

# **МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Національний університет «Запорізька політехніка»

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять з дисципліни "Електричні апарати" для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" усіх форм навчання

2020

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Електричні апарати" для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" усіх форм навчання /Укл. О.М.Климко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 58 с.

Укладач: О.М.Климко , доцент, к.т.н.

Рецензент: І.В.Авдєєв , доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: О.А.Шрам, доцент, к.т.н.

ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні кафедри  
“Електропостачання промислових  
підприємств”  
Протокол № 4 від 24.12.19

Рекомендовано до випуску  
НМК ЕТФ  
протокол № 6 від 23.01.2020

**ЗМІСТ**

Вступ.....	4
1 Загальні відомості.....	5
2 Вибір та перевірка запобіжників.....	9
3 Вибір та перевірка автоматичних вимикачів.....	12
4 Вибір та перевірка теплових реле.....	14
5 Складання схеми реверсивного керування асинхронним двигуном та вибір комутаційних та захисних апаратів.....	15
6 Вибір та перевірка високовольтних комутаційних апаратів.....	19
7 Вибір та перевірка струмообмежувальних реакторів.....	25
8 Вибір та перевірка трансформаторів струму.....	29
9 Вибір та перевірка трансформаторів напруги.....	33
Рекомендована література.....	35
Додаток А.....	36
Додаток Б.....	37
Додаток В.....	38
Додаток Г.....	40
Додаток Д.....	41
Додаток Е.....	48
Додаток Ж.....	49
Додаток И.....	50
Додаток К.....	57

## ВСТУП

Дисципліна „Електричні апарати” передусе вивченню таких важливих для фахівців з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки дисциплін як „Електричні системи та мережі”, „Електрична частина станцій та підстанцій”, „Електропостачання промислових підприємств”, „Основи релейного захисту та автоматики”.

Електричний апарат – це електротехнічний пристрій, який використовується для вмикання та вимикання електричних кіл, контролю, вимірювання, захисту, керування та регулювання установок, що призначені для виробництва, перетворення, передачі, розподілення та споживання електроенергії.

Вивчаючи дисципліну „Електричні апарати” студенти повинні ознайомитися з основними положеннями теорії електричних апаратів високої та низької напруги, особливостями роботи апаратів в нормальному та аварійних режимах, призначенням, принципом дії, будовою, режимами роботи апаратів і окремих їх частин, експлуатаційними характеристиками та методикою розрахунків, вибором та перевіркою електричних апаратів і струмовідних частин.

Робочою програмою дисципліни передбачені лекції, лабораторні роботи та практичні заняття. На лекціях студенти ознайомляться з основними положеннями теорії електричних апаратів. Лабораторні роботи мають допомогти студентам ознайомитися з промисловими зразками електрообладнання, яке використовується на електричних станціях та підстанціях систем електропостачання. Практичні заняття повинні сприяти набуттю навичок самостійного вибору та перевірки електричних апаратів, складання електричних схем.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Першою та однаковою для вибору всіх апаратів є вимога щодо робочої напруги: клас ізоляції не може бути меншим за напругу мережі, де встановлено цей апарат

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}} \quad (1.1)$$

Окрім того для вибору більшості високовольтних апаратів (вимикачів, роз'єднувачів, віддільників, короткозамикачів, вимикачів навантаження, струмообмежувальних реакторів, трансформаторів струму) та провідників необхідно знати робочі струми нормального та післяаварійного режимів роботи, а також струми аварійного короткочасного режиму, а саме режиму трифазного короткого замикання у відповідних точках схеми системи електропостачання.

Необмежено довга за часом робота обладнання електричної установки характеризується двома режимами: нормальним і максимальним (післяаварійним).

Нормальний – це такий режим, за якого всі елементи систем електропостачання знаходяться в роботі, а їхні параметри не виходять за межі номінальних значень. Нормальний режим роботи характеризується струмом нормального режиму  $I_{\text{норм}}$ .

Максимальний – це такий режим роботи, за якого частина елементів системи електропостачання з різних причин (плановий, післяаварійний ремонт тощо) вимкнена, внаслідок чого решта елементів працює з підвищеним навантаженням. Максимальний режим роботи характеризується струмом максимального режиму  $I_{\text{макс}}$ .

Для елементів системи електропостачання в колі генератора (струмопроводи, вимикачі, роз'єднувачі, трансформатори струму) струм нормального режиму визначається номінальним режимом його роботи, а максимальний режим – генеруванням у мережу номінальної

потужності  $P_{НОМ}$  при зменшенні напруги на виводах генератора на 5% відносно номінальної (тобто перевантаження струмом – до 5%).

$$I_{НОРМ} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} \quad (1.2)$$

$$I_{МАКС} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} \quad (1.3)$$

Робочі струми у колі трансформаторів зв'язку на підстанціях визначаються їхнім навантаженням заданої потужності (нормальний режим) та припустимим перевантаженням при вимиканні одного з трансформаторів або одної лінії (максимальний режим).

$$I_{НОРМ} = (0,65 \dots 0,7) \frac{S_{НОМ,Т}}{\sqrt{3} U_{НОМ}} \quad (1.4)$$

$$I_{МАКС} = (1,3 \dots 1,4) \frac{S_{НОМ,Т}}{\sqrt{3} U_{НОМ}} \quad (1.5)$$

Для ліній електропередавання, якими видається потужність в систему, за максимальний режим приймають умову, що одна з  $n$  ліній вимкнена аварійним захистом.

$$I_{НОРМ} = \frac{S}{n \sqrt{3} U_{НОМ}} \quad (1.6)$$

$$I_{МАКС} = \frac{S}{(n-1) \sqrt{3} U_{НОМ}} \quad (1.7)$$

Максимальний струм збірних шин залежить від схеми електричних з'єднань РП (це буде струм вводу для РП 6, 10, 35 кВ, споживачів або струм кількох приєднань РП підвищеної напруги електростанції).

У колах секційного та шиноз'єднувального вимикачів струм максимального режиму визначається з урахуванням струморозподілу шинами за найбільш несприятливого експлуатаційного режиму.

Вибрані за номінальною напругою та номінальним струмом електричні апарати обов'язково перевіряються на електродинамічну та термічну стійкість до струмів короткого замикання.

Розрахунок струмів короткого замикання більш докладно буде розглядатися пізніше у дисципліні „Електромагнітні перехідні процеси”, а зараз лише ознайомимося з деякими поняттями (в курсі „Електричних апаратів” при розв'язанні задач будуть відомі всі складові струмів короткого замикання).

Коротким замиканням називають будь-яке випадкове чи навмисне, не передбачене нормальним режимом роботи електричне з'єднання різних точок електроустановки між собою або із землею, при якому струми різко зростають.

Струм короткого замикання визначається сумою періодичної та аперіодичної складових (рис.1.1)

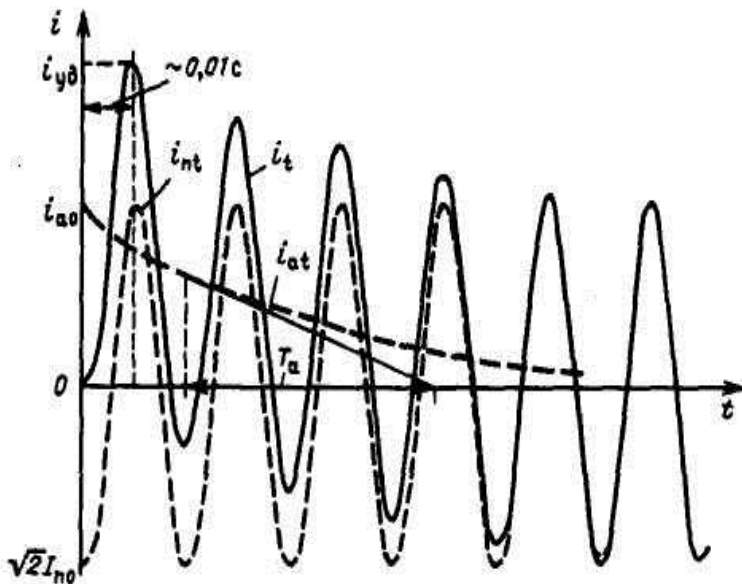


Рисунок 1.1 – Зміна фазного струму короткого замикання

Умовно вважають, що періодична складова  $i_{пт}$  струму короткого замикання від джерела електропостачання, що має початкове значення  $\sqrt{2}I_{п0}$ , де  $I_{п0}$  – її початкове діюче значення, не змінюється у часі, а аперіодична складова  $i_{ат}$  з початковим значенням  $i_{а0}$  загасає за експонентою із сталою часу  $T_a$ .

