Обираємо трансформатор струму ТФНД-110/200/5

Для перевірки за вторинним навантаженням визначаємо опір приладів

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						22
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

де: $Z_{\text{ном}}$ - номінальний опір навантаження, Ом;

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

$Z_{\text{к}}$ - опір контактів, Ом.

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

Перетин сполучних проводів за умовами механічної міцності повинний бути не менше ніж $2,5 \text{ мм}^2$ для мідних жил.

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

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{F},$$

де: ρ - питомий опір міді, $0,0175, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$,

F - перетин жил, мм^2 ,

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

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 $1,2 \text{ Ом}$, припустимих при роботі трансформатора в класі точності $0,5$.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 12 – Вибір трансформатора струму у колі силового трансформатора на боці нижчої напруги

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	509 А	600 А
$i_y \leq i_{дин}$	15,53 кА	128 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	5,46 кА ² ·с	360 кА ² ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	0,403 Ом	0,8 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 не більше ніж розрахований за формулою:

$$Z_{np} = Z_{ном} - Z_{прил} - Z_K,$$

де: $Z_{ном}$ - номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{прил}$ - опір приладів, Ом;

Z_K - опір контактів, Ом.

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

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

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

$$Z_{np} = \rho \frac{l}{F},$$

де: ρ - питомий опір алюмінію, $0,0283, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$,

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

F - перетин жил, $мм^2$,

$$Z_{np} = \frac{0,0283 \cdot 40}{4} = 0,283 \text{ Ом.}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_H = Z_{прил} + Z_K + Z_{np} = 0,02 + 0,1 + 0,283 = 0,403 \text{ Ом,}$$

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

Вибираємо трансформатор ТВЛМ-10. Цей трансформатор струму відповідає умовам вибору.

Таблиця 13 – Вибір трансформатора струму на лінії, що відходить

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	509 А	1000 А
$i_y \leq i_{дин}$	15,53 кА	51 кА
$B_K \leq I_T^2 t_r$	5,46 кА ² ·с	4800 кА ² ·с
$Z_H \leq Z_{H.ном}$	0,403 Ом	0,8 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 не більше ніж розрахований за формулою:

$$Z_{np} = Z_{ном} - Z_{прил} - Z_K,$$

де: $Z_{ном}$ - номінальний опір навантаження, Ом;

$Z_{прил}$ - опір приладів, Ом;

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Z_K - опір контактів, Ом.

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

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

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

$$Z_{np} = \rho \frac{l}{F},$$

де: ρ - питомий опір алюмінію, $0,0283, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}}{\text{м}}$,

F - перетин жил, мм^2 ,

$$Z_{np} = \frac{0,0283 \cdot 40}{4} = 0,283 \text{ Ом.}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_H = Z_{npил} + Z_K + Z_{np} = 0,02 + 0,1 + 0,283 = 0,403 \text{ Ом,}$$

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

Вибираємо трансформатор ТЛМ-10. Цей трансформатор струму відповідає умовам вибору.

Обираємо трансформатори напруги за заданими значеннями напруги та за потужністю.

На боці високої напруги (110 кВ) обираємо трансформатори ЗНОМ-110, на боці 10 кВ – ЗНОМ-10.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 14 - Трансформатори напруги

Тип	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	
ЗНОМ-110	110/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	-	400	600	1200	2000
ЗНОМ-10	10	100	-	-	75	150	300	630

4.4 Вибір трансформатора власних потреб

Споживачами власних потреб є оперативні ланцюги, системи охолодження силових трансформаторів, освітлення, електроопалення і та ін.

Таблиця 15 – Розрахунок потужності приймача власних потреб

Види споживачів	Встановлена потужність		cos φ	tg φ	Навантаження	
	одиниці, кВт*к-сть	Всього, кВт			P, кВт	Q, кВАр
Охолод. ТМТН-6300/110	2,5*2	5	0,89	0,51	5	2,56
Підігрів вимикачів на напрузі 110 кВ	3*1,8	5,4	1	0	5,4	0
Підігрів приводів роз'єднувачів, відділювачів, короткозамикачів	10*0,6	6	1	0	6	0
Опалення, освітлення, вентиляція закритого РП	1	5	1	0	5	0
Освітлення РП	1	2	1	0	2	0
Всього					23,4	2,56

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

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

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

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

Оскільки

$$S_{роз} = k_c \sqrt{P^2 + Q^2} = 0,8 \sqrt{23,4^2 + 2,56^2} = 18,83 \text{ кВА},$$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

тому беремо потужність трансформатора власних потреб такою, що дорівнює 18,83 кВА.

Приймаємо два трансформатора ТСН-63/10. При відключенні одного трансформатора другий буде навантажений на $18,83/63 = 0,3$, що допустимо.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

