

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
РОЗРОБКА РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ
ПІДСТАНЦІ 110/10 КВ

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми
навчання освітнього ступеня «Магістр»,
освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ **Микола БУРТНЯК**

Керівник: канд. техн. наук, доцент

_____ **Юрій ПАНЦИР**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«_____» _____ 2024 р.

Гарант освітньої програми

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

м. Кам'янець-Подільський, 2024р.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ СХЕМИ ТА ВСТАНОВЛЕНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПІДСТАНЦІЇ.....	11
1.1. Схема електричних з'єднань.....	11
1.2. Основне обладнання.....	13
1.2.1. Силові трансформатори.....	13
1.2.2. Обладнання ВРП 110 кВ.....	13
1.2.3. Обладнання ЗРП 10 кВ.....	17
1.3. Розрахунок струмів короткого замикання.....	20
1.3.1. Вихідні дані.....	20
1.3.2. Розрахунок струмів КЗ без врахування навантаження.....	22
1.3.3. Розрахунок струмів КЗ з врахуванням навантаження.....	25
Висновки.....	29
2 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	31
2.1 Вибір релейного захисту.....	31
2.2 Розрахунки захисту на мікропроцесорних пристроях SEPAM ("Schneider Electric").....	31
2.3 Розрахунок релейного захисту трансформатора ТД-32000/110/10....	33
2.3.1 Вибір параметрів спрацювання диференціального захисту.....	33
2.3.1.1 Визначення придатності встановлених трансформаторів струму.....	34
2.3.1.2 Перевірка можливості використання гальмування.....	34
2.3.1.3 Визначення мінімального струму спрацювання.....	34
2.3.1.4 Визначення крутизни першої похилої ділянки гальмівної характеристики.....	34
2.3.1.5 Визначення точки зміни крутизни гальмівної характеристики.....	35

2.1.3.6	Визначення крутизни другої похилої ділянки гальмівної характеристики.....	35
2.3.1.7	Визначення струму спрацювання диференційної відсічки....	35
2.3.1.8	Уставки блокувань по другій і п'ятій гармонікам.....	36
2.3.1.9	Алгоритм роботи диференційного захисту.....	36
2.3.2	Розрахунок газового захисту трансформатора.....	39
2.3.3	Максимальний струмовий захист трансформатора.....	40
2.3.4	Захист від перевантаження	42
2.4	Реалізація захисту на мікропроцесорних пристроях SEPAM ("Schneider Electric").....	42
	Висновки.....	44
3	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА ОБЛАДНАННЯ ВРП-110 КВ.....	46
3.1	Вибір пристроїв захисту ліній 110 кВ.....	46
3.2	Розрахунок пристроїв захисту повітряної лінії 110 кВ.....	47
3.2.1	Розрахунок диференційно-фазного високочастотного захисту ліній 110 кВ.....	47
3.2.2	Розрахунок струмової вісічки.....	52
3.2.3	Триступеневий дистанційний захист.....	52
3.2.4	Чотириступеневий максимальний струмовий спрямований захист нульової послідовності (від замикань на землю).....	56
3.2.5	Автоматичне повторне вмикання (АПВ).....	58
3.2.6	Пристрій резервування відмови вимикача	59
3.3	Реалізація захисту на мікропроцесорних пристроях АВВ.....	60
	Висновки.....	62
4	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА ОБЛАДНАННЯ ЗРП-10 КВ.....	63
4.1	Вибір пристроїв захисту приєднань закритого розподільчого пристрою 10 кВ.....	63