Для перевірки апаратів та провідників за умовами короткого замикання розраховують:

$I_{п0}$  – найбільше початкове діюче значення періодичної складової струму короткого замикання;

$I_{пт}$  – діюче значення періодичної складової струму короткого замикання у момент розходження дугогасних контактів;

$i_{а0}$  – початкове значення аперіодичної складової струму короткого замикання;

$i_{ат}$  – значення аперіодичної складової струму короткого замикання у момент розходження дугогасних контактів;

$i_y$  – ударний струм короткого замикання (найбільше миттєве значення повного струму короткого замикання, воно з'являється через півперіоду після появи короткого замикання  $t = 0,01$  с);

$I_{\infty}$  – усталене значення струму короткого замикання;

$V_K$  – інтеграл Джоуля.

Перевірка вибраних апаратів стійкості при короткому замиканні в будь-якій точці мережі полягає в порівнянні паспортних значень припустимих струмів динамічної та термічної стійкості з розрахунковими значеннями струмів короткого замикання, що відбулось в найбільш вразливому місці, тобто в такій точці, коли через апарат буде протікати найбільший з можливих значень струму КЗ. При наявності кількох джерел струму треба визначити сумарне значення як діючого, так і миттєвого струмів (це характерно для проекту електростанції, де струми КЗ будуть надходити від системи та генераторів).

## 2 ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ЗАПОБІЖНИКІВ

Запобіжником називається апарат, призначений для автоматичного одноразового вимикання кола при короткому замиканні або перевантаженні. Вимикання кола запобіжником здійснюється при розтопленні топки вставки, яка нагрівається струмом, що протікає через неї.

Запобіжники характеризуються номінальним струмом топки вставки  $I_{\text{ном.вст.}}$ , тобто величиною струму, на яку розрахована топка вставка при тривалій роботі. В один і той же корпус (патрон) запобіжника, можуть встановлюватися топкі вставки на різні номінальні струми, тому сам запобіжник характеризується номінальним струмом запобіжника  $I_{\text{ном.зап.}}$ , який дорівнює найбільшому з номінальних струмів топких вставок, які призначені для цієї конструкції запобіжника.

Запобіжники високої напруги поширені значно менше, ніж запобіжники низької напруги. Вони призначені для захисту силових трансформаторів, повітряних та кабельних ліній, конденсаторів, електродвигунів та трансформаторів напруги.

Вибір запобіжників відбувається за конструктивним виконанням, за номінальною напругою та номінальним струмом топки вставки.

$$U_{\text{ном.зап}} \geq U_{\text{мережі}}$$

Номінальний струм топки вставки вибирається за різними формулами в залежності від типу електроприймача, якого він захищає.

Для безінерційного запобіжника у разі "спокійного" навантаження (печі опору, освітлювальні навантаження)

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\text{розр}}$$

де  $I_{\text{розр}}$  - розрахунковий струм лінії.

При захисті лінії до одиночного двигуна з легким пуском (двигуни металообробних верстатів, pomp і т. ін.)

$$I_{\text{ном.вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{2,5}$$

де  $I_{\text{пуск}}$  - пусковий струм двигуна.

Якщо пуск важкий (двигуни кранів, центрифуги, млини)

$$I_{\text{ном.вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{2 \dots 1,6}$$

При захисті лінії, що живить групу електроприймачів

$$I_{\text{ном.вст}} \geq \frac{I_{\text{нік}}}{2,5}$$

де  $I_{\text{пік}}$  - піковий струм.

$$I_{\text{нік}} = I_{\text{пуск.мах}} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{НОМ},i}$$

Перевірка вибраних топких вставок здійснюється за формулами:

$$I_{\text{к}}^{(3)} \leq I_{\text{НОМ.вим.}}$$

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{\text{НОМ.вст.}}$$

де  $I_{\text{НОМ.вим.}}$  – номінальний струм вимикання запобіжника (найбільший струм, що може вимкнутися запобіжник);  $I_{\text{к}}^{(3)}$  - струм трифазного короткого замикання;  $I_{\text{к}}^{(1)}$  - струм однофазного короткого замикання.

### Приклад

Розрахувати та вибрати топкі вставки для запобіжників ПН2, що захищають лінії. Номінальні дані електродвигунів серії 4А:  $U_{\text{н}}=380$  В;  $P_{1\text{ном}}=15$  кВт;  $\eta_1=0,89$ ;  $\cos\varphi=0,98$ ;  $P_{2\text{н}}=18,5$  кВт;  $\eta_2=0,895$ ;  $\cos\varphi_2=0,9$ ;  $P_{3\text{н}}=30$  кВт;  $\eta_3=0,9$ ;  $\cos\varphi_3=0,89$ . Кратність пуску 7,5. Умови пуску легкі. Струм трифазного замикання у точці К1 – 4 кА, у К2 – 3,95 кА. Струм однофазного замикання складає відповідно :  $I_{\text{к1}}^{(1)}=870$  А та  $I_{\text{к2}}^{(1)}=825$  А.

Спочатку розрахуємо номінальні струми двигунів за формулою

$$I_{\text{НОМ. дв.}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi}$$

$$I_{\text{НОМ. дв.1}} = 26,13 \text{ А}$$

$$I_{\text{НОМ. дв.2}} = 34,89 \text{ А}$$

$$I_{\text{НОМ. ДВ.3}} = 56,9 \text{ А}$$

Потім розраховуємо пускові струми за формулою

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{НОМ. ДВ.}}$$

$$I_{\text{пуск1}} = 195,9 \text{ А};$$

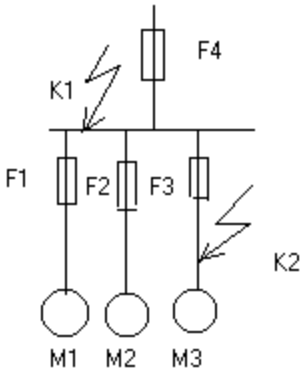
$$I_{\text{пуск2}} = 261,7 \text{ А};$$

$$I_{\text{пуск3}} = 426,8 \text{ А}$$

Для вибору запобіжника F4 потрібно розрахувати піковий струм

$$I_{\text{пік}} = I_{\text{пуск3}} + I_{\text{НОМ. ДВ.1}} + I_{\text{НОМ. ДВ.2}} \\ = 426,8 + 26,13 + 34,89 = 487,82 \text{ А}$$

Через те що умови пуску легкі приймаємо коефіцієнт 2,5 у формулі для визначення номінального струму топкої вставки



$$I_{\text{НОМ.ВСТ.1}} \geq 195,9/2,5 = 78,36 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ.ВСТ.2}} \geq 261,7/2,5 = 104,68 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ.ВСТ.3}} \geq 426,8/2,5 = 170,72 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ.ВСТ.4}} \geq 487,82/2,5 = 195,13 \text{ А}$$

Вибираємо відповідно запобіжники ПН-2 (дивись додаток А) з номінальними струмами топкої вставки  $I_{\text{НОМ.ВСТ.1}} = 80 \text{ А}$ ;  $I_{\text{НОМ.ВСТ.2}} = 120 \text{ А}$ ;  $I_{\text{НОМ.ВСТ.3}} = 200 \text{ А}$ ;  $I_{\text{НОМ.ВСТ.4}} = 250 \text{ А}$  (номінальний струм топкої вставки F4 ми вимушені збільшити, бо два запобіжники з однаковими струмами топкої вставки увімкнуті послідовно не будуть працювати селективно).

Перевіряємо топкі вставки за струмами короткого замикання.

За каталожними даними для ПН-2  $I_{\text{НОМ.ВИМ.}} = 40 \text{ кА}$  що значно більше ніж струми трифазного короткого замикання у точках K1 і K2 (4 кА і 3,95 кА). Перевірка на спрацювання при однофазному струмі короткого замикання теж свідчить про правильність вибору.

$$3 \cdot I_{\text{НОМ.ВСТ.4}} = 3 \cdot 250 = 750 \text{ А} < 870 \text{ А}$$

### 3 ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА АВТОМАТИЧНИХ ВИМИКАЧІВ

Автоматичні вимикачі (автомати) виконують одночасно функції захисту та керування, вони призначені для нечастих вмикань електричного кола при нормальному навантаженні, а також для автоматичного вимикання кола при виникненні перевантаження, короткого замикання, зникнення або зменшення напруги.

Автоматичне вимикання автоматів відбувається під дією на механізм вільного розчеплення елементів захисту – розчеплювачів (вбудованих релейних пристроїв прямої дії). Вимикання може відбуватися без витримки часу або з витримкою часу. Розчеплювачі бувають тепловими, електромагнітними, напівпровідниковими. Одною з головних характеристик автомата є захисна (часострумова) характеристика, яка визначає залежність часу спрацювання від струму. Автомати мають такі захисні характеристики: залежну, незалежну, обмежено залежну (двоступеневу) та тріступеневу. Найбільш поширеною захисною характеристикою є обмежено залежна. У зоні струмів перевантаження автомат вимикається із залежною від струму витримкою часу, у зоні струмів короткого замикання автомат вимикається струмовою відсічкою з незалежною від струму наперед встановленою витримкою часу (для селективних автоматів) або без витримки часу (для неселективних автоматів). Автомат з такою захисною характеристикою має або тепловий та електромагнітний розчеплювачі, або напівпровідниковий розчеплювач.