**5. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗАХИСТУ
ТРАНСФОРМАТОРІВ**

5.1 Розрахунок реактивного опору та струмів КЗ на шинах

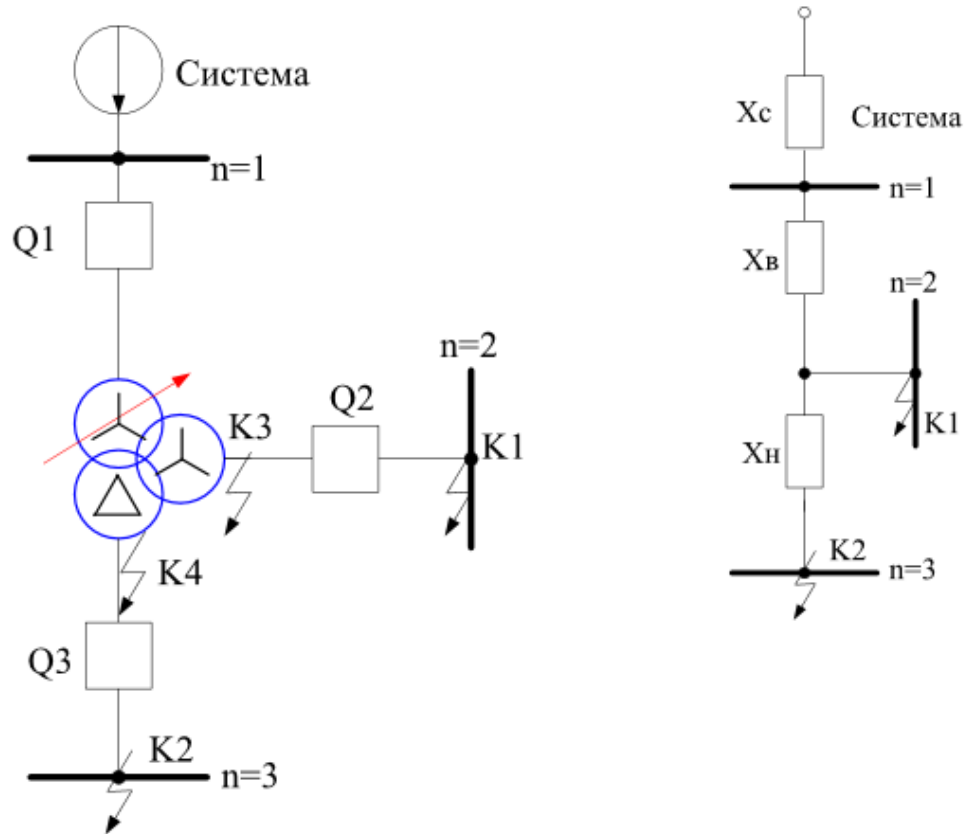


Рисунок 3 - Схема захисту трансформатора

Необхідно розрахувати релейний захист трансформатора ТМТН-6300/110, який має наступні характеристики:

$$S_{\text{ном.}} = 6,3 \cdot 10^6 \text{ ВА};$$

$$U_{\text{ном.В}} = 115 \cdot 10^3 \text{ В};$$

$$U_{\text{ном.С}} = 38,5 \cdot 10^3 \text{ В};$$

$$U_{\text{ном.Н}} = 11 \cdot 10^3 \text{ В};$$

$$U_{\text{В-С}} = 10,5\%;$$

$$U_{\text{В-Н}} = 17\%$$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$U_{C-H} = 6\%$$

$$I_x = 0.3\%;$$

$$\Delta P_{к.} = 390 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_{x.x.} = 82 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

$$X_{C.\text{макс}} = 12 \text{ Ом}$$

$$X_{C.\text{мин}} = 18 \text{ Ом}$$

Розрахуємо реактивний опір трансформатора:

$$U_{к.в} = (U_{к.в-с} + U_{к.в-н} - U_{к.с-н})/2 = 10,75$$

$$U_{к.с} = (U_{к.в-с} - U_{к.в-н} + U_{к.с-н})/2 = 0$$

$$U_{к.н} = (-U_{к.в-с} + U_{к.в-н} + U_{к.с-н})/2 = 6,25$$

$$X_{ТВ} = \frac{U_{кВ}}{100} \frac{U_{\text{НОМ.В.}}^2}{S_{\text{НОМ}}} = 225,66 \text{ Ом}$$

$$X_{ТС} = \frac{U_{кН}}{100} \frac{U_{\text{НОМ.Н.}}^2}{S_{\text{НОМ}}} \approx 0 \text{ Ом}$$

$$X_{ТН} = \frac{U_{кН}}{100} \frac{U_{\text{НОМ.Н.}}^2}{S_{\text{НОМ}}} = 131,2 \text{ Ом}$$

При розрахунку струмів КЗ трансформаторів з РПН необхідно врахувати зміну опору за рахунок регулювання напруги.

$$x_{т.\text{мин}} = x_{т.\text{ном}} (1 - \Delta U)^2; \quad x_{т.\text{макс}} = x_{т.\text{ном}} (1 + \Delta U)^2,$$

звідси маємо:

$$x_{В.\text{мин}} = 225,66 (1 - 0,12)^2 = 174,76 \text{ Ом};$$

$$x_{В.\text{макс}} = 225,66 (1 + 0,12)^2 = 283,07 \text{ Ом}.$$

$$x_{Н.\text{мин}} = 131,2 (1 - 0,12)^2 = 101,6 \text{ Ом}$$

$$x_{Н.\text{макс}} = 131,2 (1 + 0,12)^2 = 164,58 \text{ Ом}$$

Струм КЗ на шинах СН (точка К1) становить:

$$I_{кС.\text{макс}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3}(x_{с.\text{макс}} + x_{в.\text{мин}})} = 355,52 \text{ А}.$$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$I_{\text{КС.мин}}^{(2)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{2(x_{\text{С.мин}} + x_{\text{В.макс}})} = 190,98 \text{ А.}$$

Струм КЗ на шинах НН (точка К2) становить:

$$I_{\text{КН.макс}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3}(x_{\text{С.макс}} + x_{\text{В.мин}} + x_{\text{Н.мин}})} = 230,25 \text{ А}$$

$$I_{\text{КН.мин}}^{(2)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{2(x_{\text{С.макс}} + x_{\text{В.макс}} + x_{\text{Н.макс}})} = 123,48 \text{ А}$$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						32
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Розрахунок подовжнього диференційного струмового захисту

Таблиця 16. Розрахунок первинних і вторинних струмів сторін трансформатора.