4.1.1 Ввідні лінії 10 кВ.....	63
4.1.2 Кабельні лінії 10 кВ.....	64
4.1.3 Секційний вимикач 10 кВ.....	64
4.1.4 Трансформатори власних потреб.....	65
4.1.5 Трансформатори КТП 10/0.4 кВ.....	65
4.1.6 Пристрій АВР на секційному вимикачі 10 кВ.....	66
4.2 Розрахунок захистів приєднань закритого розподільчого пристрою 10 кВ.....	67
4.2.1 Розрахунок захистів ввідних ліній 10 кВ.....	67
4.2.2 Розрахунок захистів кабельних ліній 10 кВ.....	68
4.2.2.1 Струмова відсічка.....	68
4.2.2.2 Максимальний струмовий захист.....	68
4.2.2.3 Захист від однофазних замикань на землю.....	69
4.2.3 Розрахунок захистів секційного вимикача 10 кВ.....	71
4.2.3.1 Струмова відсічка.....	71
4.2.3.2 Максимальний струмовий захист.....	72
4.2.4 Трансформатори власних потреб.....	73
4.2.5 Трансформатори КТП 10/0.4 кВ.....	73
4.2.6 Вибір уставок пристрою АВР.....	78
4.3 Реалізація захисту на мікропроцесорних пристроях Seram ("Schneider Electric").....	78
4.3.1 Реалізація захисту Seram для ввідних ліній 10 кВ.....	78
4.3.2 Реалізація захисту Seram для ліній 10 кВ.....	79
4.3.3 Реалізація АВР на пристроях Seram.....	79
Висновки.....	80
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ ПІДСТАНЦІЇ.....	82

5.1 Загальна характеристика об'єкта, технічні характеристики серійного енергетичного устаткування та систем енергопостачання.....	82
5.2 Визначення обсягів і послідовності робіт у ході експлуатації або під час модернізації енергетичного об'єкту.....	83
5.3 Визначення та оцінка показників умов праці на робочих місцях.....	83
5.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників.....	84
5.5 Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці.....	84
5.6 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників.....	85
5.7 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.....	87
5.8 Розрахунок захисного заземлення.....	88
Висновки.....	90
6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	91
6.1 Опис ідеї проекту.....	92
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	92
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	94
Висновки.....	97
ВИСНОВКИ.....	99
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	101
ДОДАТОК А.....	103
ДОДАТОК Б.....	106

ВСТУП

В електричній мережі можливі наступні пошкодження і ненормальні режими роботи: міжфазні короткі замикання (КЗ), однофазні КЗ, двофазні КЗ, двофазні КЗ на землю, перевантаження, гойдання, асинхронний режим, підвищені струми в лініях при пошкодженнях на стороні нижчої напруги трансформаторів приймальні підстанції. Для захисту від вищеписаних ненормальних режимів роботи і пошкоджень розроблені наступні типи захистів: струмові захисту, струмові спрямовані захисту, дистанційні захисту, диференціальні струмові поздовжні і поперечні захисту, захисту від перевантажень і т.д.

Розробка захисту того чи іншого електроенергетичного об'єкта полягає у виборі необхідного обсягу релейного захисту для кожного елемента який входить до об'єкта, виборі відповідних пристроїв релейного захисту, розрахунку уставок і правильного підключення. Складністю розробки релейного захисту є забезпечення вимог по швидкодії, надійності і селективності проектного захисту, а також зниження витрат на установку пристроїв РЗ.

Релейний захист здійснює автоматичну ліквідацію пошкоджень і ненормальних режимів в електричній частині енергосистем і є найважливішою автоматикою, що забезпечує їх надійну і стійку роботу.

В даний час розвивається комплекс пристроїв релейного захисту та автоматики, виконаних на мікропроцесорних пристроях. Застосування таких пристроїв дозволило реалізувати більш складні алгоритми вимірювальних і пускових органів. Мікропроцесорні системи здатні обробляти вводяться в них дані і управляти зовнішніми пристроями.

Проектування релейного захисту та автоматики (РЗА) елементів електрообладнання електроенергетичних систем здійснюється за нормативним вимогам і стандартам.

ВИСНОВКИ

Розробка релейного захисту та автоматики для підстанції 110/10 кВ була проведена згідно з чинними нормативними технічними документами та неодноразово перевіреним методикам розрахунку.

З метою розрахунків пристроїв релейного захисту проведений розрахунок струмів короткого замикання. Розрахунки струмів короткого замикання, були проведені з урахуванням навантаження і без нього, для подальшого вибору релейного захисту трансформаторів ТД-32000/110 та обладнання відкритого і закритого розподільчого пристрою.

Вибір релейного захисту та автоматики проводився згідно правил улаштування електроустановок (ПУЕ).

