

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Карпенко Григорій Володимирович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Вибір та обґрунтування системи релейного захисту та автоматики блоку
генератор-трансформатор
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Карпенко Г.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Гончаренко Юрій Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Карпенко Г.В. Вибір та обґрунтування системи релейного захисту та автоматики блоку генератор-трансформатор . Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

У роботі виконаний вибір захисту для блоку генератор-трансформатор, планування та розрахунок типових аварійних режимів, розрахунок уставок захисту та оцінка їх чутливості.

Ключові слова: релейний захист, аварійний режим, генератор.

ABSTRACT

Karpenko G.V. Selection and justification of the system of relay protection and automation of the generator-transformer unit. Qualifying work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polish National University, Zhytomyr, 2023.

The work includes the selection of protection for the generator-transformer unit, planning and calculation of typical emergency modes, calculation of protection settings and assessment of their sensitivity.

Keywords: relay protection, emergency mode, generator.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ БЛОКУ ГЕНЕРАТОР- ТРАНСФОРМАТОР	6
1.1. Аналіз ушкодження генераторів у нормальному режимі роботи	6
1.2 . Захист аварійних генераторів напругою 0,4 кВ	8
Висновки по розділу 1	11
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ БЛОКУ ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР	12
2.1 Коротка характеристика об'єкта, що захищається	12
2.2. Вибір та обґрунтування встановлюваних захистів	13
2.3. Планування та розрахунок типових аварійних режимів	18
Висновки по розділу 2	22
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК УСТАВОК ЗАХИСТІВ І ОЦІНКА ЇХ ЧУТЛИВОСТІ	23
3.1. Розрахунок захисту генератора	23
3.2 3.2 Розрахунок захисту блочного трансформатора	29
Висновки за розділом 3	39
ВИСНОВКИ	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	41

ВСТУП

Актуальність теми. Релейний захист є основним видом електричної автоматики, без якої неможлива надійна робота сучасних енергетичних систем. Вона здійснює безперервний контроль за станом та режимом роботи всіх елементів енергосистеми та реагує на виникнення пошкоджень та ненормальних режимів. У разі пошкоджень захист виявляє та відключає від системи пошкоджену ділянку. У разі ненормальних режимів захист виявляє їх у залежність від характеру порушення виробляє операції необхідні відновлення нормального режиму чи подає сигнал черговому персоналу.

Пристрої релейного захисту та автоматики в сукупності є складною багатоступеневою системою, призначеною для збереження стійкої роботи синхронних генераторів, трансформаторів та безперебійного електропостачання споживачів електроенергії. Виконати завдання ці пристрої можуть лише у разі, якщо вони відповідають комплексу вимог, викладених у нормативних матеріалах. Відповідність реальних пристроїв релейного захисту та автоматики (ПРЗА) цим вимогам забезпечується в основному на стадії проектування, яке за правильної його організації обов'язково має бути комплексним. Стійка безперебійна робота ЕЕС можлива лише за умови ефективного функціонування всіх частин, що входять до комплексу ПРЗА.

Метою даної роботи є вибір захисту для блоку генератор-трансформатор, планування та розрахунок типових аварійних режимів, розрахунок уставок захисту та оцінка їх чутливості.

Ціль роботи полягає в визначенні типи релейного захисту, який відповідають вимогам ПУЕ.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Карпенко Г.В. АНАЛІЗ ЗАХИСТУ АВАРІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ НАПРУГОЮ 0,4 КВ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії

та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023», 01.05.2023, Житомир, Україна.
С.

Гончаренко Ю.П., Карпенко Г.В. ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ
РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ БЛОКУ ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних
працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії
та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023», 01.05.2023, Житомир, Україна.
С. 77-80

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ БЛОКУ ГЕНЕРАТОР- ТРАНСФОРМАТОР

1.1. Аналіз ушкодження генераторів у нормальному режимі роботи

У генераторах можуть виникнути наступні ушкодження:

- міжфазні короткі замикання, що спричиняють пошкодження обмоток та, рідше, сталі магнітопроводу статора;
- замикання між витками однієї фази (зазвичай вони переходять в міжфазні замикання або у замикання на землю);
- замикання однієї фази на корпус (землю), при яких струм замикається через сталь магнітопроводу. Дослідження показали, що при струмах більше 5 А виникають небезпечні випалювання (виплавлення) сталі статора, що вимагають капітального ремонту генератора з перешихтівкою магнітопроводу. Тому прийнято, що при струмах більше 5 А захист повинен діяти на відключення генератора, а при струмах менше 5 А - на сигнал;
- подвійні замикання на корпус (землю) в ланцюзі ротора, викликають перегрівання ротора, горіння ізоляції, а також вібрацію генератора (особливо у явнополюсних машин) внаслідок виникає несиметрії магнітного потоку ротора. Подвійному замиканню на корпус передують замикання на корпус в одній точці. На турбогенераторах встановлюють захист від подвійних замикань на корпус. Черговий персонал включає цей захист при появі (виявленні) замикання на корпус в одній точці.

До ненормальних режимів генераторів відносять:

– протікання струмів зовнішніх КЗ. Нормально зовнішні КЗ повинні відключатися захистами пошкоджених елементів, проте при відмові цих захистів генератор повинен мати власний резервний захист;

- перевантаження по струму, що виникають при відключенні частини паралельно працюючих генераторів, зміні схеми мережі, підключенні нових вузлів навантаження, самозапуску двигунів, форсуванні збудження генераторів, втрати побудження і т. п. Для всіх генераторів допускаються нормальні тривалі навантаження по струму статора не більше 5 % при зниженні напруги статора не більше чим на 5 %. Аварійні навантаження лімітуються заводом-виробником окремо для кожного типу генератора. Для генераторів допустимі тривале навантаження у 20–30 % як за струмом статора, так і за струмом ротора, тому при таких перевантаженнях генератори не повинні вимикатися від мережі;

– несиметрію струмів статора, що виникає при несиметрії них коротких замикання в мережі і при неповнофазних режимах (обривах фази). З'являються при несиметрії струми зворотної послідовності створюють магнітний потік, що обертається відносно ротора з подвійною синхронною швидкістю, наслідком чого може бути підвищення нагрівання та вібрація ротора, а також підвищене нагрівання обмотки збудження. Тривала робота турбогенераторів допустима при несиметрії $I_2 / I_{ном}$ не більше 5 %;

– підвищення напруги, що виникає при різких скиданнях навантаження, коли частота обертання машини зростає при практично постійній нарузі на обмотці збудження. У турбогенераторів підвищення напруги ліквідується системами автоматичного регулювання швидкості (АРШ) і автоматичного регулювання збудження (АРЗ). У турбогенераторів є автомати безпеки, що повністю припиняють впуск

пари в турбіну при збільшенні частоти обертання агрегату на 10 %.

1.2 . Захист аварійних генераторів напругою 0,4 кВ

Захист генераторів запобіжниками та автоматичними вимикачами.

Для генераторів потужністю до 100 кВт захист від міжфазних КЗ виконується запобіжниками або автоматичними вимикачами. Запобіжники вибираються із умови:

$$U_{\text{зап ном}} = U_{\text{мер}}; \quad I_{\text{зап відк}} \geq I_{\text{ПОмакс}}^{(3)}, \quad (1.1)$$

де $I_{\text{ПОмакс}}$ паралельно з іншими генераторами працює генератор.

Плавка вставка запобіжників вибирається з умов:

$$I_{\text{вс ном}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{роб макс}}; \quad I_{\text{вс ном}} \geq I_{\text{перев}} / K_{\text{пер}}, \quad (1.2)$$

де $I_{\text{роб.макс}}$ - максимальний робочий струм, проходить через запобіжник; $K_{\text{зап}} = 1,1-1,2$ - коефіцієнт запасу.

Для захисту генераторів найбільш підходящими є автоматичні вимикачі, які мають розчеплювачі для захисту від перевантаження з залежною характеристикою і невеликим часом спрацювання. Їх використовують як МТЗ генератора від зовнішніх КЗ. Розрахунок уставки спрацювання за струмом та часом спрацювання приймають по умові селективності з захистами ліній 0,4 кВ які відходять, а також за умовою відбудови від тривалості пуску електродвигунів, якщо надійно відбудуватися струмом від пускових режимів не вдається. Для налагодження час спрацювання задають при струмі КЗ на затисках генератора, рівному $I_{\text{II}\infty}^{(3)}$. Зазвичай приймають мінімальну уставку по шкалі часу, яка відповідає 2с на незалежній частині характеристики (при струмі більше $3I_{\text{с.з}}$). У цьому випадку при струмі $I_{\text{с.з}}$ вимикач відключиться не менш як за 2 с. Меншу уставку за часом приймати не рекомендується, так як витримка часу стає

нестійкою, що може приводити до неселективним відключень.

Відсікання вимикача використовують для захисту генератора від внутрішніх КЗ за його паралельної роботі з іншими джерелами (Рис. 1.1). Струм спрацьовування відсічення вибирають, виходячи з відбудови від максимального струму КЗ $I_{ПО}^{(3)}$, посиланого генератором в мережу в початковий момент КЗ на генераторних шинах

$$I_{c.o} \geq K_n \cdot I_{ПО}^{(3)}, \quad (1.3)$$

де K_n - коефіцієнт надійності, приймається рівним 1,4 для автоматичних вимикачів серії ВА.