Параметри	I-ВН-115 кВ	II-СН-38,5 кВ	III-НН-11 кВ
$I_{\text{НОМН}}, \text{ A}$	$\frac{6300}{(\sqrt{3} \cdot 115)} = 31,63$	$\frac{6300}{(\sqrt{3} \cdot 38,5)} = 94,48$	$\frac{6300}{(\sqrt{3} \cdot 11)} = 330,66$
K_{In}	75/5	200/5	400/5
Схема з'єднання ТТ	трикутник	трикутник	зірка
$I_{\text{В.НОМН}}, \text{ A}$	$\frac{31,63 \cdot \sqrt{3}}{75/5} = 3,652$	$\frac{94,48 \cdot \sqrt{3}}{200/5} = 4,091$	$\frac{330,66 \cdot 1}{400/5} = 4,133$

1) Струм спрацювання захисту визначається по більшому із двох значень:

а) Відстройка від кидка струму намагнічування

$$I_{\text{с.з.нам}} = k_{\text{отс}} I_{\text{НОМ}} = 1,3 \cdot 31,63 = 41,12 \text{ A}$$

$$\text{де } I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} U_{\text{ср.НОМ}}} = 31,63 \text{ A}$$

б) Відстройка від струму небалансу

$$I_{\text{с.з.неб}} = k_3 (k_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta U_I + \Delta U_{II}) I_{\text{КС.макс}}^{(3)} = 1,3 (1,0 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,05) 355,52 = 124,79 \text{ A}$$

Приймаємо значення

$$I_{\text{с.з.неб}} = 124,79 \text{ A}$$

Проводимо перевірку на чутливість захисту по первинним струмам при двухфазному КЗ на шинах НН (точка К4):

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кН.мин}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.неб}}} = \frac{123,48}{124,79} = 0,99 < 2$$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

З розрахунку видно, що реле типу РНТ не може забезпечити необхідної чутливості захисту. Тому для перевірки на чутливість візьмемо наступне реле типу ДЗТ-11.

Вибираємо струм спрацювання захисту:

а) Відстройка від кидка струму намагнічування

$$I_{с.з.нам} = k_{отс} I_{ном} = 1,5 \cdot 31,63 = 47,44 \text{ А}$$

б) Відстройка від струму небалансу при КЗ на шинах СН

$$I_{с.з.небс} = k_3 (k_{одн} \varepsilon + \Delta U_I + \Delta U_{II}) I_{кС.макс}^{(3)} = 1,5(1,0 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,05) 355,52 = 143,99 \text{ А}$$

в) Відстройка від струму небалансу при КЗ на шинах НН

$$I_{с.з.небн} = k_3 (k_{одн} \varepsilon + \Delta U_I) I_{кН.макс}^{(3)} = 1,5(1,0 \cdot 0,1 + 0,12) 230,25 = 75,98 \text{ А}$$

Приймаємо реле ДЗТ-11 зі встановленою гальмівною обмоткою по стороні СН. Тоді струм спрацювання захисту приймаємо більшим із значень а) та в)

$$I_{с.з} = 75,98 \text{ А}$$

Визначаємо коефіцієнт чутливості захисту реле при КЗ на шинах НН

$$k_{ч} = \frac{I_{кН.мин}^{(2)}}{I_{с.з}} = \frac{123,48}{75,98} = 1,63 < 2 \text{ не відповідає умові чутливості}$$

Розрахуємо коефіцієнт чутливості при номінальному коефіцієнті трансформації трансформатора

$$I_{к.мин}^{(2)} = \frac{115 \cdot 10^3}{2(18 + 225,66 + 131,2)} = 153,39 \text{ А}$$

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мин}^{(2)}}{I_{с.з}} = \frac{153,39}{75,98} = 2,02$$

відповідає умові чутливості.

Тому захист з реле ДЗТ-11 може бути застосований

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Вибір уставок реле ДЗТ-11

В якості основної слід взяти сторону НН (11 кВ), що має більший вторинний номінальний струм.

Струм спрацьовування реле для основної сторони визначається за виразом:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{с.з}} \cdot k_{\text{сх}} \cdot \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{ном}}}}{K_T} = \frac{75,98 \cdot 1 \cdot \frac{115}{11}}{400/5} = 9,93 \text{ A}$$

Розрахункове число витків робочої обмотки для основної сторони:

$$W_{\text{осн.расч}} = \frac{F_{\text{ср}}}{I_{\text{ср.осн}}} = \frac{100}{9,93} = 10,07$$

Приймається $W_{\text{раб.осн}} = 10$ витків, що відповідає фактичному струму спрацювання реле:

$$I_{\text{с.р.осн}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

Розрахункові числа витків для інших сторін трансформатора:
для сторони 115 кВ

$$W_{\text{расчI}} = 10 \cdot \frac{4,133}{3,6528} = 11,32$$

для сторони 35 кВ

$$W_{\text{расчII}} = 10 \cdot \frac{4,133}{4,091} = 10,1$$

Уточнений струм спрацьовування захисту з урахуванням похибки вирівнювання:

$$\begin{aligned} I_{\text{с.з}} &= k_3 \cdot (k_{\text{одн}} \cdot \varepsilon + \Delta U_I + \Delta \omega_I) \cdot I_{\text{к.макс(К2)}} \\ &= 1,5 \cdot (1 \cdot 0,1 + 0,12 + 0,028) \cdot 230,25 = 85,67 \text{ A} \end{aligned}$$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$\Delta\omega_I = \left| \frac{W_{\text{расчI}} - W_I}{W_{\text{расчI}}} \right| = \left| \frac{11,32 - 11}{11,32} \right| = 0,028$$

Уточнений розрахунковий струм спрацьовування реле:

$$I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{с.з}} \cdot k_{\text{сх}} \cdot \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{\text{ном}}}}{K_T} = \frac{85,87 \cdot 1 \cdot \frac{115}{11}}{400/5} = 11,2 \text{ A}$$

Розрахунковий струм небалансу захисту при КЗ на стороні СН, де передбачено гальмування, з урахуванням похибки вирівнювання знаходиться за виразами:

$$I_{\text{нб.расч}} = k_3 \cdot (k_{\text{пер}} \cdot \varepsilon + \Delta U_I + \Delta U_{II} + \Delta\omega_{II}) \cdot I_{\text{к.макс(К1)}} = 149,46 \text{ A}$$

$$\Delta\omega_{II} = \left| \frac{W_{\text{расчII}} - W_{II}}{W_{\text{расчII}}} \right| = 0,01$$

Число витків гальмівний обмотки:

$$W_{\text{тор}} = \frac{k_3 \cdot I_{\text{нб.расч}} \cdot W_{II}}{I_{\text{к.макс(К1)}} \cdot \text{tg}\alpha} = \frac{1,5 \cdot 149,46 \cdot 10}{355,52 \cdot 0,75} = 8,4$$

