

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра електроенергетики

Проект допущено до захисту
Зав. кафедрою електроенергетики
_____ І.Л. Лебединський
«__» _____ 20 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**тема «Аналіз заходів енергозбереження та оптимізація
електричної частини підстанції»**

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав студент гр. ЕТдн-61гл _____ Б. Г. Бабич

Керівник _____ к.т.н., доцент В.В. Волохін

Суми 2020

Сумський державний університет

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

Кафедра електроенергетики

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою електроенергетики

_____ І.Л. Лебединський

“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Бабича Богдана Геннадійовича

1. Тема роботи: «Аналіз заходів енергозбереження та оптимізація електричної частини підстанції»

затверджена наказом по університету № _____ від _____

2. Термін здачі студентом закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: схема підстанції, параметри та характеристики елементів підстанції, добові графіки навантажень споживачів.

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

– Вступ;

– Аналіз сучасного стану об'єкта реконструкції;

– Розрахунок струмів короткого замикання;

– Розробка заходів щодо реконструкції електричної частини підстанції;

– Індивідуальне завдання;

– Висновки.

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

– схема підстанції 35/10 кВ до реконструкції;

– схема підстанції 35/10 кВ після реконструкції.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Аналіз режиму роботи об'єкту до реконструкції	27.04-04.05.2020
2	Розрахункова частина	05.05-15.05.2020
3	Розробка заходів щодо реконструкції	16.05-21.05.2020
4	Індивідуальне завдання	22.05-27.05.2020
5	Оформлення роботи	28.05-05.06.2020

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

РЕФЕРАТ

с. 56, рис. 9, табл. 17, кресл. 2.

Бібліографічний опис: Бабич Б.Г. Аналіз заходів енергозбереження та оптимізація електричної частини підстанції [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец: 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Б.Г. Бабич; наук. керівник В.В. Волохін. - Суми: СумДУ, 2020. - 56 с.

Ключові слова: підстанція, силовий трансформатор, струми короткого замикання, вимикач, роз'єднувач, релейний захист;

подстанция, силовой трансформатор, токи короткого замыкания, выключатель, разъединитель, релейная защита;

substation, power transformer, short-circuit currents, switch, disconnecter, relay protection.

Короткий огляд: Виконано аналіз роботи підстанції, перевірку потужностей силових трансформаторів, розрахунок добових навантажень та струмів короткого замикання. Проведено вибір комутаційного та вимірювального обладнання, релейного захисту силового трансформатора. Розглянуті організаційні заходи для безпечного проведення робіт на підстанції, питання впливу електромагнітного поля на організм людини та засоби захисту робочого персоналу від впливу небезпечних і шкідливих факторів.

Перелік умовних скорочень

ВВ – вакуумний вимикач;

ВРП – відкритий розподільчий пристрій;

ЕМП – електромагнітне поле ;

ЗРУ – закрита розподільча установка;

КЗ – коротке замикання;

КЛ – кабельна лінія;

КРУ – комплектна розподільча установка;

КРУЗ – комплектна розподільча установка зовнішня;

КТП – комплектна трансформаторна підстанція зовнішнього встановлення;

МВ – масляний вимикач;

ОПН – обмежувач перенапруги нелінійний;

ПАТ – Публічне Акціонерне Товариство;

ПЛ – повітряна лінія електропередавання з неізолюваними проводами;

ПС – підстанція;

РЕМ – районні електричні мережі;

РЗА – релейний захист та автоматика;

РП – розподільний пункт;

РПН – регулювання напруги під навантаженням;

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. Сучасний стан та аналіз роботи підстанції.....	9
1.1.Схема зовнішнього і внутрішнього електропостачання підстанції.....	9
1.2 Аналіз режиму роботи	9
1.3 Характеристики обладнання підстанції.....	10
1.3.1.Силові трансформатори.....	10
1.3.2.Роз'єднувачі.....	12
1.3.3.Від'єднувачі.....	12
1.3.4.Короткозамикачі.....	13
1.3.5.Масляні вимикачі.....	13
1.3.6.Вакуумні вимикачі.....	14
1.3.7.Трансформатори струму.....	14
1.3.8.Трансформатори напруги.....	15
1.3.9.Запобіжники.....	16
1.3.10. Конденсатори в/ч зв'язку.....	16
1.3.11. Загороджувачі.....	17
2. Перевірка потужності трансформаторів та розрахунок струмів короткого замикання	18
2.1.Аналіз потужності силових трансформаторів.....	19
2.2. Розрахунок струмів короткого замикання.....	21
3. Вибір електричного обладнання та релейного захисту.....	25
3.1 Вибір високовольтних вимикачів.....	25
3.2. Вибір вимикачів 10 кВ.....	29
3.3. Вибір роз'єднувачів на стороні 35 кВ	31
3.4 Захист від перенапруг у високовольтній мережі.....	32
3.5. Вибір вимірювальних трансформаторів струму на стороні 35 кВ	34
3.6. Вибір вимірювальних трансформаторів струму на стороні 10 кВ	37
3.7. Вибір трансформаторів власних потреб	39