Оскільки відсікання не працює при зовнішніх КЗ, то для захисту генератора можна застосовувати як селективний, так і неселективний автоматичний вимикач. Селективний автоматичний вимикач кращий з огляду надійності неспрацьовування відсічення при зовнішніх КЗ. Чутливість відсічення перевіряється при КЗ всередині генератора, коли відсікання спрацьовує через струм, що припливає до місцю КЗ від паралельно працюючих з ним генераторів.

Захисні характеристики автоматичних вимикачів мало підходять для захисту генераторів, оскільки їх захист від перевантаження через великий час дії не може бути використана в якості МТЗ. Для цього доводиться використовувати селективну струмову відсічку, однак забезпечити при цьому надійну відбудову від режимів пуску електродвигунів зазвичай не вдається. Тому застосування автоматичних вимикачів можливе лише для генераторів потужністю не більше 100 кВт, якщо у схемі електропостачання відсутні двигуни, пуск чи самозапуск яких може викликати спрацювання захисту генератора.

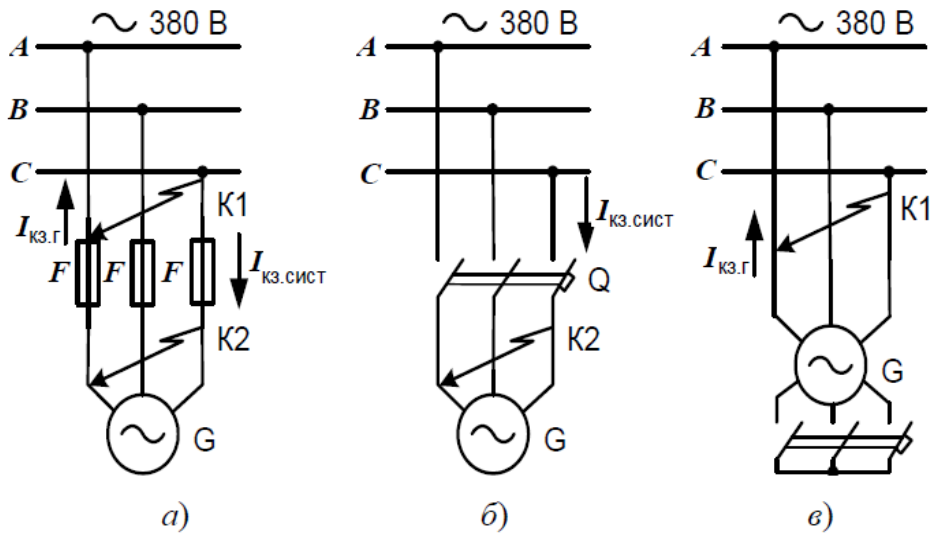


Рисунок 1.1. Розрахункові точки КЗ при захисті низьковольтних генераторів:

a – захист генератора запобіжниками; *б* – захист автоматичними вимикачами при роботі генератора паралельно з іншими генераторами;

в - захист автоматичними вимикачами при одиночній роботі генератора;

K1 - розрахункова крапка КЗ при одиночній роботі генератора, при цьому визначається $I_{кз.г}^{(3)}$; *K2* - розрахункова точка КЗ при роботі генератора паралельно з іншими генераторами, при цьому визначається $I_{кз.сист}^{(3)}$

Струмівий захист, що виробляється автоматичними вимикачами, виконується двофазним, якщо нейтраль генератора не заземлена, і трифазним, якщо нейтраль глухо заземлена.

Автоматичні вимикачі встановлюються зі сторони шинних виводів при його паралельній роботі з іншими генераторами, а при одиночною роботі - зі сторони нульових виводів (Рис. 1.1).

Автоматичні вимикачі з комбінованими розчіплювачами здійснюють захист генератора від КЗ та від перевантажень. Блок-контакти автомата використовуються для відключення автомата гасіння поля (АГП). При виборі автоматів приймається формула

$$I_{розр} = I_{н.г}$$

Висновки по розділу 1

Проведений аналіз ушкодження генераторів у нормальному режимі роботи.

Визначені основні напрями захист аварійних генераторів напругою 0,4 кВ з використанням запобіжників та автоматичних вимикачів.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ БЛОКУ ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР

2.1 Коротка характеристика об'єкта, що захищається

До складу схеми мережевої ділянки входять: теплова електрична станція, що складається з п'яти генераторних блоків потужністю по 63 МВт, що працюють на шини 110-220 кВ, система зв'язана лініями зв'язку з електричною станцією. Об'єктом, що захищається, є один з блоків електричної станції (Г1-Т5), до складу якого входять: генератор, що підвищує трансформатор і трансформатор власних потреб.

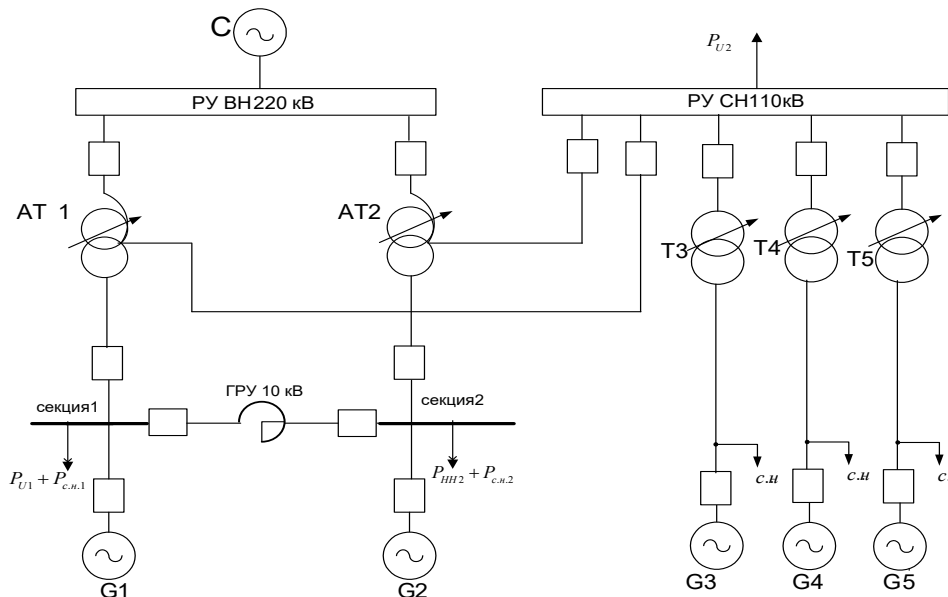


Рисунок 2. 1. Схема електричних з'єднань станції

Опишемо систему:

$$S_{кз} = 800 \text{ МВА}; U_{ном} = 230 \text{ кВ}$$

Таблиця 1 - Параметри генераторів

Тип	число шт.	n, об/хв	$S_{ном}$, МВА	$\cos\phi$	$I_{ном}$, кА	$U_{ном}$, кВ	X_d'' , в.о	X_d' , в.о	X_d , в.о	X_2 , с
ТВФ-63-2 УЗ	5	3000	78,75	0,8	4,33	10,5	0,153	0,224	1,199	0,186
Турбогенератор з непрямым водневим охолодженням із збудженням від машинного збудника змінного струму підвищеної частоти										

Розшифровка позначень:

T – турбогенератор;

ВФ - водневе форсоване охолодження

63 – номінальна активна потужність генератора, МВт;

2 – число полюсів;

Таблиця 2 - Параметри автотрансформаторів

Тип	S _{ном} , МВА	U _{ном} , кВ			Втрати, кВт				I _{xx} , %
		ВН	СН	ПН	P _{xx}	P _{кз}			
						В-С	В-Н	С-Н	
АТДЦТН-125000/220/110	125	230	121	10.5	65	315	280	275	0,4
Напруга КЗ, %									
ВН-СН		ВН-НН				СН-НН			
11		45				28			

Таблиця 3 - Параметри трансформаторів

Тип	S _{ном} , МВА	U _{ном} , кВ		Втрати, кВт		U _к , %	I _{xx} , %
		ВН	ПН	P _{xx}	P _{кз}		
ТДЦ-80000/110	80	121	10,5	85	310	11	0,6

2.2. Вибір та обґрунтування встановлюваних захистів

Види ушкоджень та ненормальних режимів роботи

Синхронні генератори відносяться до найбільш відповідального обладнання, що працює в режимі інтенсивних електричних та механічних навантажень. Їх вихід із роботи може призвести до виникнення системної аварії, тому пристрої релейного захисту повинні у повному обсязі забезпечувати вимоги швидкодії, селективності, чутливості та надійності.