Приймаємо 8 витків

Чутливість захисту визначається наближено по первинним струмах при розрахунковому КЗ на стороні НН для випадків мінімального і нормального регулювання трансформатора:

$$k_{\text{ч}} = \frac{123,48}{85,67} = 1,44$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{152,39}{85,67} = 1,79$$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						36
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

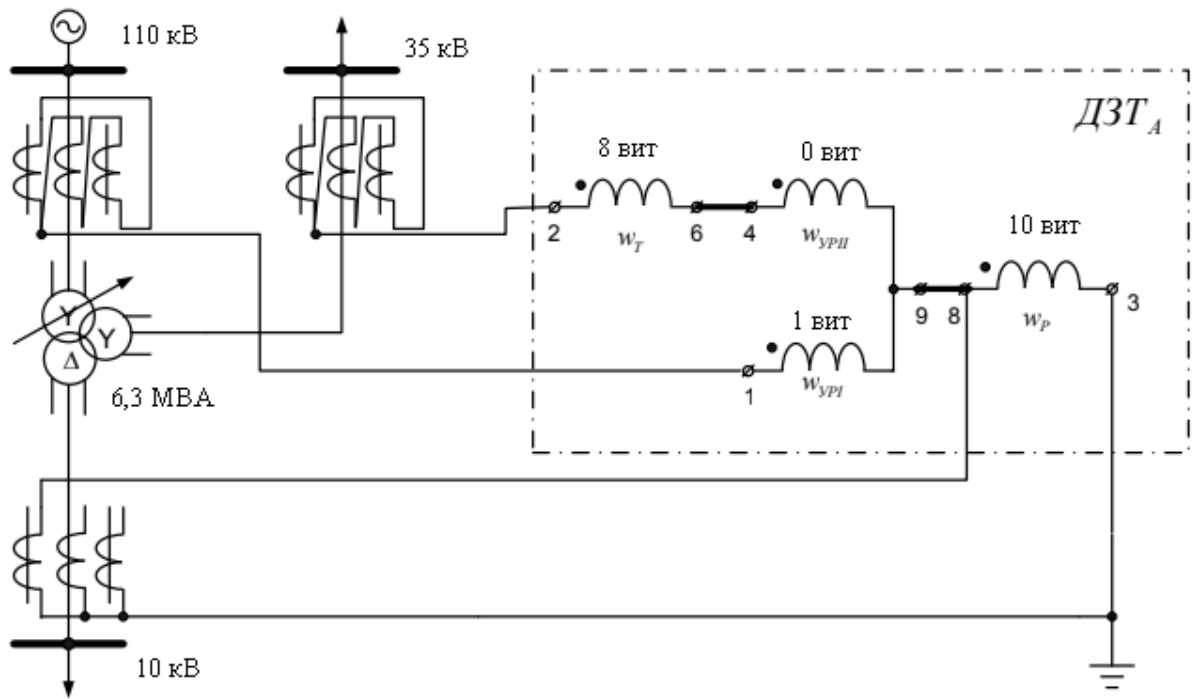


Рисунок 4 – Схема включення обмоток реле в диференційному захисті трьохобмоткового трансформатора

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 3.6.141.321 ПЗ

Арк.

37

5.4 Розрахунок максимального струмового захисту з комбінованим пуском по напрузі

Для трьохобмоткового трансформатора з одностороннім живленням в якості резервного захисту рекомендується установка на стороні живлення МТЗ з пуском або без пуску по напрузі.

Спочатку визначається струм спрацювання МТЗ без пуску по напрузі:

$$I_{c.з} = \frac{k_3}{k_B} * k_c * I_{нагр.макс} = 118,61 \text{ А}$$

Чутливість захисту перевіримо при КЗ на шинах СН та НН при мінімальних розрахункових режимах:

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мін (К1)}}{I_{c.з}} = \frac{190,98}{118,61} = 1,61$$

та

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мін (К2)}}{I_{c.з}} = \frac{123,48}{118,61} = 1,04$$

Оскільки чутливість МТЗ без пуску по напрузі є недостатньою, застосуємо блокування по напрузі зі сторін СН та НН трансформатора. В цьому випадку струм спрацювання захисту:

$$I_{c.з} = \frac{k_3}{k_B} * I_{ном} = \frac{1,2}{0,8} * 31,63 = 47,44 \text{ А}$$

Чутливість захисту в тих же точках складає:

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мін (К1)}}{I_{c.з}} = \frac{190,98}{47,44} = 4,03$$

та

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мін (К2)}}{I_{c.з}} = \frac{123,48}{47,44} = 2,6$$

Напруга спрацювання органу блокування при симетричному КЗ:

$$U_{c.з} \leq \frac{U_{c.мін}}{k_B} = \frac{0,7 * 115}{1,2} = 67,083 \text{ кВ}$$

Напруга спрацювання органу блокування при несиметричному КЗ:

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

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						38
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Чутливість блокуючих органів перевіряється при КЗ на приймаючих сторонах трансформатора, куди і підключені блокуючі реле

$$U_{к.зах} = 0, \text{ а } U_{2к.зах} = \frac{U_{\phi}}{2} = \frac{115}{2 * \sqrt{3}} = 33,198 \text{ кВ}$$

Тоді

$$k_{чU} = \frac{U_{с.з}}{U_{к.макс}} = \frac{67.083}{0} > 1.5$$

$$k_{чU} = \frac{U_{2к.макс}}{U_{2с.з}} = \frac{33.198}{6.9} = 4.8 > 1.5$$

Оскільки на приймаючих сторона трансформатора $k_{ч} > 1,5$, то диференціальні захисти шин на цих сторонах можна не встановлювати .