					БР 5.6.141.590 ПЗ								
<i>Змн.</i>	<i>Арк..</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Аналіз заходів енергозбереження та оптимізація електричної частини підстанції</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк..</i>	<i>Аркушів</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Бабич</i>											6	56
<i>Конс.</i>	<i>Волохін</i>												
<i>Керівник</i>													
<i>Н. Контр.</i>													
<i>Затверд.</i>	<i>Лебединський</i>								СумДУ ЕТдн-61гп				

3.8 Вибір релейного захисту	40
4. Індивідуальне завдання.....	45
4.1 Організаційні заходи для безпечного проведення робіт на підстанції.....	45
4.2. Вплив електромагнітних полів на людину та заходи захисту.....	49
4.3 Засоби захисту робочого персоналу підстанції від впливу небезпечних факторів.....	52
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:.....	56

					<i>БР 5.6.141.590 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

ВСТУП

Внаслідок зміни в останні десятиріччя кліматичних умов значна кількість побудованих у 70-ті роки підстанцій є також вразливими до дії підвищених навантажень. Значною мірою це виявляється в осінньо-зимовий період.

Крім того, станом на сьогодні в енергосистемах системи передачі експлуатується 64% пристроїв (від загальної кількості), які відпрацювали нормативний строк служби. Залишається на високому рівні відсоток пристроїв, які експлуатуються 30-40 і більше років, а також відсоток мікроелектронних пристроїв зі строком експлуатації більше 12 років, що є неприпустимим за сучасними вимогами до характеристик та їх інформативності. Назріла гостра необхідність реконструкції та модернізації захистів ПЛ та АТ, введених в експлуатацію в 60-70х роках, а також заміна напівпровідникових захистів, введених в 70-80 роки, які повністю вичерпали свій нормативний ресурс, а також не відповідають сучасним нормам проєктування та можливості створення автоматизованих систем оперативного та протиаварійного керування.

Внаслідок цього виникає потреба докорінного технічного переоснащення та реконструкції ПС, оскільки проєктний розрахунковий термін експлуатації більшості з них вже закінчився. Одним із таких об'єктів є підстанція 35/10 кВ, яка призначена для електропостачання підприємств міста та побутових електроспоживачів. В силу того, що на підстанції використовується застаріле фізично і морально обладнання, яке може привести до відмови і втрати живлення відповідальних споживачів, воно вимагає заміни на більш досконале і нове.

					БР 5.6.141.590 ПЗ	Лист
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Трансформатори власних потреб розташовані на ВРП-35кВ і огорожені сітчастими огорожами: ТВП-1 типу ТМ-25/10 потужністю 25 кВА, та ТВП-2 типу ТМ-25/10 потужністю 25 кВА. Масло-наповнені трансформатори з природним охолодженням, напругою 10/0,4 кВ, рік введення в експлуатацію ТВП 1-1983, ТВП 2-1984 рік.

Силові трансформатори 1Т типу ТМ 6300/35, 2Т типу ТМН-6300/35 –64-У1, потужністю 6300 кВА кожний. Масло-наповнені трансформатори, трифазні, двох-обмоткові з природною циркуляцією масла. Трансформатори введені в експлуатацію 1Т-1973 році, 2Т-1980року.

Відкритий розподільчий пристрій, розташований на території ПС і призначений для прийому електричної енергії напругою 35 кВ з боку повітряної лінії 35 кВ та підведення її до силових трансформаторів 1Т, 2Т. Він складається з СШ-35кВ, на якій розташовані шинні роз'єднувачі типу РНДЗ-35/600 в кількості 3 шт, масляних вимикачів МВ-35-1Т типу ВТД-35-630-10У1 в кількості 1 шт. і МВ-35-2Т типу ВТД-35-630-10У1, розрядників РВС-35-1Т в кількості 3 шт, РВС - 35-2Т в кількості 3 шт.