Відповідно до ПУЕ для блоків генератор - трансформатор з генераторами потужністю понад 10 МВт повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від таких видів ушкоджень та ненормальних режимів роботи:

Пошкодження генераторів

Виткові замикання є найбільш ймовірним і небезпечним видом ушкодження і характеризуються протіканням великих струмів у витках, що

замкнулися, при незначній зміні струму в неушкодженій частині обмотки. Замикання між витками зазвичай супроводжуються замиканням на землю і здебільшого виникають внаслідок розвитку uszkodження, спричиненого однофазним замиканням на землю.

Замикання на землю найчастіше виникає режим uszkodження. У місці замикання на землю зазвичай виникає дуга, яка може призвести до значних руйнувань сталі статора за великого струму uszkodження.

Замикання на землю найбільш вірогідні на ділянках статора обмотки поблизу лінійних висновків. Однак, як показав досвід експлуатації, можливі замикання на землю та поблизу нейтралі (зокрема при зниженні рівня ізоляції під впливом води, що охолоджує). Генератори великої потужності при замиканні на землю статора обмотки повинні відключатися.

Багатофазні КЗ. Багатофазні КЗ в обмотці статора найімовірніші при розвитку пошкодження, спричиненого однофазним замиканням на землю. Однак можливі міжфазні КЗ без землі, що виникають в лобових частинах обмотки. Так як великі струми пошкодження викликають значні руйнування генератора, ці КЗ повинні негайно відключатися швидкодіючим захистом.

Пошкодження обмотки ротора. Обмотки ротора генератора знаходяться під невисокою напругою (300-500), тому їх ізоляція має значний запас міцності. Через важкі механічні умови роботи поширеними видами пошкодження обмотки ротора і ланцюга збудження є замикання на землю в одній і двох точках. Замикання на землю в одній точці не супроводжується великими струмами і не впливає на роботу генератора. Однак при цьому виникає небезпека пошкодження ізоляції ланцюга збудження у другій точці. При появі його частина обмотки ротора шунтується, внаслідок чого спотворюється магнітне поле машини. Це може призвести до значної вібрації та руйнування підшипників та ущільнень валу генератора. Виникнення дуги при замиканні на землю в другій точці може викликати місцеве обгорання ізоляції та оплавлення міді обмотки.

Аномальні режими роботи генераторів

Зовнішні КЗ повинні бути ліквідовані захистами суміжних приєднань. Однак у разі відмови захисту або вимикача цього елемента струм короткого замикання має бути вимкнений захистом генератора.

Перевантаження генератора виникають в результаті відключення або відділення частини паралельно працюючих генераторів, при роботі форсування збудження, самозапуск двигунів, втрати збудження і т.д. Симетричні перевантаження можливі при зумовлених недоліком реактивної потужності на даній ділянці енергосистеми зниження напруги в мережі, на яку працюють енергоблоки.

Перевантаження генератора по статорному струму завжди супроводжується перевантаженням по струму ротора і викликає перегрів обмоток, старіння ізоляції і, як наслідок, її пошкодження. Для ліквідації перевантаження проводиться автоматичне зниження струму збудження за допомогою блоку розвантаження автоматичного регулятора збудження (АРВ) і захисту ротора від перевантаження. Остання крім дії на розвантаження, якщо при цьому перевантаження не усувається, відключає генератор.

Оскільки автоматична ліквідація перевантаження ротора усуває і навантаження статора, у разі останньої достатньо забезпечити дію сигналізації.

Несиметрія фазних струмів виникає при зовнішніх однофазних та двофазних замиканнях, при великому несиметричному навантаженні ближніх споживачів, при неповнофазних режимах роботи енергосистеми. Несиметрія супроводжується появою в обмотці статора струмів зворотної послідовності. При цьому в роторі виникають струми подвійної частоти, що викликають його підвищений нагрівання і вібрацію частин машини, що обертаються.

Підвищення напруги обмотки статора, можливе в умовах холостого ходу генератора при несправності системи збудження або при обриві ланцюгів напруги АРВ. Для запобігання таким підвищенням напруги на турбогенераторах потужністю 160 МВт і вище має проводитися гасіння поля за допомогою спеціального захисту.

Асинхронний режим виникає при втраті збудження та внаслідок порушення стійкості. Продовжуючи видавати активну потужність, отримує збудження від мережі. При цьому знижується до нуля гальмівний синхронний момент, частота обертання генератора збільшується і виникає ковзання 03-07%.

В умовах асинхронного режиму внаслідок споживання мережі великої реактивної потужності значно збільшується струм статора і знижується напруга на висновках генератора. Тому активна потужність, що видається генератором в асинхронному режимі, має обмежуватися.

Ушкодження трансформаторів

При виконанні захисту трансформаторів мають бути враховані такі режими:

- багатофазні замикання в обмотках та на виводах;
- однофазні замикання в обмотках та на виводах;
- виткові замикання в обмотках;
- зовнішні короткі замикання;
- підвищення напруги на ушкоджених фазах (для трансформаторів 110 кВ, що працюють у режимі ізольованої нейтралі);
- перевантаження трансформатора;
- зниження рівня оливи;
- "Пожежа" стали магнітопроводу.

Вибір захисту

Для захисту блоку генератор-трансформатор як *основні захисти* прийнято:

для турбогенераторів:

- поперечний диференційний захист, призначений для захисту від виткових замикань;
- поздовжній диференційний захист на реле типу РНТ-565 для захисту від міжфазних замикань. Захист встановлюється на турбогенераторах потужністю понад 63 МВт;

- захист від замикань на землю в обмотці статора на реле РЗГ – 100.
для трансформаторів:

- поздовжній диференційний захист трансформатора від пошкоджень на висновках та внутрішніх пошкоджень (виконаний на реле типу ДЗТ-21);

- газовий захист трансформатора
для трансформаторів власних потреб:

- поздовжній диференціальний захист від пошкоджень на висновках та внутрішніх пошкоджень (виконаний на реле типу ДЗТ-21);

- газовий захист трансформатора

Як резервні захисти прийняті:

для турбогенераторів:

- дистанційний захист від зовнішніх симетричних замикань (виконаний на блок-релі типу БРЕ 2801);

- чотириступінчастий струмовий захист зворотної послідовності від несиметричних зовнішніх коротких замикань (виконаний на блок-реле S3-1101).

для трансформаторів:

- МТЗ нульової послідовності від струмових зовнішніх замикань на грішну землю.

для трансформаторів власних потреб:

- дистанційний захист.

Як захист від аномальних режимів прийнято:

- захист від симетричного навантаження обмотки статора (виконаний на блок-релі БЕ-1103)

- зашита від перевантаження обмотки ротора

- захист від втрати збудження (виконаний на блок-релі БРЕ-2801)

струмове відсікання від міжфазних коротких замикань.

2.3. Планування та розрахунок типових аварійних режимів

Для вибору та розрахунку захистів необхідно порахувати струми короткого замикання у кількох точках. Для цього складається схема заміщення, представлена на рисунку 2.

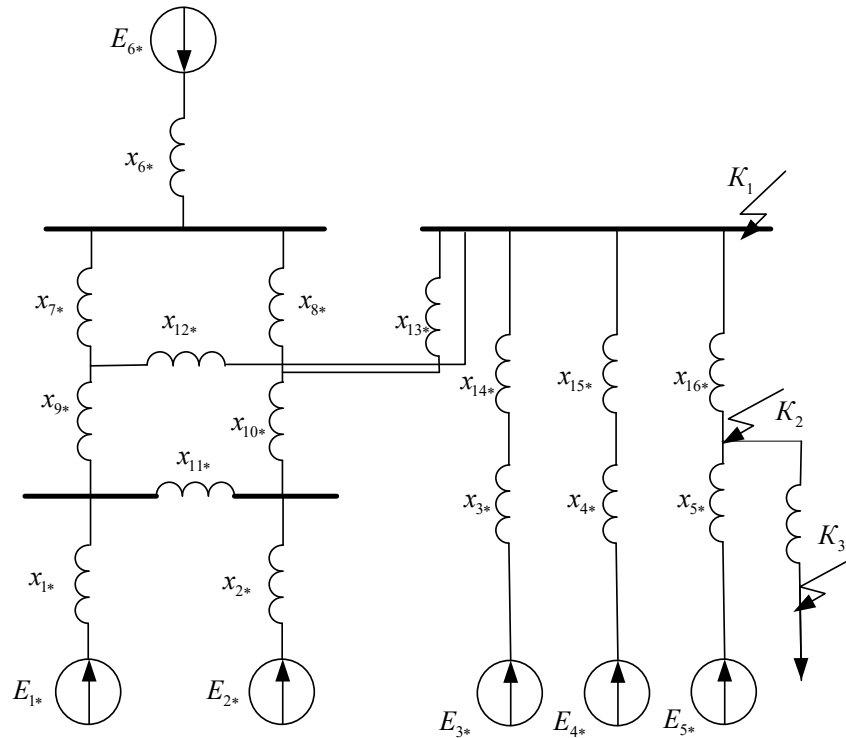


Рисунок 2.2 – Схема заміщення ТЕС

Для розрахунку схеми заміщення приймається $U_B = 110 \text{ кВ}$.