Струм спрацювання захисту від симетричного перевантаження, який діє на сигнал, визначається по умові відстойки від номінального струму трансформатора на стороні, де встановлений захист:

$$I_{с.з} = \frac{k_3}{k_B} * I_{т.ном} = \frac{1,05}{0,8} * 31,63 = 41,51 \text{ А}$$

Витримки часу МТЗ узгоджуються з витримками часу захисту ліній на сторонах СН та НН.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						39
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. РОЗРАХУНОК ЗОН ЗАХИСТУ СТРИЖНЕВИХ БЛИСКАВКОВІДВОДІВ

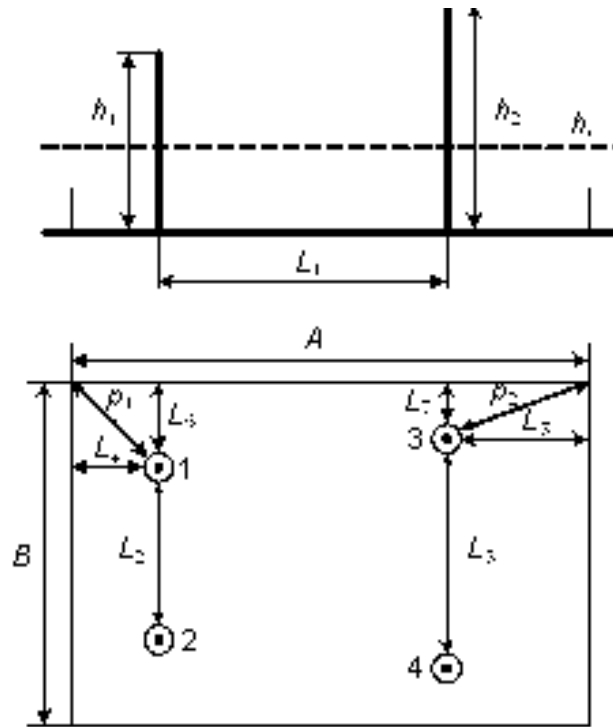


Рисунок 5 - Розміщення стрижневих блискавковідводів

Таблиця 17 - Параметри розрахунку:

A	B	L1	L2	L3	h₁	h₂	h₃	h₄	h_x
76	88	72	84	84	23	23	23	23	11

$P_3 = 0,999$, так як висоти блискавковідводів ≤ 30 м

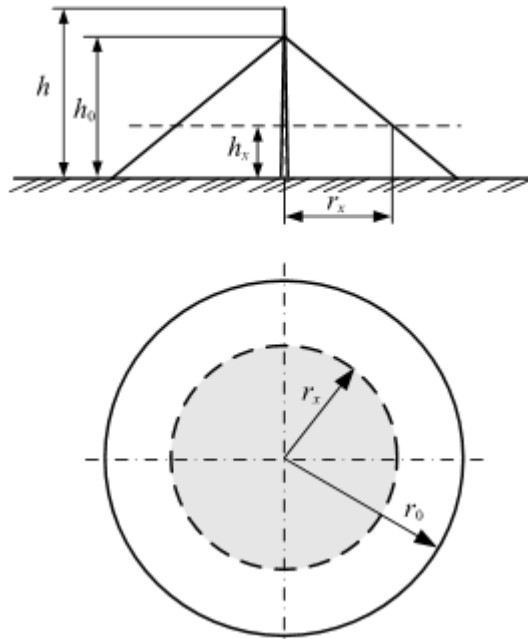


Рисунок 6 - Перетин зони захисту блискавковідводу

h – висота блискавковідводу;

Розрахуємо зону захисту блискавковідводів 1 та 2:

$$L_{12} = L_2 = 84 \text{ (м)}$$

$$r_{01} = r_{02} = 0,6 * h_1 = 13,8 \text{ (м)}$$

$$h_{01} = h_{02} = 0,7 * h_1 = 16,1 \text{ (м)}$$

$$r_{x1} = r_{x2} = \frac{r_{01} * (h_{01} - h_x)}{h_{01}} = 4,37 \text{ (м)}$$

$$L_{c12} = 2,25 * h_1 = 51,75 \text{ (м)}$$

$$L_{max12} = 4,25 * h_1 = 97,75 \text{ (м)}$$

$$h_{c12} = h_{01} = 16,1 \text{ (м)}$$

$$r_{cx12} = \frac{r_{01} * (h_{c12} - h_x)}{h_{c12}} = 4,37 \text{ (м)}$$

Розрахуємо зони захисту блискавковідводів 3 та 4:

$$L_{34} = L_3 = 84 \text{ (м)}$$

$$r_{03} = r_{04} = 0,6 * h_3 = 13,8 \text{ (м)}$$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$h_{03} = h_{04} = 0,7 * h_3 = 16,1 \text{ (м)}$$

$$r_{x3} = r_{x4} = \frac{r_{03} * (h_{03} - h_x)}{h_{03}} = 4,37 \text{ (м)}$$

$$L_{c34} = 2,25 * h_3 = 51,75 \text{ (м)}$$

$$L_{max34} = 4,25 * h_3 = 97,75 \text{ (м)}$$

$$h_{c34} = h_{03} = 16,1 \text{ (м)}$$

$$r_{cx34} = \frac{r_{03} * (h_{c34} - h_x)}{h_{c34}} = 4,37 \text{ (м)}$$

Перевіримо зони захисту між блискавковідводами 1 та 3 за умови, що висота $h_1 = 23 \text{ м}$

$$L_{c13} = 2,25 * h_1 = 51,75 \text{ (м)}$$

$$L_{max13} = 4,25 * h_1 = 97,75 \text{ (м)}$$

$$h_{c13} = h_{01} = 16,1 \text{ (м)}$$

Перевіримо зони захисту між блискавковідводами 1 та 3 за умови, що висота $h_3 = 23 \text{ м}$

$$L_{c31} = 2,25 * h_3 = 51,75 \text{ (м)}$$

$$L_{max31} = 4,25 * h_3 = 97,75 \text{ (м)}$$

$$h_{c31} = h_{03} = 16,1 \text{ (м)}$$

$$h_{cmin13} = \frac{h_{c13} + h_{c31}}{2} = 16,1 \text{ (м)}$$

$$r_{c013} = \frac{r_{01} + r_{03}}{2} = 13,8 \text{ (м)}$$

$$r_{c13} = \frac{r_{c013} * (h_{cmin13} - h_x)}{h_{cmin13}} = 4,37 \text{ (м)}$$