Кабельний канал призначений для прокладання контрольних і силових кабелів від приміщення ЗРП-10кВ до обладнання ВРП-35 кВ, силових трансформаторів, масляних вимикачів МВ-35-1Т-2Т виконаний в землі з бетонних лотків.

Всі відхідні лінії 10 кВ, вводи 10 кВ силових трансформаторів обладнані приладами обліку електроенергії по напрузі 10 кВ. Трансформатори власних потреб обладнані приладами обліку електроенергії напругою 0,4 кВ, що дозволяє врахувати надходження електричної енергії на шини 10 кВ підстанції і віддачу електричної енергії як по стороні 10 кВ, так і по стороні 0,4 кВ.

1.3 Характеристики обладнання підстанції.

1.3.1.Силові трансформатори.

Силові трансформатори, встановлені на підстанції, призначені для перетворення електричної енергії одного класу напруги в інший, а також зв'язку

					БР 5.6.141.590 ПЗ	Лист
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

між окремими ділянками електричної мережі і регулювання напруги в мережі. Трансформатори напругою 35/10 кВ, трифазні, масло-наповнені, з регулюванням напруги під навантаженням (РПН). Основним елементом конструкції силового трансформатора є магнітопровід, на стрижнях якого насаджено обмотки. Магнітопровід з обмотками – це активна частина (розміщена в баку трансформатора і залита трансформаторним маслом). На кришці трансформатора встановлюються масло-наповнені вводи 35-10 кВ, внутрішня порожнина яких пов'язана з баком трансформатора. Також на кришці трансформатора змонтовані розширювачі для компенсації температурних змін рівня масла. Розширювачі з'єднані з баком трансформатора трубопроводом через газове реле, є елементом газового захисту трансформатора.

Табл. 1.-Технічні дані силових трансформаторів ПС

Диспетчерське найменування	1Т	2Т
Тип трансформатора	ТМ-6300/35	ТМН-6300/35
Потужність трансформатора, кВА	6300	6300
Схема і група з'єднань	Y ₀ /Δ-11	Y/Δ-11
Тип регулювання напруги	ПБВ	РНТА-35/320
Номінальний струм, А	104,0/346,0	103,9/350,7
Напруга КЗ, %	7,5	7,5
Повна вага, т	16,9	19,925
Вага масла	4,80	5,90
Вага активної частини, т	8,10	8,016
Заводський номер	85366	112581
Рік виготовлення	1972	1980
Технічні дані ТВП		
Диспетчерське найменування	41Т	42Т
Тип трансформатора	ТМ-25/10	ТМ-25/10
Потужність трансформатора, кВА	25	25
Номінальний струм, А	1,44/36,1	1,44/36,1
Напруга КЗ, %	4,0	4,0
Схема і група з'єднань	Y/Y ₀ -0	Y/Y ₀ -0

2.1. Аналіз потужності силових трансформаторів.

Від підстанції живляться споживачі всіх категорій. Розраховуємо двох-трансформаторну підстанцію, до якої підключене навантаження потужністю $S=5.2 + j3.8$ МВА. На підстанції встановлено два трансформатори типу ТМ 6300/35.

Визначаємо номінальну потужність встановлених трансформаторів:

$$S_{\text{ном.нав}} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{5,2^2 + 3,8^2} = 6.44 \text{ МВА}$$

Перевіримо встановлені трансформатори на підстанції на здатність без пошкоджень витримати заданий графік навантажень.

Табл. 2. – Навантаження споживачів протягом доби.