Опір енергосистеми:

$$X_C = \frac{U_B^2}{S_K} = \frac{(110)^2}{800} = 15,125 \text{ Ом}$$

- Генератори:

Опір прямої послідовності:

$$X_{r1-5} = \frac{X_{d1}'' U_B^2}{S_{НОМ1}} = \frac{0,153 \cdot (110)^2}{78,75} = 23,51 \text{ Ом}$$

Опір зворотної послідовності:

$$X_{r1(2)} = \frac{X_{(2)r1} U_B^2}{S_{НОМ1}} = \frac{0,186 \cdot (110)^2}{78,75} = 28,58 \text{ Ом}$$

- Двообмотувальні трансформатори

$$X_{T3,4,5} = X_{14-16} = \frac{U_{K1\%} U_B^2}{100 S_{НОМ1}} = \frac{11 \cdot (110)^2}{100 \cdot 80} = 16,64 \text{ Ом}$$

Автотрансформатори:

$$U_{A1B\%} = U_{A2B\%} = 0,5 \cdot (U_{kB-H} + U_{kB-C} - U_{kC-H}) = 0,5 \cdot (45 + 11 - 28) = 15\%$$

$$U_{A1C\%} = U_{A2C\%} = 0,5 \cdot (U_{kB-C} + U_{kC-H} - U_{kB-H}) = 0,5 \cdot (11 + 28 - 45) = -3\%$$

$$U_{A1H\%} = U_{A2H\%} = 0,5 \cdot (U_{kB-H} + U_{kC-H} - U_{kB-C}) = 0,5 \cdot (45 + 28 - 11) = 31\%$$

$$X_{AT1B} = X_{AT2B} = \frac{U_{ATB\%} U_B^2}{100 S_{НОМ1}} = \frac{15 \cdot (110)^2}{100 \cdot 125} = 14,52 \text{ Ом}$$

$$X_{AT1C} = X_{AT2C} = \frac{U_{ATC\%} U_B^2}{100 S_{НОМ1}} = \frac{-3 \cdot (110)^2}{100 \cdot 125} = -2,9 \approx 0 \text{ Ом}$$

$$X_{AT1H} = X_{AT2H} = \frac{U_{ATH\%} U_B^2}{100 S_{НОМ1}} = \frac{31 \cdot (110)^2}{100 \cdot 125} = 30,01 \text{ Ом}$$

Трансформатор власних потреб:

$$X_T = \frac{U_{K1\%} U_B^2}{100 S_{НОМ}} = \frac{8 \cdot (110)^2}{100 \cdot 10} = 96,8 \text{ Ом}$$

Реактори:

$$X_{11} = X_p \frac{U_B^2}{U_{cp}^2} = 0,18 \cdot \frac{110^2}{10,5^2} = 19,755 \text{ Ом}$$

Після перетворення схеми щодо блоку Г5-Т5 в еквівалентну схему заміщення проводиться розрахунок струмів короткого замикання (трифазний, двофазний) у трьох точках, представлених на рисунку 2. В результаті схема виглядає наступним чином:

Результати струмів короткого замикання представлені на рисунках 2.5-2.10. Розрахунок виконаний з використанням програми « Line »:

Елемент	Сопротивл прямой посл., Ом	Сопротивл обратной посл., Ом	Фазная ЭДС, кВ
1 1	7,58	7,58	63,6
1 2	16,64	16,54	Нет
2 2	23,51	28,58	63,6
2 3	96,8	96,8	Нет

Рисунок 2.4 – Введення даних

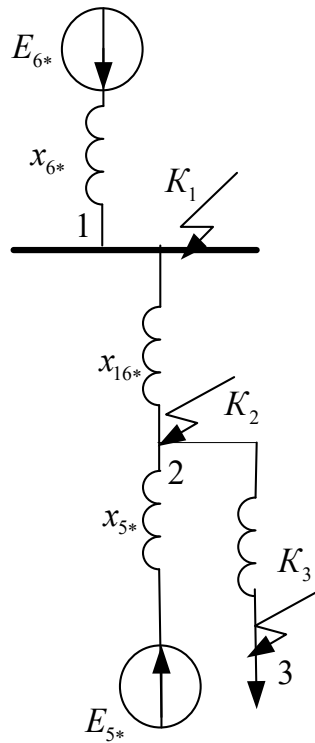


Рисунок 2.3 – Еквівалентна схема заміщення ТЕЦ

07.03.2011

ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА

Проект *Project1.bdt*
 Вид короткого замыкания **Трехфазное**
 Точка короткого замыкания **1**

Токи короткого замыкания, кА		Напряжения в узлах, кВ	
Ветви	Ток	Узел	Значение
1 - 1	8,391	1	0,000
1 - 2	-1,584	2	26,359
2 - 2	1,584	3	26,359

Рисунок 2.5 – Струми трифазного КЗ у вузлі 1

07.03.2011

ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА

Проект *Project1.bdt*
 Вид короткого замыкания **Двухфазное**
 Точка короткого замыкания **1**

Токи короткого замыкания, кА			Напряжения обратн. посл. в узлах, кВ	
Ветви	Полный ток	Ток обратн. посл.	Узел	Значение
1 - 1	7,266	4,232	1	-32,081
1 - 2	-1,372	-0,711	2	-20,321
2 - 2	1,372	0,711	3	-20,321

Рисунок 2.6 – Струми двофазного КЗ у вузлі 1

07.03.2011

ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА

Проект *Project1.bdt*
 Вид короткого замыкания **Трехфазное**
 Точка короткого замыкания **2**

Токи короткого замыкания, кА		Напряжения в узлах, кВ	
Ветви	Ток	Узел	Значение
1 - 1	2,626	1	43,695
1 - 2	2,626	2	0,000
2 - 2	2,705	3	0,000

Рисунок 2.7 – Струми трифазного КЗ у вузлі 2

07.03.2011

ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА

Проект *Project1.bdt*
 Вид короткого замыкания **Двухфазное**
 Точка короткого замыкания **2**

Токи короткого замыкания, кА			Напряжения обратн. посл. в узлах, кВ	
Ветви	Полный ток	Ток обратн. посл.	Узел	Значение
1 - 1	2,274	1,379	1	-10,453
1 - 2	2,274	1,379	2	-33,263
2 - 2	2,343	1,164	3	-33,263

Рисунок 8 – Струми двофазного КЗ у вузлі 2

07.03.2011

ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА

Проект *Project1.bdt*
 Вид короткого замыкания **Трехфазное**
 Точка короткого замыкания **3**

Токи короткого замыкания, кА		Напряжения в узлах, кВ	
Ветви	Ток	Узел	Значение
1 - 1	0,288	1	61,416
1 - 2	0,288	2	56,622
2 - 2	0,297	3	0,000
2 - 3	0,585		

Рисунок 2.9 – Струми трифазного КЗ у вузлі 3

07.03.2011

ПРОТОКОЛ РАСЧЕТА

Проект *Project1.bdt*
 Вид короткого замыкания **Двухфазное**
 Точка короткого замыкания **3**

Токи короткого замыкания, кА			Напряжения обратн. посл. в узлах, кВ	
Ветви	Полный ток	Ток обратн. посл.	Узел	Значение
1 - 1	0,250	0,158	1	-1,196
1 - 2	0,250	0,158	2	-3,806
2 - 2	0,257	0,133	3	-31,967
2 - 3	0,507	0,291		

Рисунок 10 – Струми двофазного КЗ у вузлі 3

Фактичні значення струмів короткого замикання для своєї напруги наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

№ вузла	$I_K^{(3)}, \text{кА}$	$I_K^{(2)}, \text{кА}$	$I_{K.обр}^{(2)}, \text{кА}$
1	1,584	1,372	0,711
2	$2,705 \cdot \frac{110}{10,5} = 28,34$	$2,343 \cdot \frac{110}{10,5} = 24,55$	$1,164 \cdot \frac{110}{10,5} = 12,19$
3	$0,297 \cdot \frac{110}{6,3} = 5,18$	$0,257 \cdot \frac{110}{6,3} = 4,49$	$0,133 \cdot \frac{110}{6,3} = 2,32$

Висновки по розділу 2

В даному розділі проведено вибір та обґрунтування встановлюваних захистів. Визначені види ушкоджень та ненормальних режимів роботи.

Виконано планування та розрахунок типових аварійних режимів

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК УСТАВОК ЗАХИСТІВ І ОЦІНКА ЇХ ЧУТЛИВОСТІ

3.1 Розрахунок захисту генератора

Поперечний диференційний захист

Захист ставиться на генераторах, обмотки статора яких містять паралельні гілки. Виконується одиночною системною на реле типу РТ-40/Ф із фільтром вищих гармонік. Це реле приєднується до трансформатора струму, врізаного в перемичку між нейтраліями паралельних статора обмоток.

Первинний струм спрацьовування

$$I_{с.з.} = 0,2 \cdot I_{ном} = 0,2 \cdot 4,33 = 0,866 \text{ кА},$$

$$\text{де } I_{ном} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном}} = \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,8} = 4,33 \text{ кА}.$$

Поздовжній диференційний захист

Захист виконується з використанням виключно на трьох реле типу РНТ – 565, які встановлюються безпосередньо на генераторах потужністю до 63 МВт.