Визначимо параметри зони захисту між 1 та 4:

$$L_{14} = \sqrt{L_1^2 + \left(L_2 + \frac{L_3 - L_2}{2}\right)^2} = 110,635 \text{ (м)}$$

Розрахуємо зону захисту між блискавковідводами 1 та 4 за умови, що висота $h_1 = 23 \text{ м}$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$L_{c14} = 2,25 * h_1 = 51,75 \text{ (м)}$$

$$L_{max14} = 4,25 * h_1 = 97,75 \text{ (м)}$$

$$h_{c14} = h_{01} = 16,1 \text{ (м)}$$

Розрахуємо зону захисту між блискавковідводами 1 та 4 за умови, що висота $h_4 = 23 \text{ м}$

$$L_{c41} = 2,25 * h_4 = 51,75 \text{ (м)}$$

$$L_{max41} = 4,25 * h_4 = 97,75 \text{ (м)}$$

$$h_{c41} = h_{04} = 16,1 \text{ (м)}$$

Перевіримо зони захисту блискавковідводів 1 та 4 при спільній їхній дії:

$$h_{cmin14} = \frac{h_{c14} + h_{c41}}{2} = 16,1 \text{ (м)}$$

$$r_{c013} = \frac{r_{01} + r_{04}}{2} = 13,8 \text{ (м)}$$

$$r_{cx14} = \frac{r_{c014} * (h_{cmin14} - h_x)}{h_{cmin14}} = 4,37 \text{ (м)}$$

Визначимо відстані:

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

$$L_7 = \frac{B - L_3}{2} = 2 \text{ (м)}$$

$$P_1 = r_{x1} = 4,37 \text{ (м)}$$

$$P_2 = r_{x3} = 4,37 \text{ (м)}$$

$$L_4 = \sqrt{P_1^2 - L_6^2} = 3,887 \text{ (м)}$$

$$L_5 = \sqrt{P_2^2 - L_7^2} = 3,887 \text{ (м)}$$

Як бачимо P_1 більше за L_6 , а P_2 більше за L_7 , отже зони захисту блискавковідводів повністю перекривають ВРП – 110 кВ, і грозозахист відбувається.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

7. РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНОГО КОНТУРУ

Проведемо розрахунок заземлювального контуру відкритого розподільчого пристрою, який складається із сітки вертикальних електродів, об'єднаних горизонтальними смугами.

Таблиця 18 – Параметри розрахунку

а, м	в, м	$\rho_{\text{вим}}$, Ом * м	$n_{\text{тр}}$, шт.	$l_{\text{пр}}$, м	Тип тросу
76	88	50	2	150	С-50

а,в – ширина та довжина території ВРП;

$\rho_{\text{вим}}$ – вимірне значення питомого опору ґрунту;

$n_{\text{тр}}$ – кількість тросів на лінії;

$l_{\text{пр}}$ – довжина прольоту лінії.

Заземлювальний контур виконуємо у вигляді сітки з горизонтальних смуг із вертикальними електродами, розташованими у вузлах сітки та по її периметру.

Розрахуємо значення питомого опору ґрунту при сезонних змінах.

За табличними даними приймемо сезонний коефіцієнт рівний $K=1,4$ середньої вологості ґрунту.

$$\rho_{\text{розр}} = K * \rho_{\text{вим}} = 70 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$$

Розрахуємо опір системи трос-опора:

$$R_{\text{тр}} = \frac{r_{\text{тр}} * l_{\text{пр}}}{n_{\text{тр}}} = 0,278 \text{ Ом}$$

Де $r_{\text{тр}} = 3,7 \text{ Ом/км}$ – для тросу С-50

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір заземлення опори

При $\rho_{\text{розр}} \leq 100$; $R_{\text{оп}} \leq 10$

$$R_{\text{тр-оп}} = \sqrt{R_{\text{тр}} * R_{\text{оп}}} = 1,67 \text{ Ом}$$

Отриманий опір вважаємо опором заземлення природних заземлювачів ВРП

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{тр-оп}} = 1,67 \text{ Ом}$$

Визначимо допустимий опір штучного заземлення за наявності природних заземлювачів:

$$R_{\text{з}} = \frac{R_{\text{доп}} * R_{\text{пр}}}{R_{\text{пр}} - R_{\text{доп}}} = 0,714 \text{ Ом}$$

$R_{\text{доп}} = 0,5 \text{ Ом}$ – допустимий опір заземлення в мережах із заземленою нейтраллю.

Знаходимо опір заземлювального контуру ВРП, що складається із сітки вертикальних електродів об'єднаних горизонтальними смугами.

$$R_{\text{зр}} = \rho_{\text{розр}} \left(\frac{A}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + nl} \right)$$

L – сумарна довжина всіх горизонтальних електродів

l – довжина вертикальних електродів $l = 6,7 \text{ м}$

n – кількість вертикальних електродів

$$\sqrt{S} = \sqrt{a * b} = 81,78 \text{ м}$$

A – коефіцієнт, що залежить від $\frac{l}{\sqrt{S}} = 0,082$. Приймаю $A=0,368$.

Визначимо кількість вертикальних електродів:

$$n = 12 \cdot 2 + 11 \cdot 2 = 46$$

Сумарна довжина всіх горизонтальних електродів

$$L = a \cdot 13 + b \cdot 12 = 2044 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{з.р}} = 70 \left(\frac{0,368}{81,78} + \frac{1}{2044 + 46 \cdot 6,7} \right) = 0,345 \text{ Ом}$$

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Згідно з ПУЕ $R_{\text{доп}} \leq 0,5$ Ом, розрахункове значення $R_{\text{з.р.}} \leq R_{\text{доп}}$, то обрані параметри заземлювача відповідають допустимим нормам.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						46
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті розглянуті питання реконструкції підстанції. За результатами розрахунку електричних навантажень, а також з урахуванням надійності живлення розроблена схема підстанції. Обрано силовий трансформатор та сучасне електротехнічне обладнання: вимикачі, роз'єднувачі, вимірювальні трансформатори струму та напруги для всіх ступенів напруги, перевірено на вплив струмів короткого замикання.