Вибір автоматичних вимикачів здійснюється за призначенням, за конструктивним виконанням (типами розчеплювачів), за номінальною напругою

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}}$$

Номінальний струм розчеплювача (теплого або напівпровідникового) вибирається за

$$I_{\text{ном. розч.}} \geq I_{\text{макс. роб.}}$$

Автоматичний вимикач перевіряється за струмом спрацювання розчеплювача миттєвої дії (струмом відсічки або струмом електромагнітного розчеплювача)

$$I_{\text{розч.ем}} = I_{\text{відс.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пік}}$$

і за струмом однофазного короткого замикання в нормальних приміщеннях для автоматів з комбінованим розчеплювачем

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{\text{розч.тепл}}$$

Якщо автомат має лише електромагнітний розчеплювач то умова має вигляд (при номінальному струмі автомата до 100 А)

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq 1,4 \cdot I_{\text{розч.ем}}$$

Якщо автомат розрахований на номінальний струм понад 100 А, то умова має вигляд

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{\text{розч.ем}}$$

Далі автомат перевіряється на вимикальну здатність

$$I_{\text{вим.}} > I_{\text{к}}^{(3)}$$

де  $I_{\text{к}}^{(3)}$  - струм трифазного короткого замикання ;

$I_{\text{вим}}$  – граничний струм вимикання автомата (каталожні дані).

Нарешті автомат перевіряється на динамічну стійкість до струмів короткого замикання

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у}}$$

### Приклад

Для захисту асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором 4А200L2У3 ( $P_{\text{ном}}=45$  кВт;  $U_{\text{ном}}=380$  В;  $\eta=0,91$ ;  $\cos\varphi=0,9$  ;  $I_{\text{пуск.}}/I_{\text{ном.}}=7,5$  ) вибрати автоматичний вимикач. У місці встановлення автомата струми трифазного та однофазного короткого замикання відповідно складають  $I_{\text{к}}^{(3)}=4,7$  кА та  $I_{\text{к}}^{(1)}=1,1$  кА

Спочатку розрахуємо номінальний струм двигуна

$$I_{\text{ном. дв.}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{45}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,91} = 83,48 \text{ А}$$

Далі визначимо пусковий струм за формулою

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном. дв.}} = 7,5 \cdot 83,48 = 626,1 \text{ А}$$

Вибираємо автомат ВА51Г-31(дивись додаток Б)  $U_{\text{ном}}=0,38$  кВ,

$$I_{\text{ном розч.}}=100 \text{ А}, I_{\text{розч.ем}} = 10 \cdot I_{\text{ном розч.}} = 10 \cdot 100=1000 \text{ А}, I_{\text{вим.}} = 7 \text{ кА.}$$

Зробимо перевірки:

$$I_{\text{ном розч.}}=100 \text{ А} > I_{\text{ном. дв.}}=83,48 \text{ А}$$

$$I_{\text{розч.ем}} = 1000 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 782,625 \text{ А}; I_{\text{вим.}} = 7 \text{ кА} > I_{\text{к}}^{(3)} = 4,7 \text{ кА}$$

$$3 I_{\text{розч.тепл}} = 3 \cdot 100 = 300 \text{ А} < I_{\text{к}}^{(1)} = 1100 \text{ А}$$

Таким чином автоматичний вимикач вибраний вірно.

## 4 ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ТЕПЛОВИХ РЕЛЕ

Для захисту електрообладнання від струмових перевантажень широко використовують теплові реле з біметалевим елементом. Через інерційність теплового процесу теплові реле непридатні для захисту кіл від струмів короткого замикання. Тому захист за допомогою теплових реле повинен бути доповнений запобіжниками або автоматичними вимикачами з електромагнітними розчеплювачами.

Теплові реле вибирають за номінальною напругою та номінальним струмом

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}}$$

Номінальний струм теплового реле вибирають рівним номінальному струму об'єкта, що захищають. Спрацювання теплового реле відбувається при струмі  $(1,2 \div 1,3)I_{\text{ном т. р.}}$  не пізніше ніж через 20 хвилин.

З магнітними пускачами серії ПМЛ використовують теплові реле серії РТЛ, а з магнітними пускачами серії ПМА використовують теплові реле серії РТТ.

### Приклад

Вибрати теплове реле для захисту від струмів перевантаження асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором 4А180М2У3 ( $P_{\text{ном}} = 30$  кВт;  $U_{\text{ном}} = 380$  В ;  $\eta = 0,9$  ;  $\cos \varphi = 0,92$  ;  $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}=7,5$  ). Для керування двигуном використовується магнітний пускач серії ПМА.

Для вибору теплового реле потрібно спочатку розрахувати номінальний струм двигуна

$$I_{\text{ном. дв.}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,92} = 55,04 \text{ А}$$

Вибираємо теплове реле РТТ-2 (дивись додаток В)  $U_{\text{ном}}=0,66$  кВ,  $I_{\text{ном}}=50$  А, межі регулювання струму неспрацювання  $42,5 \div 57,5$  А.

Усі умови виконані.

## **5 СКЛАДАННЯ СХЕМИ РЕВЕРСИВНОГО КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ ТА ВИБІР КОМУТАЦІЙНИХ ТА ЗАХИСНИХ АПАРАТІВ**

Контактор – це електричний апарат з електромагнітним приводом для дистанційного вмикання кіл під навантаженням. Контактори не мають пристроїв, які б реагували на перевантаження чи струми короткого замикання. Цю функцію виконують запобіжники та автоматичні вимикачі, які вмикаються послідовно з контактором. Електродинамічна та термічна стійкість контакторів не нормується. Контактори, як звичайно, утримуються у положенні "увімкнуто" електромагнітом.

В залежності від режиму роботи контактори розрізняються за категоріями застосування: на змінному струмі АС1, АС2, АС3, АС4. Категорії АС1 відповідає режим комутації кола зі слабоіндуктивним навантаженням, коли кут зсуву фаз між струмом та напругою кола близький до нуля (процес вимикання кола виявляється дуже легким). Умови вимикання електродвигунів змінного струму визначаються ступенем ковзання ротора відносно обертового поля магнітного поля статора. Чим більше ковзання у вимкнутому двигуні, тим складніші умови гасіння дуги змінного струму при вимиканні кола. Найбільш складні умови спостерігаються, коли вимикається загальмований двигун (режим АС4).

Магнітні пускачі – це різновид триполюсних контакторів змінного струму для керування асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором потужністю до 130 кВт при напрузі до 660 В. Керування пускачами здійснюється кнопками. Магнітні пускачі можуть бути реверсивними та неревверсивними, можуть мати теплові реле або ні. Реверсивний пускач окрім пуску та захисту двигуна забезпечує його реверс за допомогою зміни послідовності двох фаз. Такий пускач має два контактори, якорі яких з'єднані між собою важелем механічного блокування. Механічне блокування майже завжди доповнюється електричним (щоб котушка не вийшла з ладу внаслідок великого струму).

Тепер для двигунів з номінальним струмом до 40 А включно рекомендують використовувати магнітні пускачі серії ПМЛ, для двигунів на 63 А та вище – магнітні пускачі серії ПМА.

Магнітні пускачі нової серії ПМЛ призначені для роботи в мережах змінного струму напругою до 660 В при номінальному струмі від 10 до 200 А. Вони можуть бути реверсивними чи неререверсивними, мати теплові реле (триполюсні РТЛ) чи ні (друга цифра в позначенні пускача: 1 – неререверсивний без теплового реле; 2 – неререверсивний з тепловим реле; 5 – реверсивний без теплового реле з електричним та механічним блокуваннями; 6 – реверсивний з тепловим реле з електричним та механічним блокуваннями).

Магнітні пускачі серії ПМА розраховані на напругу до 660В і струми від 40 до 160А. Вони можуть бути реверсивними чи неререверсивними, мати теплові реле (триполюсні РТТ) чи ні (друга цифра в позначенні пускача: 1 – неререверсивний без теплового реле; 2 – неререверсивний з тепловим реле; 3 – реверсивний без теплового реле з електричним блокуванням; 4 – реверсивний з тепловим реле з електричним блокуванням; 5 – реверсивний без теплового реле з електричним та механічним блокуваннями; 6 – реверсивний з тепловим реле з електричним та механічним блокуваннями).

Вибір контакторів та магнітних пускачів здійснюється за категорією використання, за номінальною напругою та номінальним струмом

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}}$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роб.макс.}}$$

Схема керування асинхронним двигуном окрім кнопочних вимикачів (кнопок) і магнітного пускача повинна мати апарати захисту від струмів перевантаження (телові реле або теплові розчеплювачі автомата) та струмів короткого замикання (запобіжники або електромагнітні розчеплювачі автомата). Вибір захисних апаратів був розглянутий раніше. Схема реверсивного керування асинхронним двигуном наведена на рисунку 5.1.