Струм спрацьовування захисту відбудовується від струму небалансу при зовнішньому к.з. або при асинхронному ході:

При зовнішньому КЗ:

$$I_{сз} = k_n \cdot I_{нб.розр} = 1,2 \cdot 1,417 = 1,7 \text{ кА},$$

де $k_n = 1,2$ - коефіцієнт надійності;

$$I_{нб.розр} = k_{одн} \cdot f_i \cdot I'_{max} = 0,5 \cdot 0,1 \cdot 28,34 = 1,417 \text{ кА},$$

де $k_{одн} = 0,5$ - коефіцієнт однотипності при однотипних трансформаторах струму;

$f_i = 0,1$ - допустима десятивідсоткова похибка трансформаторів струму;

$I'_{max} = 28,34 \text{ кА}$ - періодична складова струму трифазного КЗ на виводах генератора.

Необхідна кількість витків визначається за виразом

$$W_{\text{розр}} = \frac{F_{\text{сп}} \cdot n_{\text{ТТ}}}{I_{\text{СЗ}}} = \frac{100 \cdot 6000 / 5}{1,7 \cdot 10^3} = 70,59 \approx 70, \text{ де}$$

$F_{\text{сп}} = 100 \text{ А}$ - магніторушійна сила спрацьовування реле;

$n_{\text{ТТ}} = 6000/5$ - коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Коефіцієнт чутливості перевіряється струмом двофазного к.з. в мінімальному режимі роботи генератора:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К}}^{(2)}}{I_{\text{СЗ}}}$$

Розрахунковий струм КЗ визначається для двох режимів: пошкодження одиночно працюючого генератора, коли струм пошкодження протікає тільки від генератора: $I_{\text{К}}^{(2)} = 24,55 \text{ кА}$

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К}}^{(2)}}{I_{\text{СЗ}}} = \frac{24,55}{1,7} = 14,439 > 2$$

пошкодження генератора, що включає методом самосинхронізації, коли струм до місця к.з. підходить тільки від мережі:

$$I_{\text{К}}^{(2)} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot X_{\text{Е}}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{110}{10,5} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot (16,64 + 7,584 + 23,51)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{110}{10,5} = 12,05 \text{ кА}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К}}^{(2)}}{I_{\text{СЗ}}} = \frac{12,05}{1,7} = 7,09$$

Захист від замикань на землю в статорній обмотці

Для захисту від таких пошкоджень на генераторі застосовується захист реле РЗГ - 100.

Накладений постійний струм джерела через об'єднані нейтралі обмоток вищої напруги обмоток трансформаторів напруги подається на обмотки статора. Розмір струму в реагує органі РВ визначається опором ізоляції обмотки статора. У нормальному режимі роботи накладений струм незначний, і захист не працює. При замиканні на землю або зниженні рівня ізоляції накладений струм збільшується, що призводить до спрацьовування сигнального елемента або сигнального та одночасно відключаючих елементів.

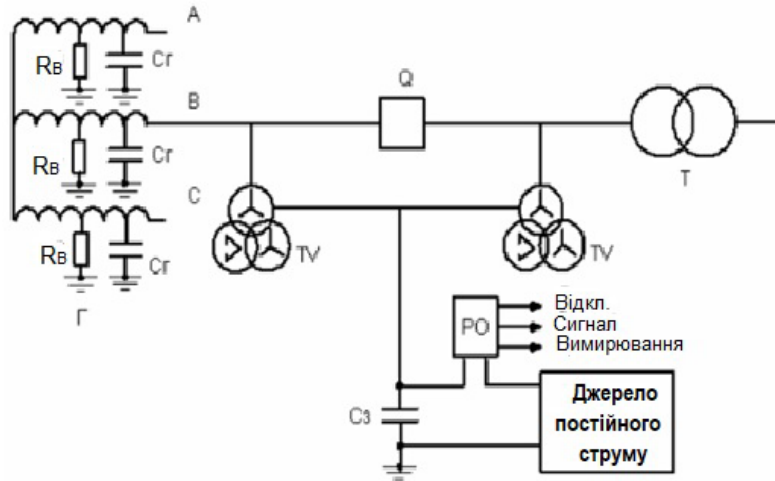


Рисунок 3.1. Схема захисту на постійному накладеному струмі.

Сигнальний елемент реагує на опір $R=100-200$ кОм. Вимикаючий елемент спрацьовує при $R < 10$ кОм.

У захисті передбачено ланцюг підключення вимірювального приладу для контролю ізоляції статора обмотки в процесі експлуатації.

Дистанційний захист.

Блок -реле типу БРЕ-2801, включається на різницю струмів ($I_A - I$) трансформаторів струму, встановлених в нейтралі генератора, і на міжфазну напругу U_{AB} трансформатора напруги, встановленого на висновках генератора. Реле дозволяє отримати кругову чи еліптичну характеристику.

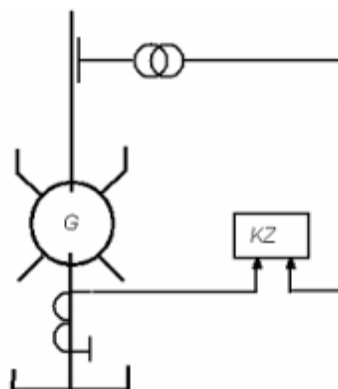


Рисунок 3.2. Схема включення дистанційного захисту від зовнішніх КЗ

Опір спрацьовування захисту вибирається з умови відбудови від максимального режиму навантаження

$$Z_{cз} = \frac{Z_{наван}}{k_H \cdot k_n \cdot \cos(\varphi_{мч} - \varphi_{наван})} = \frac{0,887}{1,2 \cdot 1,05 \cdot \cos(70 - 70)} = 0,704 \text{ Ом};$$

де $k_H = 12$ - коефіцієнт надійності;

$k_n = 1,05$ - коефіцієнт повернення;

$\varphi_{мч} = 65-80^\circ$ – кут максимальної чутливості;

$\varphi_{наван} = 70^\circ$ - Кут навантаження.

$$Z_{роб.мин} = \frac{0,95 \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot 1,5 \cdot I_{НОМ}} = \frac{0,95 \cdot 10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,5 \cdot 4,33} = 0,887 \text{ Ом};$$

$$\text{Уставка на реле } Z_{ср} \leq Z_{cз} \frac{n_{тс}}{n_{тн}} = 0,704 \cdot \frac{1200}{181,865} = 4,65 \text{ Ом}$$

$$\text{де } n_{тн} = 10500 / \left(\frac{100}{\sqrt{3}} \right) = 181,865 - \text{ коефіцієнт трансформації}$$

трансформатора напруги;

$$n_{тс} = \frac{6000}{5} = 1200 - \text{ коефіцієнт трансформації трансформатора струму.}$$

Захист виконується з двома витримками часу, що забезпечують ближнє та дальнє резервування. Необхідне значення коефіцієнта чутливості має бути не менше 1,5 та 2.

При КЗ висновків генератора, тобто. при ближньому резервуванні, розрахунок До неможливий, т.к. напруга на висновках генератора при КЗ дорівнює 0.

Для дальнього резервування:

$$K_{ч} = \frac{Z^{(3)}_K}{Z_{cз}} = \frac{1,542}{0,704} = 2,19 > 2$$

$$Z^{(3)}_K = \frac{U_3}{I_K} = \frac{43,695}{28,34} = 1,542 \text{ Ом}$$

Чотириступінчастий захист зворотної послідовності

Захист виконується із незалежною витримкою часу на реле типу БЕ1101.

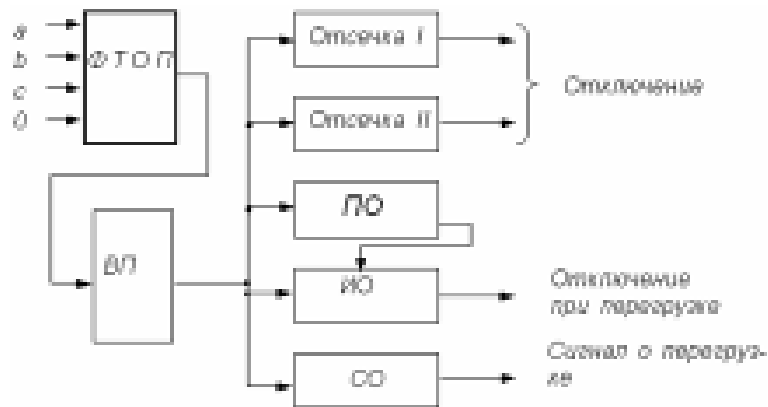


Рисунок 3.3. Структурна схеми чотириступінчастого струмового захисту.