Години	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	11-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
Sn, %	50	40	60	80	95	90	80	90	110	120	110	105
Sсп, МВА	3.22	2.57	3.86	5.15	6.11	5.79	5.15	5.79	7.08	7.72	7.08	6.76

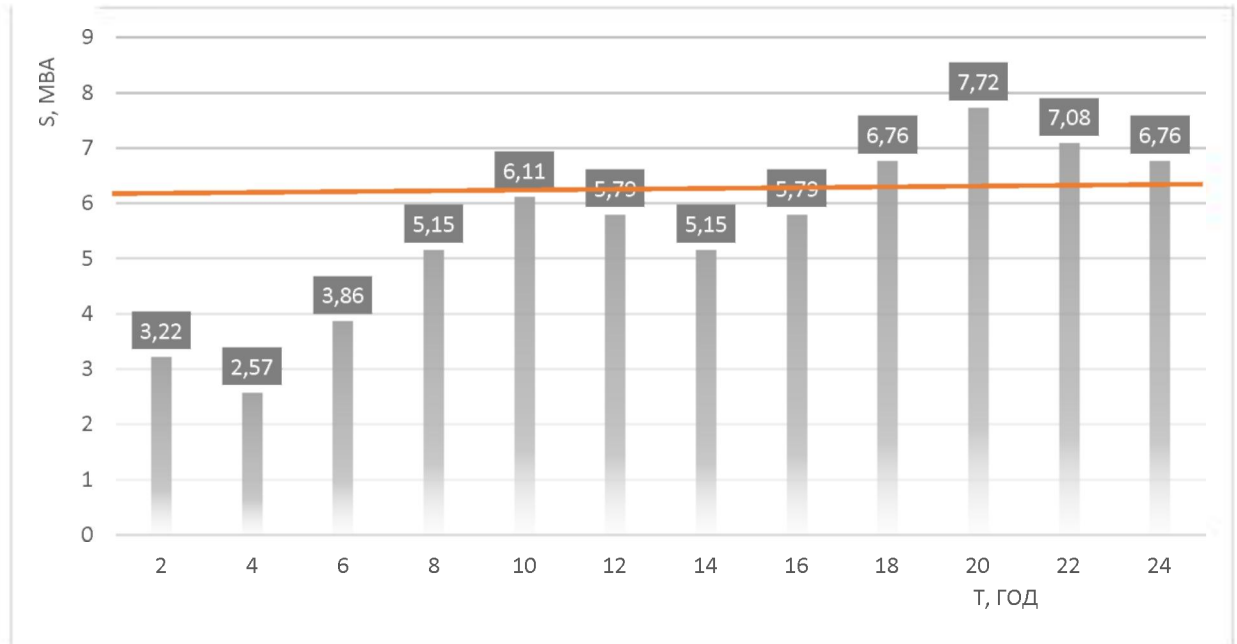


Рис. 1 – Графік навантаження

На графіку навантаження проводиться лінія номінальної потужності трансформатора 6.3 МВА, яка поділяє графік на дві частини: недовантаження і

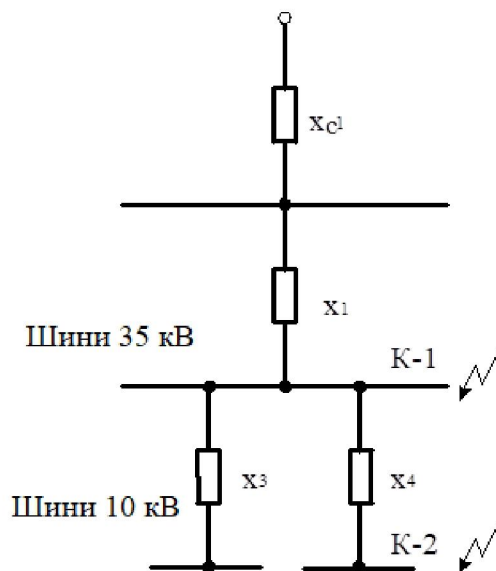


Рис. 2- Схема заміщення

Знаходимо опір ПЛ 35 кВ:

$X_L = R_0 \cdot L$, де L - довжина лінії, км.

$R_0 = 0.46$ Ом/км для проводу АС-70 який встановлено на цій лінії.

$$X_L = 0.46 \cdot 1.99 = 0.91 \text{ Ом}$$

Опір короткого замикання двох-обмоткового трансформатора X_T , Ом, знаходять за формулою:

$$X_T = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{ном}^2}{100 \cdot S_{ном}}$$

$$X_{T1} = X_{T2} = \frac{7.5 \cdot 37^2}{100 \cdot 6.3} = 16,29 \text{ Ом}, \text{ де } U_{кз} - \text{напряга КЗ трансформатора, \%};$$

$U_{ном}$ - номінальна напряга трансформатора зі сторони ВН, кВ;

$S_{ном}$ - номінальна потужність трансформатора, МВ·А.