## Приклад

Скласти схему реверсивного керування асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором 4А132М2У3 ( $P_{\text{ном}}=11$  кВт;  $U_{\text{ном}}=380$  В;  $\eta=0,88$ ;  $\cos\varphi=0,9$ ;  $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном.}}=7,0$ , умови пуску легкі). Вибрати магнітний пускач, запобіжники та теплові реле.

Схема реверсивного керування асинхронного двигуна наведена на рисунку 5.1. Для вибору магнітного пускача, запобіжників та теплового реле спочатку потрібно визначити номінальний та пусковий струми двигуна.

$$I_{\text{ном. дв.}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{H}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,88 \cdot 0,9} = 21,1 \text{ А}$$

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном. дв.}} = 7,0 \cdot 21,1 = 147,7 \text{ А}$$

Для захисту двигуна від струмів короткого замикання вибираємо запобіжник ПН-2 (дивись додаток А) з номінальним струмом топкої вставки

$$I_{\text{ном.вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{2,5} = 147,7 / 2,5 = 59,08 \text{ А} \quad \text{вибираємо } 60 \text{ А}$$

Для керування та захисту від струмів перевантаження вибираємо реверсивний магнітний пускач серії ПМЛ (дивись додаток Г) з триполюсним тепловим реле РТЛ (дивись додаток В).

$$\text{ПМЛ260004 в режимі АС3 } U_{\text{ном}} = 0,38 \text{ кВ та } I_{\text{ном}} = 25 \text{ А}$$

РТЛ102204  $U_{\text{ном}} = 0,38$  кВ,  $I_{\text{ном т.р.}} = 25$  А, межі регулювання струму неспрацювання  $18 \div 25$  А. Таким чином всі вибрані апарати задовольняють умовам вибору та перевірки.

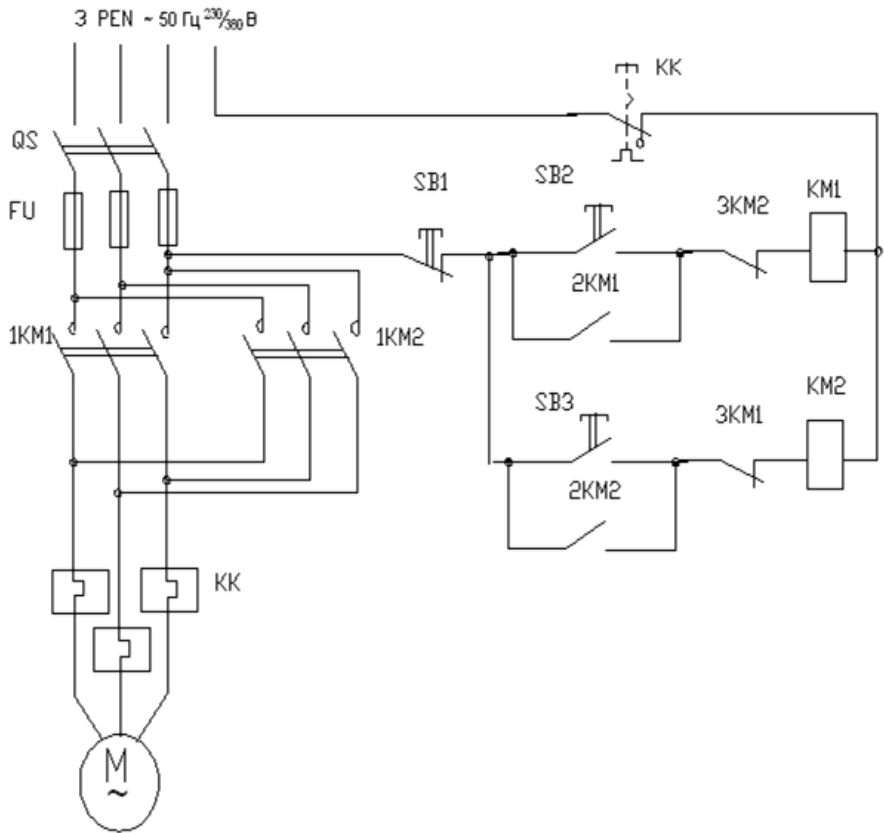


Рисунок 5.1 – Схема реверсивного керування асинхронного двигуна

## 6 ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ВИСОКОВОЛЬТНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

**Вимикачі високої напруги** призначені для комутації кіл змінного струму напругою понад 1000 В у будь-яких режимах експлуатації: вмикання та вимикання номінальних струмів, струмів КЗ, струмів марного ходу силових трансформаторів та ємнісних струмів конденсаторних батарей і довгих ліній. Це найбільш складні та дорогі апарати.

Конструктивні особливості вимикачів та їх характеристики визначаються принципом гасіння дуги, а також середовищем, у якому дуга горить у процесі вимикання. Високовольтні вимикачі за такою ознакою поділяються на оливні, елегазові, електромагнітні, вакуумні та повітряні (пневматичні).

Вимикачі вибирають за номінальними значеннями напруги та струму, родом установки, умовами роботи та конструктивним виконанням.

$$\begin{aligned} U_{\text{ном}} &\geq U_{\text{мережі}} \\ I_{\text{ном}} &\geq I_{\text{роб.макс.}} \end{aligned}$$

Вибрані вимикачі перевіряють на вимикальну здатність та на електродинамічну та термічну стійкість при наскрізних струмах короткого замикання.

Вимикальна здатність вимикача за ГОСТ 687-78\*Е задається номінальним струмом вимикання  $I_{\text{ном. роз.}}$  (діюче значення періодичної складової струму короткого замикання) та номінальним вмістом аперіодичної складової струму  $\beta_{\text{ном}}$ , %. Номінальний струм вимикання  $I_{\text{ном. роз}}$  та  $\beta_{\text{ном}}$  віднесені до моменту розмикання дугогасних контактів (момент часу  $\tau$ ). Час  $\tau$  від початку короткого замикання до розмикання дугогасних контактів визначається за формулою

$$\tau = t_{\text{рз min}} + t_{\text{влас}}$$

де  $t_{\text{рз min}} = 0,01$  с – мінімальний час дії релейного захисту;  
 $t_{\text{влас}}$  – власний час вимикання вимикача (каталожні дані).

Номинальний вміст аперіодичної складової  $\beta_{\text{ном}}$  %, який визначається як відношення аперіодичної складової до діючого значення періодичної складової струму короткого замикання у момент розходження дугогасних контактів вимикача, знаходиться за формулою

$$\beta_{\text{ном}} = \frac{i_{\text{атном}}}{\sqrt{2} I_{\text{НОМ.РОЗ}}} 100\%$$

або приймається за ГОСТ у вигляді кривої  $\beta_{\text{ном}} = f(\tau)$ , яка наведена на рисунку 6.1

При  $\tau > 70$  мс значення  $\beta_{\text{ном}}$  слід вважати рівним нулю.

При перевірці вимикача на вимикальну здатність повинні виконуватися такі умови

$$\begin{aligned} I_{\text{НОМ. РОЗ}} &\geq I_{\text{ПТ}} \\ i_{\text{ат ном}} &\geq i_{\text{ат}} \end{aligned}$$

де  $i_{\text{ат ном}} = \sqrt{2} I_{\text{НОМ. РОЗ}} \beta_{\text{ном}} / 100$  – номінальне значення аперіодичної складової струму вимикання.

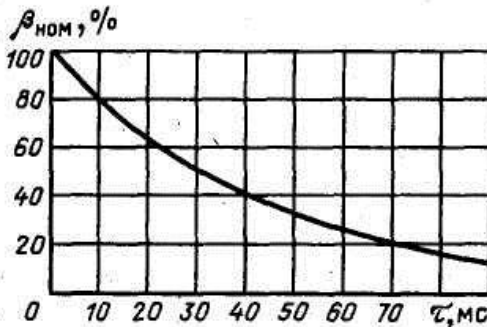


Рисунок 6.1 – Крива для визначення коефіцієнта  $\beta_{\text{ном}}$

Якщо друга вимога не виконується, то слід перевірити можливість вимикання повного струму короткого замикання

$$\sqrt{2} I_{\text{НОМ. РОЗ}} (1 + \beta_{\text{ном}} / 100) \geq \sqrt{2} I_{\text{ПТ}} + i_{\text{ат}}$$

Перевірка вимикача на електродинамічну стійкість до наскрізних струмів короткого замикання виконується за такими формулами

$$\begin{aligned} I_{\text{дин}} &\geq I_{\text{п0}} \\ i_{\text{дин}} &\geq i_y \end{aligned}$$

а на термічну стійкість

$$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq B_{\text{К}}$$

де  $I_{\text{дин}}$ ,  $i_{\text{дин}}$  – відповідно діюче та миттєве значення струму електродинамічної стійкості;  $I_{\text{т}}$ ,  $t_{\text{т}}$  – відповідно струм термічної стійкості та час його протікання.