Уставка спрацьовування відсікання I вибирається з умови забезпечення необхідної чутливості до несиметричного к.з. за резервованим елементом:

$$I_{сп}^I = \frac{I_{к.звор}^{(2)}}{k_{\chi}} = \frac{0,711}{1,5} \cdot \frac{110}{10,5} = 4,966 \text{ кА};$$

$$\text{де } I_{к.звор}^{(2)} = 4,966 \text{ кА},$$

$$k_{год} = 1,5;$$

$$I_{уст} = (0,4 \div 1,2) I_{ном} = (1,732 \div 5,196) \text{ кА};$$

$$I_{сп.п.о.} = (0,08 \div 0,24) I_{ном} = 0,12 \cdot I_{ном} = 0,12 \cdot 4,33 = 0,52 \text{ кА} -$$

Струм

спрацьовування пускового органу

$$I_{сп.с.о.} = 0,09 \cdot I_{ном} = 0,09 \cdot 4,33 = 0,39 \text{ кА} - \text{ струм спрацьовування сигнального}$$

органу.

Струм спрацьовування відсічки II вибирається з умови забезпечення необхідної чутливості при двофазному к.з. на висновках генератора

$$I_{сп}^{II} = \frac{I_{к.звор}^{(2)}}{k_{\chi}} = \frac{12,19}{1,5} = 8,127 \text{ кА},$$

$$\text{де } I_{к.звор}^{(2)} = 12,19 \text{ кА},$$

$$k_{год} = 1,5;$$

$$I_{уст} = (0,7 \div 1,9) I_{ном} = (3,031 \div 8,227) \text{ кА};$$

$$t \approx 0,3 \text{ с} - \text{ витримка часу.}$$

Захист від симетричних навантажень обмотки статора

Захист виконується на реле типу БЕ-1103.

Струм спрацьовування:

- сигнального органу $I_{\text{порівн.с.о.}} = 1,05 \cdot I_{\text{ном}} = 1,05 \cdot 4,33 = 4,55 \text{ кА};$
- пускового органу $I_{\text{ср.п.о.}} = 1,1 \cdot I_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 4,33 = 4,763 \text{ кА}.$

Захист від перевантаження ланцюгів збудження

Діапазон уставок сигнального органу (1-1,2) $I_{\text{ном}}$, рекомендується -1,07;
пускового органу захисту (1,05-1,2) $I_{\text{ном}}$, рекомендується -1,15.

$$I_{\text{ср.с.о.}} = 1,07 \cdot 1,325 = 1,42 \text{ кА};$$

$$I_{\text{ср.п.о.}} = 1,15 \cdot 1,325 = 1,52 \text{ кА}.$$

Захист від замикань на землю в обмотці ротора

Захист виконується на блок-релі БЕ-1104.

Блок реагує на зниження опору ізоляції обмотки ротора:

- при зниженні опору до 10 ком подається сигнал;
- при зниженні опору до 2,5 ком формується команда на відключення.

Захист від втрати збудження

Захист виконується на реле опору блок-релі БРЕ-2801. На струмовий вхід реле опору подається різниця струмів двох фаз від трансформаторів струму, встановлених у нейтралі або на виводах генератора, на напругу - міжфазна напруга від трансформаторів напруги на виводах генератора.

У нормальному режимі Z розташований в 1 квадранті. При втраті збудження Z переміщується в 3 або 4 квадранти і захист спрацьовує.

Для запобігання спрацьовування реле при порушеннях синхронізму в системі його кругова характеристика зміщується по осі jX в III і IV квадранти, $Z_{\text{см}} = 0,4 \cdot X_d'' = 0,4 \cdot 0,153 = 0,0612$, витримка часу береться рівною (1 -2) сек. Діаметр кола характеристики приймається рівним $Z_{\text{вуст}} = 1,1 \cdot X_d'' = 1,1 \cdot 0,153 = 0,1683$.

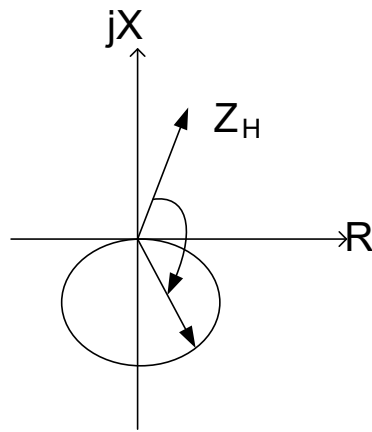


Рисунок 3.4. Характеристика захисту типу БРЕ

Витримка часу береться рівною (1-2)сек.

3.2 Розрахунок захисту блочного трансформатора

Газовий захист трансформатора

Газовий захист встановлюється на трансформаторах з оливною системою охолодження.

Принцип дії газового захисту заснований на тому, що при будь-якому навіть незначному пошкодженні обмоток за рахунок виділення тепла відбувається розкладання оливи. Розкладання оливи супроводжується виділенням газу, інтенсивність виділення якого залежить від тяжкості ушкодження.

Газовий захист виконується за допомогою газових реле, які мають металевим корпусом, що встановлюється в маслопровід між баком і розширювачем трансформатора. Усередині корпусу реле встановлюють поплавкові контакти, які з появою газу замикають свої контакти. При слабкому газоутворенні реле діє сигнал, при інтенсивному - відключення.

Газовий захист є простим та універсальним інструментом для визначення внутрішніх пошкоджень трансформатора. Вона дозволяє визначити виткові замикання, на які не реагує диференціальний захист через малу величину струму.

Захист від пошкоджень на виводах та внутрішніх пошкоджень трансформатора

Найменування величини	Позначення та метод визначення	Чисельні значення для сторін		
		110 кВ	10,5 кВ	с.н.
Первинні номінальні струми трансформатора, А	$I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3}U_{НОМ}}$	$\frac{80000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 401,63$	$\frac{80000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 4398,86$	$\frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 549,86$
Схемі з'єднання ТА		Δ	Y	Y
Коефіцієнт трансформації ТА	$n_{ТТ}$	$800/5$	$6000/5$	$1500/5 \cdot 20/5 = 6000/5$
Вторинні струми у плечах захисту, А	$I_{НОМ} = \frac{I_{НОМ} \cdot k_{СХ}}{n_{ТТ}}$	$\frac{401,63 \cdot \sqrt{3}}{800/5} = 4,35$	$\frac{4398,86 \cdot 1}{6000/5} = 3,67$	$\frac{549,86 \cdot 1}{6000/5} = 0,458$
Номінальний струм прийнятого відгалуження ТА V на основній стороні, А	$I_{ОТВ.ТАВОСН} \leq I_{НОМВТОСН}$	4,25	-	-
Розрахунковий струм для вибору відгалужень Т на неосновних сторонах	$I_{ОТВТАВНЕОСН} \leq I_{ОТВТАВОСН} \cdot \frac{I_{НОМВТНЕОСН}}{I_{НОМВТОСН}} \cdot n_{АТ}$	-	$4,25 \cdot \frac{3,67}{4,35} = 3,59$	$\frac{4,25 \cdot (0,458/4,35)}{0,15} = 2,98$
Номінальні струми прийнятих відгалужень ТАV на неосновному боці, А	За табл. 6 та 7	-	3,63	3
№ відгалужень ТАV	За табл. 6 та 7	3	4	6
Розрахунковий струм відгалуження ПТ ланцюга гальмування, А	$I_{ОТВТОРМРАСЧ} \leq I_{НОМВТ} / n_{АТ}$	4,35	3,67	$0,458/0,15 = 3,05$
Прийнятий струм відгалуження ПТ ланцюга гальмування, А	За табл. 8	3,75	3	3
№ прийнятих відгалужень у ланцюзі гальмування	За табл. 8	2	3	3

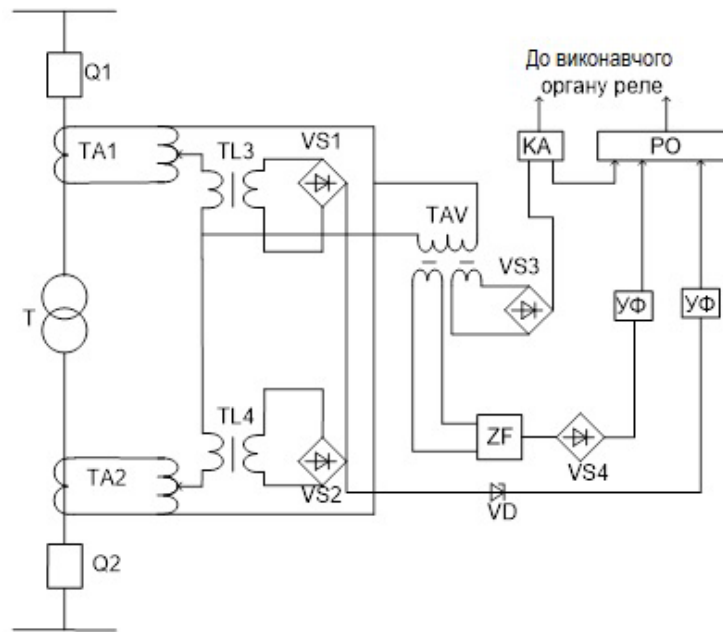


Рисунок 3.5- Однолінійна структурна схема захисту ДЗТ-21

Захист виконаний на реле типу ДЗТ-21. Воно виконано трифазним в чотиримодульній касеті і включає три фазних модуля і модуль живлення і управління.

Розрахунок захисту зведено до таблиці.