Проведені розрахунки захисту трансформатора: максимальний струмовий захист трансформатора, комбінованої відсічки по струму і напрузі, підбрано реле та кількість витків для реле.

Перевірено блискавкозахист ПС та заземлюваний контур.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						47
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Програма курсу, контрольні завдання і методичні вказівки до виконання курсового проекту «Електрична частина станцій та підстанцій» для студентів напряму підготовки 6.141 «Електротехнічні системи електроспоживання» усіх форм навчання / Укладачі: Д.В. Муриков, І.Л. Лебединський, П.О. Василега, С.М. Лебедка. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – 34 с.

2. Програма курсу, контрольні завдання і методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з теми «Розрахунок параметрів захисту трансформаторів» для студентів напряму підготовки 6.141 «Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем» усіх форм навчання / Укладачі М.В. Петровський, С.С. Жемаєв. – Суми: Сумський державний університет, 2019. – 58 с.

3. Методичні вказівки та завдання до розрахунково-графічної роботи з курсу «Техніка високих напруг» / укладач М. В. Петровський. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 37 с.

4. Кабышев А.В. «Молниезащита электроустановок систем электроснабжения» Учебное пособие – Издательство ТПУ, Томск. 2006-124с.

5. Правила улаштування електроустановок. – 5-те вид., перероблене і доповнене (станом на 21.07.2017). Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

6. «Тольяттинский трансформатор. Номенклатурный каталог.» - Тольятти, 2020. – 101 с.

7. Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок: Справ.- М: Энергосервис, 2000.-373 с.

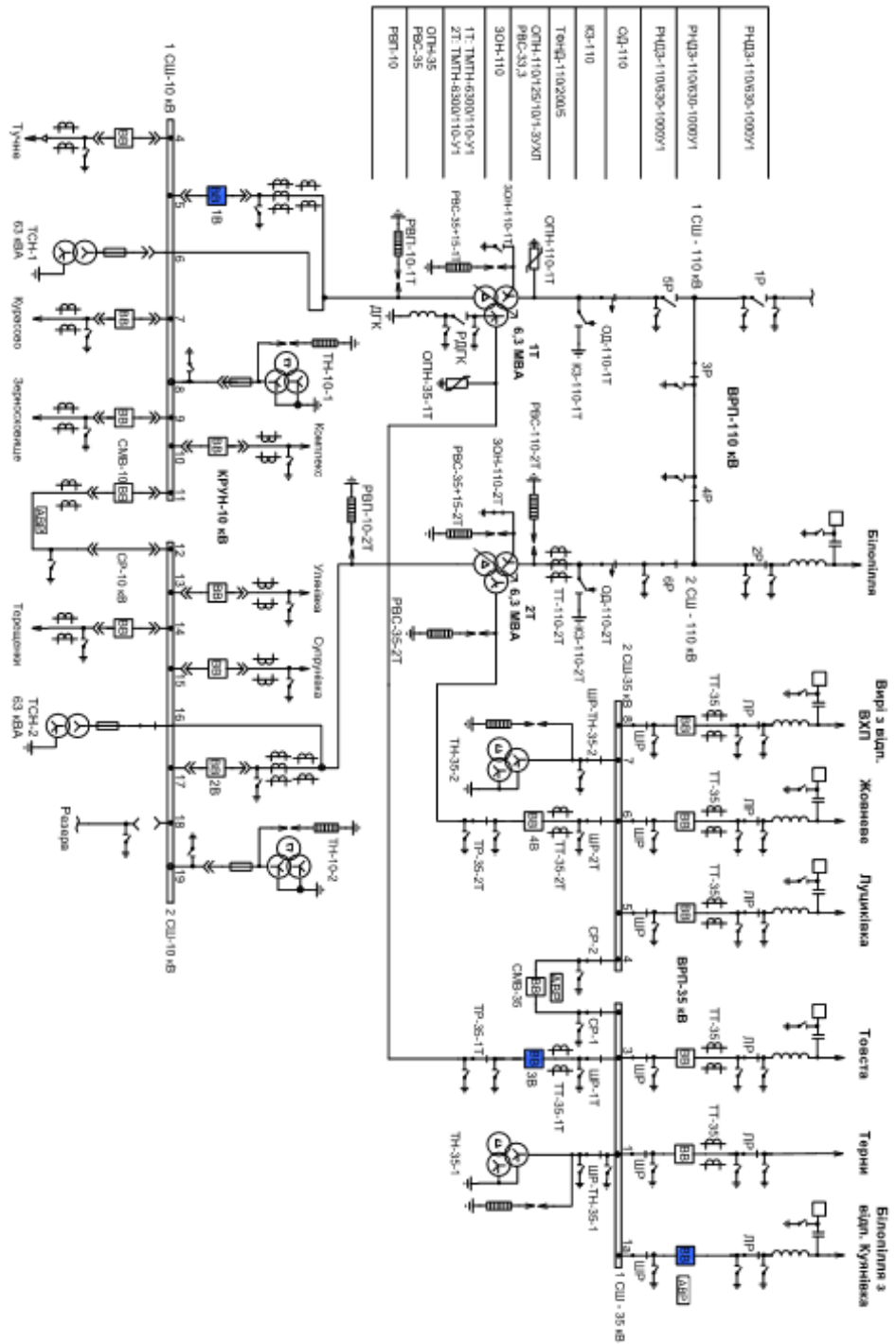
8. «Рівненський завод високовольної апаратури. Каталог» - Рівне, 2020. – 37 с.

9. Кідиба В.П. «Релейний захист електроенергетичних систем: Навчальний посібник.» – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка»,2013. – 500 с.