При виборі вимикачів повинні розглядатися випадки короткого замикання як з одного так і з іншого боків вимикача та слід брати до уваги найбільш важкі режими, при яких струм, що вмикається вимикачем, має найбільше значення.

**Вимикач навантаження** – це триполюсний комутаційний апарат, розрахований на вимикання номінального струму. Він не призначений для вимикання струму КЗ, але його вмикальна здатність відповідає електродинамічній стійкості при КЗ.

Вимикачі навантаження застосовують у приєднаннях силових трансформаторів на боці вищої напруги замість силових вимикачів якщо це можливо за умовами роботи електроустановки. Для вимикання струмів КЗ застосовують високовольтні запобіжники (серії ПКТ), які встановлюються на одній рамі з вимикачем навантаження та вмикаються послідовно з ним.

Вимикачі навантаження вибирають за номінальною напругою та номінальним струмом

$$\begin{aligned} U_{\text{ном}} &\geq U_{\text{мережі}} \\ I_{\text{ном}} &\geq I_{\text{роб.макс.}} \end{aligned}$$

А перевіряються вони на електродинамічну та термічну стійкість до струмів короткого замикання

$$\begin{aligned} I_{\text{дин}} &\geq I_{\text{п0}} \\ i_{\text{дин}} &\geq i_y \\ I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} &\geq B_{\text{К}} \end{aligned}$$

**Роз'єднувач** – це комутаційний апарат, призначений для утворення видимого розриву, для перемикання приєднань розподільного пристрою в нормальних умовах з однієї системи збірних шин на іншу без перерви струму та для комутації дуже малих струмів ненавантажених силових трансформаторів та коротких ліній, нейтралей трансформаторів і уземлювальних дугогасних реакторів, якщо у мережі нема замикання на землю.

**Віддільник** – це звичайний триполюсний роз'єднувач. Віддільники серії ОД відрізняються від роз'єднувачів серії РНД тільки приводом. Вони мають пружинні приводи, які спрацьовують при поданні відповідної команди на вимикання. Вмикання здійснюється вручну. Час вимикання складає 0,4...0, 5 с.

Роз'єднувачі та віддільники вибирають за конструктивним виконанням, родом установки (внутрішня, зовнішня), за номінальною напругою та номінальним струмом

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}}$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роб.макс.}}$$

Вони теж перевіряються на електродинамічну та термічну стійкість до струмів короткого замикання

$$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{п0}}$$

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у}}$$

$$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$$

**Короткозамикач** – це апарат для утворення штучного КЗ в електричному колі. Вони разом з віддільниками раніше використовувалися в спрощених схемах підстанцій. Короткозамикач має один опорний ізолятор, на верхньому торці якого закріплюють нерухомий контакт і затискач для приєднання дроту. Рухомий контакт з пружинним приводом уземлює одну фазу (при  $U=35$  кВ – дві фази) за ручною командою або від релейного захисту. Пружинний привод вмикає короткозамикач за 0,15-0,4 с. Вмикання здійснюється вручну.

Короткозамикач вибирається лише за номінальною напругою

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}}$$

а перевіряється на електродинамічну та термічну стійкість до струмів короткого замикання

$$\begin{aligned} I_{\text{дин}} &\geq I_{\text{п0}} \\ i_{\text{дин}} &\geq i_y \\ I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}} &\geq V_{\text{К}} \end{aligned}$$

### Приклад

Вибрати високовольтний вимикач та роз'єднувач у колі генератора ТВФ-63-2 ( $P_{\text{ном}}=63$  МВт;  $\cos\varphi=0,8$ ;  $U_{\text{ном}}=10,5$  кВ ) Розрахункові струми короткого замикання складають:  $I_{\text{п,о ген}}=31,26$  кА,  $I_{\text{п,о сист}}=42,14$  кА,  $I_{\text{п,тген}}=31,14$  кА ,  $I_{\text{п,т сист}}=39,5$  кА,  $i_{\text{у ген}}=86,43$  кА,  $i_{\text{у сист}}=112,2$  кА,  $i_{\text{атген}}=7,14$  кА ,  $i_{\text{атсист}}=6,61$  кА а  $T_{\text{а}}=0,22$  с.

Для вибору вимикача та роз'єднувача спочатку потрібно розрахувати максимальний робочий струм за формулою

$$I_{\text{макс}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot 0,95 U_{\text{НОМ}} \cos \varphi} = \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 10,5 \cdot 0,8} = 4,558 \text{ кА}$$

Потім за розрахованим струмом та номінальною напругою генератора вибираємо з додатків Д та Є вимикач та роз'єднувач. Вимикач ВГГМ-10-5000-63У3 ( $U_{\text{ном}} = 10,5$  кВ,  $I_{\text{ном}} = 5000$  А,  $I_{\text{ном.роз}} = 63$  кА,  $I_{\text{дин}} = 63$  кА,  $i_{\text{дин}} = 173$  кА,  $I_{\text{T}} = 63$  кА,  $t_{\text{T}} = 3$  с,  $t_{\text{ВЛАС}} = 0,11$  с,  $t_{\text{ПОВН}} = 0,13$  с. Згідно з ПУЕ у колі генератора потрібно приймати  $\tau = 4$  с. Тоді час вимикання короткого замикання складає  $\tau_{\text{к}} = 4 + 0,13 = 4,13$  с. При короткому замиканні у місці встановлення вимикача струм складається з двох складових  $I_{\text{к,ген}}$  та  $I_{\text{к,сист}}$  (див. рисунок 6.2). При КЗ у точці 1 через вимикач протікає струм КЗ тільки від генератора, а при КЗ у точці 2 через вимикач протікає струм від усіх джерел системи. При виборі вимикача та роз'єднувача розрахунковою буде точка, в якій у разі КЗ через вимикач протікатиме більший струм.

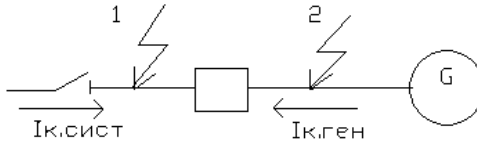


Рисунок 6.2 – Пояснювальна схема

Вибір та перевірку вибраних апаратів зводимо до таблиці 6.1

Таблиця 6.1 – Вибір вимикачів та роз'єднувачів

Розрахункові дані	Вимикач ВГГМ-10-5000- 63У3	Роз'єднувач РВРЗ- 20/6300У3
$U_{\text{мережі}} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 20 \text{ кВ}$
$I_{\text{роб.макс.}} = 4558 \text{ А}$	$I_{\text{ном.}} = 5000 \text{ А}$	$I_{\text{ном.}} = 6300 \text{ А}$
$I_{\text{пт}} = 39,5 \text{ кА}$	$I_{\text{ном. роз}} = 63 \text{ кА}$	–
$\sqrt{2} I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot 39,5 + 6,61 = 62,471 \text{ кА}$	$\sqrt{2} I_{\text{ном. роз}} = \sqrt{2} \cdot 63 = 89,095 \text{ кА}$	–
$I_{\text{п0}} = 42,14 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	–
$i_y = 112,2 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 173 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 220 \text{ кА}$
$B_K = I_{\text{п0}}^2 (\tau + T_a) = 42,14^2 (4,13 + 0,22) = 7724,64 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_T = I_T^2 t_T = 63^2 \cdot 3 = 11907 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_T = I_T^2 t_T = 80^2 \cdot 4 = 25600 \text{ кА}^2 \text{с}$

Таким чином вибрані апарати задовольняють умовам перевірки на вимикальну здатність, електродинамічну та термічну стійкість до струмів короткого замикання.

## 7 ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА СТРУМООБМЕЖУВАЛЬНИХ РЕАКТОРІВ

Струмообмежувальні реактори призначені для обмеження струмів короткого замикання у потужних електроустановках, а також дозволяють підтримувати на шинах певний рівень напруги при пошкодженнях за реакторами. За конструкцією реактори бувають простими (одинарними) та здвоєними. Здвоєні реактори дорожчі від одинарних, проте в залежності від схеми вмикання та напрямків струмів в обмотках таких реакторів, індуктивний опір їх може зростати або зменшуватися. Цю властивість здвоєного реактора використовують для зменшення спаду напруги в нормальному режимі та обмеження струмів при короткому замиканні.

Реактори вибирають за номінальною напругою, номінальним струмом і індуктивним опором  $x_{\text{ном. р}}$

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі}}$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{роб.макс.}}$$

Індуктивний опір реактора вибирають за умови обмеження струму короткого замикання у місці його встановлення. Вибір опору виконують у такій послідовності.