Порядок розрахунку:

- Розрахунок первинного струму для всіх сторін силового трансформатора

$$I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3}U_{НОМ}} = \frac{80000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 401,63 \text{ A}$$

- Вибір ТТ та схема з'єднання (довільно). На висновках ТСН. встановлюється 2 ТТ, тому що для кращої роботи диференціального захисту КТ паралельних гілок повинні бути однакові, а струм який протікає в гілки С.М. (ТДНС-10000/35) значно менше, ніж струм, що протікає від генератора, тому замість 1 ТТ встановлюють 2 ТТ, добуток КТТ який дорівнює КТТ ТТ , встановленого на висновках генератора: $1500/5 \cdot 20/5 = 6000/5$

- Розрахунок вторинних струмів у плечах захисту. $K_{сх} = \sqrt{3}$ при з'єднанні в трикутник, $K_{сх} = 1$ при з'єднанні в зірку.

- Розраховуємо відгалуження трансреактора (ТАV) для основної сторони. Вибираємо за основний бік ВН трансформатора.

$$I_{ВДОСН} = 4,35$$

Таблиця 6

№відп.	1	2	3	4	5	6
I від.ном, А	5	4,5	4,25	3,63	3	2,5

$$I_{ВДНОМ} = 4,25$$

А для неосновного боку струм:

$$I_{вторнеосн} = I_{ТАВОСН} \cdot \frac{I_{НОМВТНЕОСН}}{I_{НОМВТОСН}}$$

$$I_{вторнеосн} = 4,25 \cdot \frac{3,67}{4,35} = 3,59$$

$$I_{вторнеосн} = 4,25 \cdot \frac{0,458}{4,35} = 0,447 \text{ А}$$

Вибираємо вирівнюючий АТ типу 31 підвищення значення струму із боку С.Н.

Таблиця 7

№відп.	1	2	3	4	5	6
I від.ном,А	5	4,5	4,25	3,63	3	2,5
I втор,	0,447					
До АТ= I втор / I від.ном	0,089	0,099	0,105	0,123	0,15	0,179

Тоді $K_{АТ}$ вирівнюючого автотрансформатора дорівнюватиме 0,15 (найближче до стандартного значення).

$$\text{Тоді: } I_{ВДОСН} \leq \frac{I_{НОМВТОСН}}{K_{АТ}} = \frac{0,458}{0,15} = 3,05 \text{ А}$$

$$I_{вторнеосн} = \frac{4,25 \cdot \left(\frac{0,458}{4,35}\right)}{0,15} = 2,98 \text{ А}$$

За табл. 6 вибираємо $I_{\text{вторнеоснов}} = 3A$

Вибираємо відгалуження проміжних трансформаторів TL 3 і TL 4 ланцюга гальмування: $I_{\text{отв}} \leq I_{\text{ном.вт}} / n_{AT}$ Якщо трансформатора, що вирівнює, немає $n_{AT} = 1$

Таблиця 8

№відп.	1	2	3	4
I від.ном, А	5	3,75	3	2,5

Визначаємо струм спрацьовування захисту з урахуванням 2 умов:

а) за умовою відбудови від кидка намагнічування струму при включенні трансформатора під напругу $I_{C3} \geq K_H \cdot I_{\text{НОМ}} = 0,3 \cdot 401,63 = 120,489 \text{ А}; K_H = 0,3$

б) за умовою відбудови від розрахункового струму небалансу, що відповідає "початку гальмування"

$$I_{\text{ТОРМПОЧ}} = 0,5 \cdot I_{\text{НОМ}} \left(K_{\text{СТР1}} \frac{I_{1\text{ВІД.ТОРМ.НОМ}}}{I_{1\text{ВІД.ТОРМ.РОЗР}}} + K_{\text{ТОК2}} \frac{I_{2\text{ВІД.ТОРМ.НОМ}}}{I_{2\text{ВІД.ТОРМ.РОЗР}}} + K_{\text{ТОК3}} \frac{I_{3\text{ВІД.ТОРМ.НОМ}}}{I_{3\text{ВІД.ТОРМ.РОЗР}}} \right) =$$

$$= 0,5 \cdot 401,63 \cdot \left(1 \frac{3,75}{4,35} + 1 \frac{3}{3,67} + 1 \frac{3}{3,05} \right) = 534,79 \text{ А};$$

$$I_{\text{НБ}} = I_{\text{НБ}}^I + I_{\text{НБ}}^{II} + I_{\text{НБ}}^{III} = 26,74 + 0 + 9,5 = 36,288 \text{ А};$$

$$I_{C3} \geq k_H \cdot I_{\text{НБ}} = 1,5 \cdot 36,288 = 54,43 \text{ А};$$

$$I_{\text{НБ}}^I = k_A k_{\text{ОДН}} f_i \cdot I_{\text{ТОРМ.ПОЧ}} = 1 \cdot 1 \cdot 0,05 \cdot 534,79 = 26,74 \text{ А};$$

складова, зумовлена похибкою трансформаторів струму;

$$k_A = 1; k_{\text{одн}} = 0,5-1; f_i = 0,05.$$

$$I_{\text{НБ}}^{II} = \Delta U \cdot I_{\text{ТОРМ.ПОЧ}} / 100 = 0 \text{ А}; \text{ - Похибка, обумовлена наявністю РПН.}$$

Захищений трансформатор не містить РПН.

$$I_{\text{НБ}}^{III} = \left| \frac{I_{1\text{ВІД.РАСЧ}} - I_{1\text{ВІД.НОМ}}}{I_{1\text{ВІД.РОЗР}}} - \frac{I_{2\text{ВІД.РОЗР}} - I_{2\text{РОЗР.НОМ}}}{I_{2\text{ВІД.РОЗР}}} \right| \cdot I_{\text{ТОРМ.ПОЧ}} =$$

$$= \left| \frac{3,59 - 3,63}{3,59} + \frac{2,98 - 3}{2,98} \right| \cdot 534,79 = 9,5 \text{ A};$$

З двох одержаних значень вибирається більше: $I_{\tilde{N}C} = 120,489 \text{ A}$.

Відносний мінімальний струм спрацьовування реле за відсутності гальмування (всі величини для неосновної сторони):

$$I_{CP}^* = \frac{I_{C3} \cdot k_{CX}}{n_{TC} \cdot I_{ВД.НОМ.ТАВ}} = \frac{120,489 \cdot \frac{115}{10,5} \cdot 1}{6000/5 \cdot 3,63} = 0,3 \text{ кА}.$$

Приймається значення коефіцієнта гальмування $KT = 0,9$.

Приймається струм спрацьовування відсічення

$$I_{CP.ВДС} = 6 \cdot I_{НОМ} = 6 \cdot 401,63 = 2409,78 \text{ A}.$$

Чутливість захисту згідно з ПУЕ можна не перевіряти.

Струмівий захист нульової послідовності від струмів зовнішнього замикання на землю

За наявності заземленої нейтралі захист виконується у вигляді трьох щаблів на реле типу РТ-40 або РНТ – 560.

Первинний струм спрацьовування першого та другого ступенів вибирається з двох умов:

- умови узгодження щодо чутливості відповідно до першого та другого ступеня захисту від замикання на землю суміжних ЛЕП:

$$I_{0C3}^1 \geq k_{ВДС} \cdot k_{ТОК} \cdot I_{0C3(ПОПЕР)}^1,$$

де

$k_{ВДС} = 1,1$ - Коефіцієнт відбудови;

$k_{СТР} = 1$ - Коефіцієнт струморозподілу;

$3I_{0нел}$ - потрібне значення струму нульової послідовності, що проходить у місці встановлення захисту, при тривалих зовнішніх неповнофазних режимах;

З розрахованих значень вибирається більше і перевіряється за умовою відбудови струму небалансу в нульовому дроті.

Первинний струм спрацьовування третього ступеня вибирається за умовою відбудови від струму небалансу в нульовому дроті у таких режимах:

- при трифазних коротких замиканнях на стороні нижчої напруги аналізованого трансформатора та за трансформаторами даної та протилежних підстанцій

$$I_{0СЗ}^{III} \geq k_{ВДС} \cdot I_{0НБ},$$

де

$k_{ВДС} = 1,25$ - коефіцієнт відбудови;

$I_{0НБ} = k_{НБ} \cdot I_{РОЗР}$ - струм небалансу при зовнішньому трифазному замиканні;

$k_{НБ} = (0,05 - 0,1)$ - Коефіцієнт небалансу;

$I_{РОЗР}$ - струм у місці встановлення захисту при зовнішньому трифазному замиканні.

- у післяаварійних навантажувальних режимах

$$I_{0СЗ}^3 \geq \frac{k_{ВДС}}{k_{\epsilon}} \cdot (I_{0НБ} + 3I_{0вн.нс}),$$

де

$k_{ОТС} = 1,25$ - коефіцієнт відбудови;

$3I_{0вн.нс}$ - потрібний струм нульової послідовності, зумовлений зовнішньою несиметрією.