Номінальні напрюги трансформаторів можуть бути більшими $U_{ном}$ мереж, які підключені до обмоток трансформаторів на 5 % - 10 %.

Розрахуємо струм КЗ для точки К-1:

Для цього просумуємо опір системи і опір повітряної лінії:

$$X_{\Sigma} = X_C + X_L = 5 + 0.91 = 5.91 \text{ Ом}$$

Періодична складова СКЗ у точці K_1 :

$$I_{к.з} = \frac{U_{ВН}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot 5.91} = 3.61 \text{ кА}$$

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Табл. 3 – 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 , $кА^2с$
Шини 35 кВ (K_1)	3.61	8.23	3.61	0.469	1.111
Шини 10 кВ (K_2)	3.39	7.72	3.39	0.649	6.898

Табл. 4 – Характеристики вимикача ВВН-СЕЦ-Е-35-25/1000

Технічні параметри	ВВН-СЕЦ-Е-35-25/1000
Номинальна напруга, кВ	35
Номинальний струм, А	1000
Номинальний струм відключення, кА	25
Циклів ВО, при номінальному струмі	25000
Електродинамічна стійкість (кА)	64
Струм термічної стійкості, кА (с)	25 (3)
Власний час відключення, с	0.04
Повний час відключення, с	0.06
Власний час включення, с	0.11
Значення нормованого процентного вмісту аперіодичної складової, %	45



Рис. 3 – Загальний вигляд вимикача ВВН-СЕЦ-Е-35-25/1000

Особливості конструкції і переваги вимикачів ВВН-35:

- можливість установки різних приводів;
- можливість ручного взводу пружин для включення вимикача;
- простота конструкції і висока надійність;

3.2. Вибір вимикачів 10 кВ.

В даний час при напрузі 6-10 кВ, все більшої популярності отримують комплектні розподільчі пристрої (КРП) з вакуумними вимикачами, іноді з елегазовими вимикачами. Переваги КРП з вакуумними вимикачами:

- мінімальні експлуатаційні витрати;
- високі параметри по вибухо- і пожежобезпеці;
- стійкість до механічних навантажень (удари, вібрації);
- малі габарити;
- екологічно чисті;
- малі часові терміни на монтаж.

Вимикач вибирається за такими ж параметрами, що і вимикач на високій стороні. До установки прийнятий вимикач ВВ/TEL-10-20/1000 У2 (рис. 4). В основі вакуумного вимикача ВВ / TEL-10-20 / 1000-У2 використовуються пофазні електромагнітні приводи з магнітною зачіпкою. Електромагнітні приводи механічно об'єднані загальним, що не несе навантаження, валом-синхронізатором. Котушки електромагнітних приводів фаз вимикача з'єднуються паралельно і при виконанні команд підключаються до попередньо заряджених конденсаторів, розташованих в блоках управління типу (БУ/TEL) вимикача ВВ / TEL-10-20 / 1000-У2.



Рис. 4 –Вимикач ВВ / TEL-10-20 / 1000 У2

										Лист
										29
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Умови вибору трансформатора струму зведені в табл. 12.

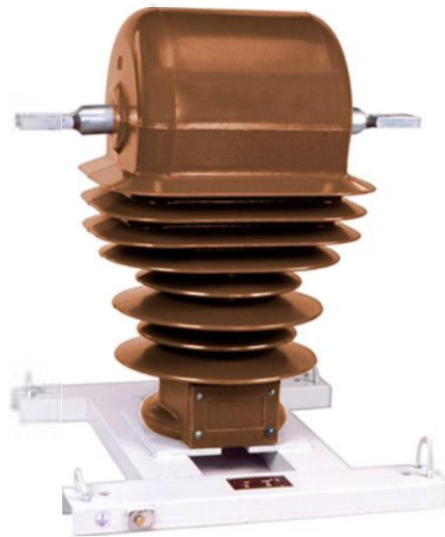


Рис. 8- Трансформатор струму ТОЛ-35УХЛ1

Табл. 10- Параметри обраного трансформатора струму

Технічні параметри	ТОЛ-35УХЛ1
Номінальна напруга, кВ	35
Найбільша робоча напруга, кВ	40.5
Номінальний первинний струм, А	300
Номінальний вторинний струм, А	5
Електродинамічна стійкість (кА)	63
Струм термічної стійкості, кА (с)	15 (3)
Клас точності	0.5
Номінальне навантаження вторинної обмотки при $\cos\varphi=0,8$; ВА:	30
Номінальна частота, Гц	50

Табл. 11- Дані контрольно-вимірювальних приладів

Клас точності	Прилади	Тип	S приладу, В·А
0.5	Амперметр	Меркурій-230 ART	0,3

типу. МІСОМ Р632 забезпечують гнучкість при інтеграції пристроїв в систему захисту підстанції.