Спочатку визначають результівний опір від джерела живлення до місця короткого замикання.

$$x_{\text{рез}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{но}}^{(3)}}$$

де  $I_{\text{но}}^{(3)}$  - струм трифазного короткого замикання до установки реактора.

Потім визначаємо значення бажаного струму короткого замикання згідно з умовою його обмеження (наприклад, до величини номінального струму розмикання вимикача), тоді опір коротко-

замкнутої ділянки з урахуванням бажаного обмеженого значення струму короткого замикання.

$$x_{рез.баж.} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} \cdot I_{баж.}}$$

Тоді розрахунковий опір реактора складає

$$X_{розр.р} = X_{рез.баж.} - X_{рез.}$$

За довідником потрібно вибрати для встановлення реактор з номінальним опором  $X_{ном.р.} \geq X_{розр.р}$

Вибраний реактор обов'язково перевіряють на термічну та динамічну стійкість до струмів короткого замикання. Для цього потрібно визначити періодичну складову струму короткого замикання за реактором у початковий момент і ударний струм

$$I_{пор}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} \cdot (x_{рез.} + x_{ном.р.})}$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{пор}^{(3)}$$

Перевірка реактора на електродинамічну та термічну стійкість виконується за формулами

$$i_y \leq i_{дин}$$

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$$

$$B_k = (I_{пор}^{(3)})^2 \cdot (t_{вим} + T_a)$$

де  $I_T$ ,  $t_T$  – відповідно струм термічної стійкості та час його протікання (паспортні дані).

Реактори також обов'язково перевіряються на втрати напруги. Допустима втрата напруги на реакторі при нормальному режимі не повинна перевищувати 2%, а при максимальному режимі 4%. Втрата напруги для простого реактора визначається формулою

$$\Delta u_p = x_{\text{н.о.м.}} \frac{\sqrt{3} \cdot I}{U_{\text{ср.н.о.м.}}} \sin \varphi \cdot 100\% \leq 4\%$$

а для зведеного реактора визначається формулою

$$\Delta u_p = x_{\text{н.о.м.}} \frac{\sqrt{3} \cdot I}{U_{\text{ср.н.о.м.}}} \sin \varphi \cdot (1 - k) \cdot 100\% \leq 4\%$$

де  $k$  – номінальний коефіцієнт зв'язку зведеного реактора (паспортні дані).

### Приклад

Вибрати лінійний реактор для можливості застосування комплектних шаф розподільного пристрою 10 кВ з вимикачами ВК-10 (номінальний струм вимикання 20 кА). Максимальне навантаження лінії 1350 А при  $\cos\varphi=0,8$ . У місці установки реактора значення струму короткого замикання  $I_{\text{по}}=53,48$  кА, повний час вимикання короткого замикання  $t_{\text{вим.}}=1,1$  с, ударний коефіцієнт  $k_y=1,97$ , стала часу  $T_a=0,32$  с.

Для вибору реактора потрібно визначити його опір. Спочатку визначаємо результуючий опір від джерела живлення до місця замикання

$$x_{\text{рез}} = \frac{U_{\text{ср.н.о.м.}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{по}}^{(3)}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 53,48} = 0,113 \text{ Ом}$$

Опір коротко замкнутої ділянки з урахуванням обмеженого значення струму короткого замикання

$$x_{рез.б.аж.} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{б.аж.}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 20} = 0,303 \text{ Ом}$$

Тоді розрахунковий опір реактора

$$x_{розр.р} = 0,303 - 0,113 = 0,19 \text{ Ом}$$

За номінальною напругою, номінальним струмом та опором вибираємо струмообмежувальний реактор з додатка Ж:

$$\text{РБ-10-1600-0,2У3 } U_{ном} = 10 \text{ кВ; } I_{ном} = 1600 \text{ А; } x_{ном.р.} = 0,2 \text{ Ом; } i_{дин} = 60 \text{ кА; } I_T = 23,6 \text{ кА; } t_T = 8 \text{ с.}$$

Знайдемо періодичну складову струму короткого замикання за реактором у початковий момент та ударний струм

$$I_{пор}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} \cdot (x_{рез} + x_{ном.р.})} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot (0,113 + 0,2)} = 19,368 \text{ кА}$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{пор}^{(3)} = i_y = \sqrt{2} \cdot 1,97 \cdot 19,368 = 53,959 \text{ кА}$$

Перевіряємо реактор на електродинамічну та термічну стійкість

$$i_{дин} = 60 \text{ кА} > i_y = 53,959 \text{ кА};$$

$$B_T = I_T^2 \cdot t_T = 23,6^2 \cdot 8 = 4455,68 \text{ кА}^2\text{с} > B_K = (I_{пор}^{(3)})^2 \cdot (t_{вим} + T_a) = 19,368^2(1,1 + 0,32) = 532,66 \text{ кА}^2\text{с}$$

Перевіряємо щоб втрата напруги на реакторі в нормальному режимі не перевищувала 4%

$$\Delta u_p = x_{ном} \frac{\sqrt{3} \cdot I}{U_{ср.ном.}} \sin \varphi \cdot 100\% = 0,2 \frac{\sqrt{3} \cdot 1,35}{10,5} 0,6 \cdot 100 = 2,67 \leq 4\%$$

## 8 ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ

Вимірювання параметрів електричної енергії та приєднання реле захисту при великих струмах, а також при напругах понад 1000 В неможливе без застосування спеціальних перетворювачів – вимірювальних трансформаторів струму (ТА). Змінюючи масштаб струму, ці трансформатори одночасно здійснюють гальванічну розв'язку кіл – відокремлюють кола високої напруги від вимірювальних кіл.

Трансформатори струму – це однофазні електротехнічні пристрої. Вони можуть з'єднуватися за схемою неповної зірки (два трансформатори) або повної зірки (три трансформатори). Схема неповної зірки застосовується, як заведено, в мережах з ізолюваною нейтральною точкою, тобто в мережах 6...10 кВ; схема повної зірки – у мережах із уземленою чи компенсованою нейтраллю, а також в мережах з ізолюваною нейтральною точкою, якщо є необхідність у вимірах струму в усіх фазах або це пов'язано з умовами роботи релейного захисту.

Трансформатори струму вибирають за класом точності, за схемою з'єднання однофазних трансформаторів струму та за номінальними параметрами (напругою та первинним струмом  $I_{1 \text{ ном}}$ )

$$U_{1 \text{ ном}} \geq U_{\text{мережі}}$$

$$I_{1 \text{ ном}} \geq I_{\text{роб}}$$

Якщо до трансформаторів струму приєднуються розрахункові лічильники електроенергії, то клас точності їх повинен бути не нижче 0,5. При виборі номінального струму перинної обмотки  $I_{1 \text{ ном}}$  слід враховувати можливість перевантаження трансформаторів струму на 10–20 %.

Трансформатори струму перевіряються на динамічну стійкість до струмів короткого замикання (вбудовані та шинні трансформатори струму за цією умовою не перевіряються)

$$i_{\text{дин}} \geq i_y$$

або

$$\sqrt{2} \cdot I_{1 \text{ ном}} \cdot k_{\text{дин}} \geq i_y$$

де  $I_{1 \text{ ном}}$  – номінальний струм первинної обмотки ТА;

$i_{\text{дин}}$  – струм динамічної стійкості ТА;

$k_{\text{дин}}$  – кратність струму динамічної стійкості;

$i_y$  – розрахункове значення ударного струму.

Трансформатори струму перевіряються на термічну стійкість до струмів короткого замикання

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$$

або

$$(I_{1 \text{ ном}} \cdot K_t)^2 \cdot t_T \geq B_K$$

де  $K_t$  – кратність струму термічної стійкості.

Нарешті трансформатори струму перевіряються за умов роботи у заданому класі точності

$$z_{2 \text{ ном}} \geq z_{2 \text{ p}}$$

де  $z_{2 \text{ ном}}$  – номінальний опір вторинного кола ТА, що відповідає його роботі у заданому класі точності;

$z_{2 \text{ p}}$  – розрахунковий опір вторинного кола ТА.

Слід зауважити, що вибраний для даного ТА клас точності його роботи забезпечується при виконанні двох умов:  $z_{2 \text{ ном}} \geq z_{2 \text{ p}}$  і якщо  $(I_1 / I_{1 \text{ ном}}) \cdot 100\%$  знаходиться в діапазоні 100 – 120 % для класу точності до 1,0 включно.