Чутливість захисту перевіряється за виразом

$$k_{\text{ч}} = \frac{3 \cdot I_{0\text{КЗ}}}{I_{0\text{СЗ}}}$$

Чутливість першого і другого ступенів перевіряється при замиканні на землю на шинах підстанції, що розглядається, третій ступінь перевіряється по струму замикання на землю в кінці суміжних ліній.

Необхідне значення коефіцієнта чутливості – порядку 1.2.

Захист трансформатора власних потреб

Газовий захист

Газовий захист є простим та універсальним інструментом для визначення внутрішніх пошкоджень трансформатора. Вона дозволяє визначити виткові замикання, на які не реагує диференціальний захист через малу величину струму.

Диференційний захист

Захист виконується трифазною трирелейною з реле з гальмуванням ДЗТ-21. Застосування зазначеного реле дозволяє прийняти струм спрацьовування захисту приблизно $0,3 I_{\text{НОМ}}$ з урахуванням можливості його роботи на крайніх відгалуженнях РПН. Для відбудови від струмів небалансу при зовнішніх КЗ у схемі передбачається гальмування за 6 кВ.

Таблиця 9

Найменування величини	Позначення та метод визначення	Чисельні значення для сторін	
		10,5 кВ	6,3 кВ
Первинні номінальні струми трансформатора, А	$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}$	$\frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 549,857$	$\frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 916,429$
Схеми з'єднання ТА		Y	Y
Коефіцієнт трансформації ТА	n_{TC}	$\frac{800}{5}$	$\frac{1500}{5}$
Вторинні струми у плечах захисту, А	$I_{\text{НОМ}} = \frac{I_{\text{НОМ}} \cdot k_{\text{СХ}}}{n_{\text{TC}}}$	$\frac{549,857 \cdot 1}{\frac{800}{5}} = 3,44$	$\frac{916,429 \cdot 1}{\frac{1500}{5}} = 3,055$
Номінальний струм прийнятого відгалуження ТА V на основній стороні, А	$I_{\text{ВІД.ТАВОСН}} \leq I_{\text{НОМВТОСН}}$	-	3

Розрахунковий струм для вибору відгалужень Т на неосновних сторонах	$I_{ВДТАВНЕОСН} \leq I_{ВДТАВОСН} \times \frac{I_{НОМВТНЕОСН}}{I_{НОМВТОСН}} / n_{AT}$	$3 \cdot \frac{3,44}{3,055} = 3,38$	-
Номінальні струми прийнятих відгалужень ТАВ на неосновному боці, А		3	-
№ відгалужень ТАВ		5	5
Розрахунковий струм відгалуження ПТ ланцюга гальмування, А	$I_{ВДТОРМРАСЧ} \leq I_{НОМВТ} / n_{AT}$	3,44	3,055
Прийнятий струм відгалуження ПТ ланцюга гальмування, А		3	3
№ прийнятих відгалужень у ланцюзі гальмування		3	3

Визначається струм спрацьовування захисту:

а) за умовою відбудови від кидка струму намагнічування при включенні трансформатора під напругу:

$$I_{C3} \geq 0,3 \cdot I_{НОМ} = 0,3 \cdot 549,857 = 164,96 \text{ А};$$

б) за умовою відбудови від розрахункового струму небалансу, що відповідає "початку гальмування"

-Складова, обумовлена похибкою трансформаторів струму;

$$k_A = 1; k_{одн} = 1; f_i = 0,05.$$

$$I_{ТОРМПОЧ} = 0,5 \cdot I_{НОМ} \left(K_{ТОК1} \frac{I_{1ВД.ТОРМ.НОМ}}{I_{1ВД.ТОРМ.РОЗР}} + K_{ТОК2} \frac{I_{2ВД.ТОРМ.НОМ}}{I_{2ВД.ТОРМ.РОЗР}} \right) =$$

$$= 0,5 \cdot 549,857 \cdot \left(1 \frac{3}{3,44} + 1 \frac{3}{3,055} \right) = 509,74 \text{ А};$$

$$I'_{НБ} = k_A k_{одн} f_i \cdot I_{ТОРМ.ПОЧ} = 1 \cdot 1 \cdot 0,05 \cdot 509,74 = 25,49$$

-Складова, обумовлена наявністю РПН у силових трансформаторів;

$$I''_{НБ} = \frac{\Delta U}{100} \cdot I_{ТОРМ.ПОЧ} = \frac{10}{100} \cdot 509,74 = 50,974 \text{ А}$$

-складова, обумовлена розбіжністю розрахункових та номінальних струмів прийнятих відгалужень проміжних автотрансформаторів або трансреакторів для неосновних сторін.

$$I_{НБ}^{III} = \left| \frac{I_{1ВІД.РОЗР} - I_{1ВІД.НОМ}}{I_{1ВІД.РОЗР}} \right| \cdot I_{ТОРМ.ПОЧ} =$$

$$= \left| \frac{3,37 - 3}{3,37} \right| \cdot 509,74 = 55,97 \text{ А};$$

$$I_{НБ} = I_{НБ}^I + I_{НБ}^{II} + I_{НБ}^{III} = 25,49 + 50,97 + 55,97 = 132,43 \text{ А};$$

$$I_{СЗ} \geq k_H \cdot I_{НБ} = 1,5 \cdot 132,43 = 198,64 \text{ А};$$

З двох одержаних значень вибирається більше: $I_{НБ} = 198,64 \text{ А}$.

Відносний мінімальний струм спрацьовування реле за відсутності гальмування

$$I_{СР}^* = \frac{I_{СЗ} \cdot k_{СХ}}{n_{ТТ} \cdot I_{ВІД.НОМ.ТАВ}} = \frac{198,64 \cdot \frac{10,5}{6,3}}{1500 / 5 \cdot 3} = 0,367.$$

Приймається значення коефіцієнта гальмування $K_T = 0,9$.

Приймається струм спрацьовування відсічення

$$I_{СР.ОТС} = 6 \cdot I_{НОМ} = 6 \cdot 549,857 = 3299,14 \text{ А}.$$

Чутливість захисту згідно з ПУЕ можна не перевіряти.

Дистанційний захист на боці НН

Захист шин секції та резервування захисту приєднань цієї секції.

Захист виконується на блок-релі БРЕ2801.

Опір спрацьовування визначається за умовою відбудови від індуктивного опору повністю зупинених електродвигунів, що беруть участь у самозапуску:

$$Z_{C3} = \frac{0,95 \cdot U_{ном.об}}{k_n \cdot k_\epsilon \cdot k_{н.сп} \cdot I_{номТСН} \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,95 \cdot 6000}{1,2 \cdot 1,05 \cdot 6 \cdot 916,429 \cdot \sqrt{3}} = 0,475 \text{ Ом};$$

де $k_n = 1,2$ – коефіцієнт надійності

$k_\pi = 1,05$ - коефіцієнт повернення реле опору

$k_{н.сп} = 6$ - середнє значення пускового коефіцієнта двигунів.

Захист виконується на блок-релі БРЕ2801.

Опір спрацьовування відбудовується від опору спрацьовування на низькій стороні трансформатора:

$$Z_{C3} = \frac{Z_{C3HH}}{2} = \frac{0,475}{2} = 0,238 \text{ Ом};$$

Висновки по розділу 3

В доному розділі був проведений розрахунок уставок та виконана оцінка чутливості захистів.

Слід відмітити, що поперечний захист ставиться на генераторах, обмотки статора яких містять паралельні гілки. Виконується одиночною системою на реле типу РТ-40/Ф із фільтром вищих гармонік.

ВИСНОВОК

В даній кваліфікаційній роботі було розглянуто схему блоку «Генератор- трансформатор».

У ході роботи були розглянуті всі можливі пошкодження та ненормальні режими роботи блоку генератор-трансформатор потужністю 63 МВт, що працює на шинах 110 кВ. Для цього блоку були розраховані струми короткого замикання у трьох точках. Отримані результати використовували при виборі, розрахунку та перевірці захисту. Встановлені типи релейного захисту відповідають вимогам ПУЕ, а саме:

- Селективність
- Швидкодія
- Чутливість
- Надійність

Розглянули можливу структурну схему розміщення захисту.

Наприкінці можна назвати, що розглянута схема мережного району, має дані види релейного захисту, задовольняє вимогам експлуатації та надійності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила влаштування електричних установок. К: Енергія, 2005. 480 с.
2. Електротехнічний довідник У 3 т. Т. 3. Виробництво та розподіл електричної енергії (За загальною ред. Професорів МЕІ: І. Н. Орлова та ін) 7-е вид.: Випр. та дод. М.: Вища школа, 1988. 880 с.
3. Вавін В.М. Релейний захист блоків турбогенератор-трансформатор. М: Енерговидав, 1982, 255 с.
4. Берковіч М.А. та ін. Основи техніки релейного захисту. М.: Вища школа, 1984. 376 с.
5. Коп'єв В.М. Релейний захист основного електроустаткування електростанцій та підстанцій. Питання проектування. - Томськ: Изд. ТПУ, 1999. - с.92.
6. Коп'єв В.М. Релейний захист. Принципи виконання та застосування: Навчальний посібник. 2-ге вид., Випр. і доп. - Томськ: вид. ТПУ, 2001.-132 с.