На підставі даних отриманих при ознайомленні з ПУЕ, було обрано такі типи захистів:

- МІСОМ Р632 - диференційний захист СТ;
- МІСОМ Р124 - для захисту від зовнішніх КЗ на стороні 35 кВ;
- МІСОМ Р122 - для захисту від зовнішніх КЗ на стороні 10 кВ;

Захист від перевантаження трансформатора реалізований в реле МІСОМ Р632 і МІСОМ Р122.

Первинний номінальний струм трансформатора диференційного захисту:

$$I_{BH} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 37} = 98.3 \text{ A}$$

$$I_{HH} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 346.41 \text{ A}$$

Вставку по гальмуванню в цифрових мікропроцесорних терміналах, необхідно визначати, як відношення диференціального струму (I_d) до гальмівного струму (I_t).

Даний параметр виражається у відсотках:

$$\frac{I_d}{I_t} \geq K_H \cdot (K_a \cdot \varepsilon + \Delta U)$$

де K_H - коефіцієнт надійності; $K_H = 1.2$; ε – похибка трансформаторів струму ($\varepsilon = 10\%$); K_a - коефіцієнт, що характеризує зростання похибки при великих струмах ($K_a = 1.5$); ΔU - діапазон регулювання коефіцієнта трансформації трансформатора, що захищається, $\Delta U = 9\%$, для трансформаторів з РПН 35кВ.

$$\frac{I_d}{I_t} \geq 1.2 \cdot (1.5 \cdot 10 + 9) = 24.6\%$$

										Лист
										42
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Приймаємо до встановлення на пристрої $I_{с.р.} = 5$ А, з дією на відключення. Відповідно до вищесказаного, струм спрацьовування на первинній стороні трансформатора, буде:

$$I_{с.з.то} = 5 \cdot 60 = 300 \text{ А} .$$

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{ч} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{I_{кз}^{(3)}}{I_{с.з.у}}$$

де $K_{ч}$ - коефіцієнт чутливості захисту відповідно до основної зони.

$$K_{ч} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{3610}{300} = 10.4 \geq 2$$

тобто умова виконуються.

Виберемо вставки для захисту від перевантаження, струм спрацьовування дорівнює:

$$I_{с.з.} \geq \frac{K_{н}}{K_{в}} \cdot I_{роб.мах}$$

$$I_{с.з.} \geq \frac{1.1}{0.96} \cdot 98.3 = 112.63 \text{ А}$$

Обчислимо струм спрацьовування реле:

$$I_{с.р.} = \frac{112.63}{60} = 1.9 \text{ А}$$

Приймаємо до вставки на пристрої $I_{с.р.} = 1.9$ А, з дією на сигнал.

Тоді струм спрацьовування на первинній стороні буде:

$$I_{с.з.у} = 1.9 \cdot 60 = 114$$

Згідно з наведеними розрахунками прийняли до установки МІСОМ Р122 і МІСОМ Р632, бо дані види захистів задовольняють всім вимогам для захисту трансформатора.

					БР 5.6.141.590 ПЗ	Лист
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

у двох – трьох напрямках. Крім того, повинні бути встановлені один – два вертикальних електрода довжиною 3 – 5 м на відстані не менше довжини електрода від стійки, на якій встановлений громовідвід.

Для захисту обладнання РП від грозових хвиль, що набігають з ліній, застосовуються вентильні розрядники, нелінійні обмежувачі перенапруг (ОПН), трубчасті розрядники і троси, підвішені на підході ліній. Ці пристрої обмежують параметри хвилі, що набігає з ліній, до значень, безпечних для ізоляцій. Захисна дія розрядників визначається їх вольт-секундної і вольт-амперної характеристики.

Основною функцією тросів, що підвішуються на підході ліній напругою 35-110 кВ, є захист РП від хвиль, що виникають при прямому ударі блискавки в прольоти ліній в межах небезпечної зони, яка зазвичай становить 1-3 км.

					БР 5.6.141.590 ПЗ	Лист
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