Розрахунковий опір ТА  $z_{2 \text{ p}}$  складається з опору вимірювальних приладів  $z_{\text{прил}}$ , опору проводів  $z_{\text{пр}}$  і опору контактів  $z_{\text{к}}$

$$Z_{2p} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{к}}$$

Як звичайно, навантаження котушок приладів вказується у вольт-амперах [В·А], тому опір приладів максимально завантаженої фази обчислюється за формулою

$$Z_{\text{прил}} = \frac{\sum S_{\text{прил}}}{I_{2\text{ном}}^2}$$

При кількості приладів, що приєднані до вторинної обмотки ТА, понад три приймають  $z_{\text{к}} = 0,1$  Ом, при кількості три і менше  $z_{\text{к}} = 0,05$  Ом. Максимальний опір проводів, які з'єднують ТА з приладами при роботі його в заданому класі точності

$$Z_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - Z_{\text{к}}$$

Найменший переріз проводів, що задовольняє умові роботи ТА в потрібному класі точності, повинен бути

$$S = \frac{\rho \cdot l_p}{z_{\text{пр}}}$$

де  $\rho$  – питомий опір алюмінію,  $\rho = 0,028$  Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$l_p$  – розрахункова довжина проводу.

Розрахункова довжина проводу для схеми повної зірки  $l_p = l$ , а для схеми неповної зірки  $l_p = \sqrt{3} \cdot l$  ( $l$  – довжина траси). Переріз проводів, обчислений за останньою формулою, заокруглюється до найближчого більшого стандартного перерізу жил контрольних кабелів, а саме 1,5; 2,5; 4; 6; 10. Але ці кабелі повинні відповідати вимогам механічної стійкості (міцності). Через це переріз алюмінієвих проводів при наявності в колі лічильників має бути не меншим від 4 мм<sup>2</sup>, а мідних проводів не меншим 2,5 мм<sup>2</sup>. У разі відсутності лічильників найменшим перерізом за умовою механічної стійкості для мідних проводів може бути 1,5 мм<sup>2</sup>, а для алюмінієвих – 2,5 мм<sup>2</sup>.

### Приклад

Вибрати трансформатори струму на лінії 10 кВ до споживача електроенергії з розрахунковою потужністю 3,5 МВА. За розрахунком струмів короткого замикання у місці встановлення трансформаторів струму :  $I_{по}=17,5$  кА;  $i_y=44,7$  кА;  $B_k=296,8$  кА<sup>2</sup>с. Довжина траси – 6 м , питомий опір алюмінієвого проводу  $\rho=0,028$  Ом·мм<sup>2</sup>/м. До трансформаторів струму приєднуються амперметр ( $S_2=0,5$  ВА), лічильник активної енергії ( $S_2=2,5$  ВА ) та лічильник реактивної енергії (  $S_2=2,5$  ВА).

Спочатку потрібно розрахувати робочий струм у лінії

$$I_{роб} = \frac{S_{РОЗР}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{3,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 202 \text{ А}$$

Тепер за струмом та напругою вибираємо з додатка Ж два трансформатори струму: ТОЛ-10У2  $U_{1\text{ ном}} = 10$  кВ,  $I_{1\text{ ном}} = 200$  А,  $I_{2\text{ ном}} = 5$  А,  $i_{дин} = 52$  кА,  $I_T=8,75$  кА,  $t_t=4$  с,  $z_{2\text{ ном}} = 0,4$  Ом (клас точності 0,5). Ці трансформатори струму з'єднаємо за схемою неповної зірки.

Перевіримо трансформатори на електродинамічну та термічну стійкість

$$i_{дин} = 52 \text{ кА} > i_y=44,7 \text{ кА}$$

$$I_T^2 \cdot t_t = 8,75^2 \cdot 4 = 306,25 \text{ кА}^2\text{с} > B_k=296,8 \text{ кА}^2\text{с}$$

Далі перевіримо трансформатор струму за вторинним навантаженням, для цього спочатку розрахуємо опір приладів

$$z_{прил} = \frac{\sum S_{прил}}{I_{2\text{ ном}}^2} = \frac{0,5 + 2,5 + 2,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом}$$

Тому що приладів лише три приймаємо  $z_k = 0,05$  Ом , тоді

$$z_{пр} = z_{2\text{ ном}} - z_{прил} - z_k = 0,4 - 0,22 - 0,05 = 0,13 \text{ Ом}$$

Визначаємо розрахунковий переріз алюмінієвих проводів

$$S = \frac{\rho \cdot l_p}{z_{пр}} = \frac{0,028 \cdot \sqrt{3} \cdot 6}{0,13} = 2,25 \text{ мм}^2$$

Приймаємо контрольний кабель АКВРГ- 4,0 з алюмінієвими жилами.

## 9 ВИБІР ТА ПЕРЕВІРКА ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ

Трансформатор напруги (TV) призначений для зниження напруги до стандартної величини 100 або 100/3 В та для відокремлення кіл вимірювання та релейного захисту від первинних кіл високої напруги.

Трансформатори напруги (TV) виготовляються різних типів на різні класи напруг. Вони можуть бути одно – (НОЛ, НОМ) та трифазними (НТМИ, НАМИ); мати обидва лінійні вводи розраховані на лінійну напругу (НОМ, НОЛ) або один (ЗНОМ, ЗНОЛ). У зв'язку з цим TV вибирають: за призначенням; конструктивним виконанням; за схемою з'єднання між собою; за класом точності; за номінальною напругою первинної обмотки

$$U_{1 \text{ ном}} \geq U_{\text{мережі}}$$

Перевіряються трансформатори напруги лише за умовою роботи у заданому класі точності

$$S_{2 \text{ ном}} \geq S_{2 \text{ р}}$$

Через те що схема з'єднання обмоток TV і котушок напруги приладів розрізняються, при визначенні  $S_{2 \text{ р}}$  обчислюють сумарне трифазне навантаження від паралельних котушок усіх приладів

$$S_{2 \text{ р}} = \sqrt{\sum P_2^2 + \sum Q_2^2}$$

де  $\sum P_2, \sum Q_2$  - сумарне значення відповідно активної та реактивної потужності електроенергії, яка споживається приладами секції.

Значення  $S_{2 \text{ р}}$  порівнюється з номінальною потужністю TV  $S_{2 \text{ ном}}$  у класі точності 0,5 при наявності розрахункових лічильників електроенергії.

За  $S_{2 \text{ ном}}$  приймають потроєну номінальну потужність однофазного TV при їх з'єднанні за схемою зірки, подвоєну потужність при їх з'єднанні за схемою неповного трикутника та номінальну потужність трифазного TV.

Якщо  $S_{2p}$  більша за  $S_{2ном}$  у вибраному класі точності, то частину приладів приєднують до додатково встановлюваних аналогічних TV.

### Приклад

Вибрати трансформатор напруги на збірних шинах 10кВ знижувальної підстанції з трансформаторами типу ТДН-10000/110. Від кожної секції збірних шин відходять п'ять кабельних ліній до споживачів. До трансформатора напруги приєднуються такі вимірювальні прилади : на збірних шинах – вольтметр ( $S_2=2\text{ВА}$   $\cos\varphi=1$ ), на приєднанні трансформатора ТДН до шин 10кВ – ватметр ( $S_2=4\text{ВА}$   $\cos\varphi=1$ ), лічильник активної енергії ( $P_2=6\text{Вт}$ ;  $\cos\varphi=0,38$ ;  $\sin\varphi=0,925$ ), лічильник реактивної енергії ( $P_2=6\text{Вт}$ ;  $\cos\varphi=0,38$ ;  $\sin\varphi=0,925$ ), на приєднанні кожної кабельної лінії – лічильник активної енергії та лічильник реактивної енергії.

Вибираємо за номінальною напругою три однофазні трансформатори напруги ЗНОЛ.06-10У3, обмотки яких будуть з'єднані відповідно зірка / зірка / розімкнутий трикутник . У класі 0,5 для одного такого трансформатора  $S_{2ном} = 75 \text{ В} \cdot \text{А}$ . Загальна допустима потужність для комплекту з трьох трансформаторів буде  $3 \cdot 75 = 225 \text{ В} \cdot \text{А}$

Розрахуємо сумарне трифазне навантаження

$$\Sigma P_2 = 2+4+6 \times (6+6) = 78 \text{ Вт} \quad \Sigma Q_2 = 6 \times (6+6) \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = 175 \text{ ВАр}$$

$$S_{2p} = \sqrt{\Sigma P_2^2 + \Sigma Q_2^2} = \sqrt{78^2 + 175^2} = 191,6 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Умова виконується.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. -М.: Энергоатомиздат, 1987-648с.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс - М.: Энергоатомиздат, 1988-720с.
3. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608с.
4. <http://www.abb.ua/product/ru>
5. <http://www.rzva.ua>
6. <http://www.siemens.com/energy>
7. <http://www.grid.alstom.com>