					БР 3.6.141.321 ПЗ	Арк.
						48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

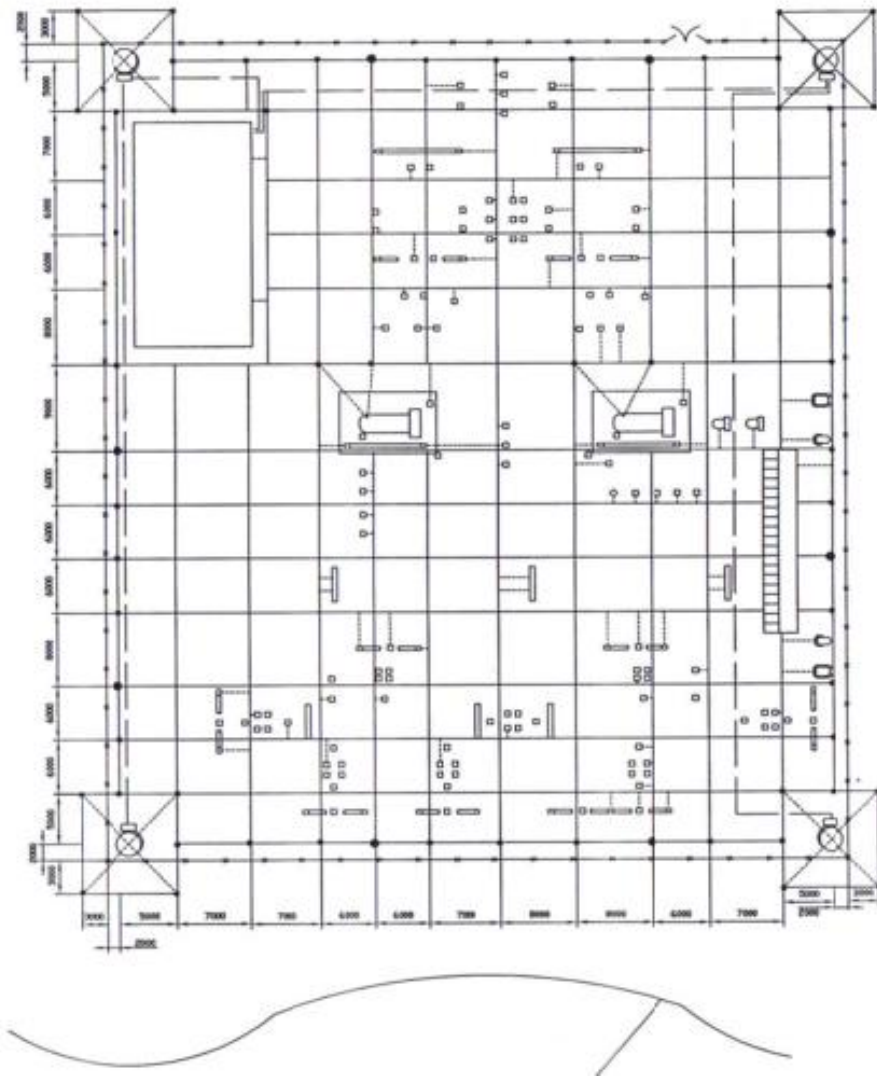
ДОДАТКИ

Додаток А



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Додаток Б



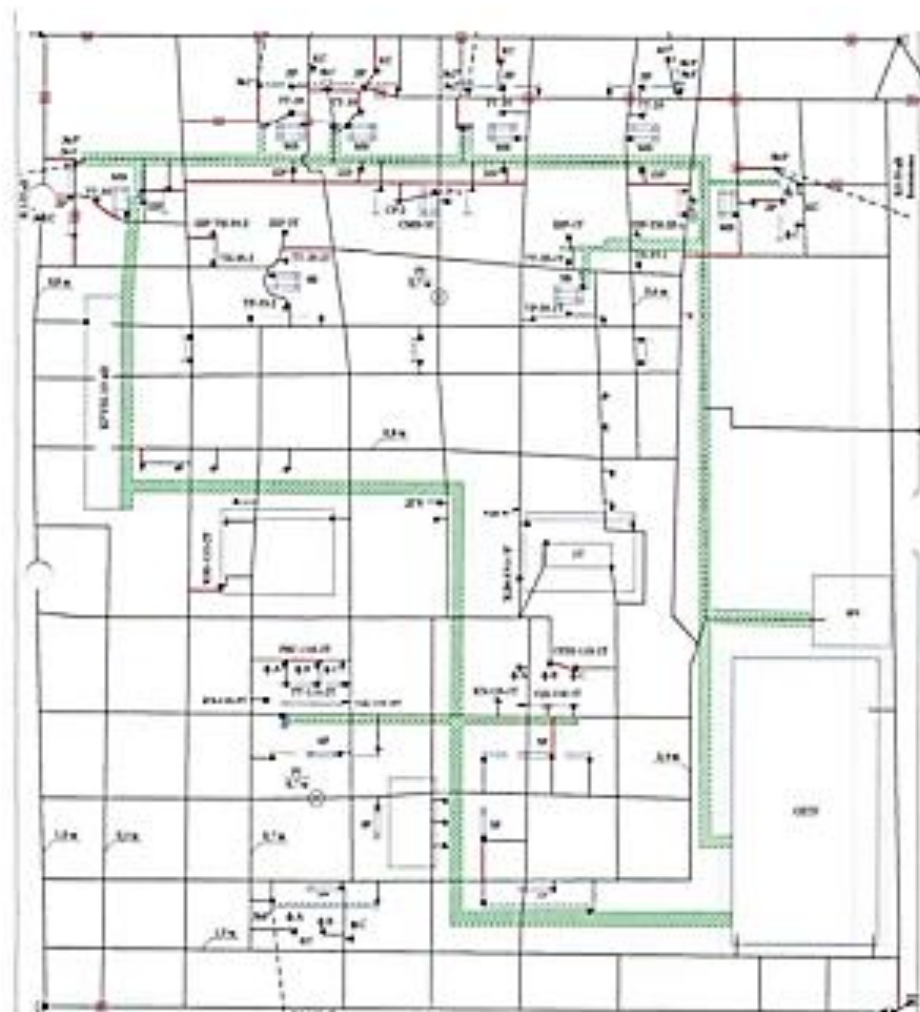
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 3.6.141.321 ПЗ

Арк.

50

Додаток В



Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 3.6.141.321 ПЗ

Арк.

51