Релейний захист для трансформаторів ТД-32000/110 було реалізовано на мікропроцесорах Sepam T87 фірми Schneider Electric. Даний пристрій релейного захисту, забезпечує наступні захисти трансформатора: диференційний захист без витримки часу (основний) з налаштуванням відкидів струму намагнічування і струмів небалансу; максимальний струмовий захист (резервний), працюючий окремо від основного і при необхідності маючий блокування по напрузі; прискорення МСЗ при включенні на КЗ; захист при перевантаженню по струму; захист при збільшенні температури масла (на сигнал); газовий захист від зниження рівня масла і міжвиткових замиканнях (на сигнал та на відключення); захист нульової послідовності. Дані захисти задовольняють вимоги ПУЕ, що до захисту трансформаторів.

Захист ліній 110 кВ було реалізовано на пристроях релейного захисту REL 670 фірми ABB, було проведено розрахунок диференційно-фазного високочастотного захисту ліній 110 кВ, автоматичне повторне включення повітряної лінії, наведена реалізація захисту на мікропроцесорі REL 670 фірми ABB.

Для закритого розподільчого пристрою 10 кВ, було розраховано захист для ввідних ліній, секційного вимикача, відхідних кабельних ліній електропередач, трансформаторів власних потреб, трансформаторів КТП 10/0.4 кВ і для автоматичного включення резерву (АВР) на стороні 10 кВ. Для реалізації захистів ввідних і відхідних кабельних ліній використовували Seram серії 40 і серії 20, а також була приведена реалізація автоматичного включення резерву на мікропроцесорних пристроях Seram серії 40, так як він має вимірювальний орган напруги. На листі 7 наведено розміщення комірок згідно до наданих розмірів приміщення закритого розподільчого пристрою.

Також був проведений вибір комплексу техніко-організаційних заходів і засобів для безпечної експлуатації релейного захисту та автоматики підстанції. Виконано розрахунок захисного заземлення.

В даній роботі було проведено розробку стартап-проекту, основною ідеєю якого являється застосування стандарту ІЕС 61850 в енергосистемі. А саме, впровадження «Цифрових підстанцій» в енергосистему України з метою покращення стану підстанцій і розподільчих пристроїв. Визначено термін окупності «Цифрової підстанції» - він становить 2,9 років.

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач вищої освіти _____ Микола БУРТНЯК

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила улаштування електроустановок : [арх. 15 березня 2020] / Міненерговугілля України. — Київ : [б. в.], 2017. — 617 с.
2. ДСТУ 3569-97 Енергозбереження нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Основні положення (ГОСТ 30514-97). Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25862. — Назва з екрана.
3. Волох П.В., Цоколенко М.П., Ревенко Л.В., Грічаненко В.А. та ін. Довідникова книга з електроенергетики : Навчальний посібник — К.: Аграрна освіта, 2014. — 506 с.
4. ДНАОП 0.00-1-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. — К.: Укрархбудінформ, 2001. — 117 с.
5. Проектування електропостачання та електрообладнання машин і установок геотехнічних виробництв: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Уклад.: І. С. Рябенко, О. В. Мейта. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. — 244 с.
6. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. — Д.: НГУ, 2015. — 540 с.
7. Бурбело М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 204 с.
8. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. — Харків : ФОП Панов А. М., 2016. — 272 с.

13. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. - Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. - 984с.

14. Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38 – 150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних втрат електроенергії. (ГНД 34. 09. 104 – 2003). – К. : Міністерство палива та енергетики України, 2004. – 115 с.

15. Бурбело М. Й. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах : монографія / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 110 с.

16. Перспективи розвитку світової електроенергетики до 2035 року // Електроенергія, передача і розподіл. – 2011, № 2, С.103.

17. Інвестиції у відновлювальні джерела енергії досягли рекорду. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: <https://solar.kiev.ua/gotoviesistemy>.

18. Забезпечення стійкості енергосистем та їх об'єднань: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2018. – 320 с.

19. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці:Підручник.-Л.:Афіша,2002.- 320 с.

20. Електробезпека: Підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – 295 с.

21. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258] / М-во палива та енергетики України. - Х.: Індустрія: Енергетичні рішення, 2012. - 318 с.

22. Система дистанційного навчання Moodle 2.7. – «ЗВО «ПДУ»». Режим доступу: <http://pdatu.net.ua/>.– Назва з екрана.