## Додаток А

Таблиця А1 – Технічні дані запобіжників серії НПН, ПН2 та ПП

Тип	Номинальна напруга, В	Номинальний струм, А		Граничний струм вимикання, кА (при напрузі 380 В)
		запобіжника	топкої вставки	
НПН2-60	~500	60	6;10;16;20; 25;31,5;40; 63	10
ПН2-100	=220;~380	100	31,5;40;50; 63;80;100	100
ПН2-250	=220;~380	250	80;100;125; 160;200; 250	100
ПН2-400	=220;~380	400	200;250; 315;355; 400	40
ПН2-600	=220;~380	630	315;400; 500;630	25
ПП31	~500	63	31,5;40;50; 63	100
		160	50;63;80; 100;160	
		250	125;160; 200; 250	
		630	200; 250; 315;400; 500;630	
		1000	500;630; 800;1000	

## Додаток Б

**Таблиця Б1 – Технічні дані автоматичних вимикачів з комбінованими розчеплювачами серії ВА51 та ВА51Г**

Тип	Номінальний струм, А		Струм відсічки при змінному струмі	Гранична комутаційна здатність, кА при змінному струмі та напрузі 380 В
	вимикача	розчеплювача		
ВА51-25	25	6,3; 8	7; 10	2
		10; 12,5		2,5
		16; 20; 25		3,8
ВА51-31	100	6,3; 8	3; 7; 10	2
ВА51Г-31		10; 12,5		2,5
		16		3,8
		20; 25		3,8
		31,5; 40		6,0
		50; 63		6,0
		80; 100		7,0
ВА51-33 ВА51Г-33	160	80; 100; 125; 160	10	12,5
ВА51-35	250	80; 100; 125 160; 200; 250	12	15
ВА51-37	400	250; 320; 400	10	25
ВА51-39	630	400; 500; 630	10	35

## Додаток В

Таблиця В1 – Дані теплових реле, які вбудовуються в магнітні пускачі серії ПМЛ та ПМА (режим АС3)

Номинальний струм пускача, А	Теплове реле			
	Тип	Номинальний струм, А	Струм теплового елемента, А	
			Середнє значення	Межі регулювання струму неспрацювання
<b>Реле РТЛ для магнітних пускачів серії ПМЛ</b>				
10	100104	25	0,14	0,1 – 0,17
	100204		0,21	0,16 – 0,26
	100304		0,32	0,24 – 0,4
	100404		0,52	0,38 – 0,65
	100504		0,8	0,61 – 1,0
	100604		1,3	0,95 – 1,6
	100704		2,0	1,5 – 2,6
	100804		3,2	2,4 – 4,0
	101004		5,0	3,8 – 6,0
	101204		6,8	5,5 – 8,0
	101404		8,5	7,0 – 10,0
25	101404		8,5	7,0 – 10,0
	101604		12	9,5 – 14,0
	102104		16	13 – 18
	102204		21,5	18 – 25
40	205304	80	27,5	23 – 32
	205504		35,5	30 – 41
63	205504		35,5	30 – 41
	205704		45	38 – 52
	205904		55,5	47 – 64
	206104		64	54 – 74
80	206104		64	54 – 74
	206304		74,5	63 – 86
125	310504	200	90	75 – 105
	312504		107,5	90 – 125

Номинальний струм пускача, А	Теплове реле			
	Тип	Номинальний струм, А	Струм теплового елемента, А	
			Середнє значення	Межі регулювання струму неспрацювання
200	312504	200	107,5	90 – 125
	316004		137,5	115 – 160
200	320004	200	172,5	145 – 200
<b>Реле РТТ для магнітних пускачів серії ПМА</b>				
40	2	40	12,5	10,6 – 14,3
			16	13,6 – 18,4
			20	17 – 23
			25	21,2 – 28,6
			32	27,2 – 36,8
			40	34 – 46
63	2	63	32	27,2 – 36,8
			40	34 – 46
			50	42,5 – 57,5
			63	53,5 – 72,5
100	3	100	50	42,5 – 57,5
			63	53,5 – 72,5
			80	68 – 92
			100	85 – 115
160	3	160	80	68 – 92
			100	85 – 115
			125	106 – 143
			160	136 – 160

## Додаток Г

Таблиця Г1 – Пускачі магнітні трифазного струму серії ПМЛ на напругу до 660 В

Ступінь захисту		Номинальний робочий струм головного кола, А				
IP00	IP54	Режим АС3 при напрузі, В та ступені захисту			Режим АС4 при напрузі, В та ступені захисту	
		до 500 В		660	до 500 В	660
		IP00	IP54	IP00, IP54	IP00	IP54
ПМЛ160004	ПМЛ161002	10	10	6	4	2,4
ПМЛ260004	ПМЛ261002	25	22	16	10	6,4
ПМЛ360004	ПМЛ361002	40	36	25	16	10
ПМЛ460004	ПМЛ46102	63	60	40	25,2	16
ПМЛ560004	ПМЛ561002	80	80	50	32	20
ПМЛ660004	ПМЛ661002	125	100	60	37,5	28
ПМЛ760004	ПМЛ761002	200	160	120	60	36

Таблиця Г2 – Пускачі магнітні трифазного струму серії ПМА на напругу до 660 В

Ступінь захисту IP00		Номинальний робочий струм головного кола, А				
Нереверсивний	Реверсивний	Режим АС3 при напрузі, В та ступені захисту			Режим АС4 при напрузі, В та ступені захисту	
		до 500 В		660	380	660
		IP00	IP40 IP54	IP00, IP40, IP54	IP00, IP40, IP54	IP00, IP40, IP54
ПМА3100004	ПМА3300004	40	36	25	16	10
ПМА3200004	ПМА3600004					
ПМА4100004	ПМА4300004	63	60	40	25	16
ПМА4200004	ПМА4600004					
ПМА5100004	ПМА5300004	100	95	63	40	25
ПМА5200004	ПМА5600004					
ПМА6100004	ПМА6300004	160	150	100	48	40
ПМА6200004	ПМА6600004					















## Додаток Е

Таблиця Е1 – Технічні характеристики роз'єднувачів

Тип	Номинальна напруга, кВ	Номинальний струм, А	Номинальний струм динамічної стійкості (амплітуда), кА	Номинальний струм термічної стійкості, кА	Час протікання струму термічної стійкості, с
РВФ-6/1000ІУУЗ	6	1000	100	40	4
РВЗ-10/400ІІУЗ	10	400	41	16	4
РВЗ-10/630ІІУЗ	10	630	52	20	4
РВЗ-10/1000ІІУЗ	10	1000	81	31,5	4
РВР-ІІІ-10-2000УЗ	10	2000	85	31,5	4
РВР-10/2500УЗ	10	2500	125	45	4
РВР-10/4000УЗ	10	4000	180	71	4
РВР-20/6300УЗ	20	6300	260	100	4
РВР-20/8000УЗ	20	8000	320	125	4
РВП-20/12500УЗ	20	12500	490	180	4
РНД-35/1000У1	35	1000	63	25	4
РНДЗ.1-35/2000У1	35	2000	80	31,5	4
РНДЗ.2-35/3200У1	35	3200	125	50	4
РНДЗ.2-35/5000У1	35	5000	80	31,5	4
РНД-110/1000У1	110	1000	80	31,5	4
РНДЗ.1-110/2000У1	110	2000	100	40	3
РНДЗ.2-110/3200У1	110	3200	125	50	3
РНД-150/1000У1	150	1000	100	40	3
РНДЗ.1-150/2000У1	150	2000	100	40	3
РНДЗ.2-150/3200У1	150	3200	112	45	3
РНД-220/1000У1	220	1000	100	40	3
РНДЗ.1-220У/2000У1	220	2000	100	40	3
РНДЗ.2-220/3200У1	220	3200	125	50	3
РНД-330/3200У1	330	3200	160	63	2

## Додаток Ж

Таблиця Ж1 – Технічні дані струмообмежувальних реакторів для внутрішньої установки

Тип	Номинальна напруга, кВ	Номинальний струм, А	Номинальний індуктивний опір, Ом	Струм електродинамічної стійкості (амплітуда), кА	Струм термічної стійкості, кА	Час протікання струму термічної стійкості, с
РБ 10-400-0,35 УЗ	10	400	0,35	25	9,83	8
РБ 10-400-0,45 УЗ	10	400	0,45	25	9,83	8
РБ 10-630-0,25 УЗ	10	630	0,25	40	15,75	8
РБ 10-630-0,40 УЗ	10	630	0,40	32	12,6	8
РБ 10-630-0,56 УЗ	10	630	0,56	24	9,45	8
РБ 10-1000-0,14УЗ	10	1000	0,14	63	24,8	8
РБГ 10-1000-0,22УЗ	10	1000	0,22	55	19,3	8
РБГ 10-1000-0,28УЗ	10	1000	0,28	45	17,75	8
РБ 10-1000-0,35УЗ	10	1000	0,35	37	14,6	8
РБ 10-1000-0,45УЗ	10	1000	0,45	29	11,4	8
РБ 10-1000-0,56УЗ	10	1000	0,56	24	9,45	8
РБГ 10-1600-0,14УЗ	10	1600	0,14	79	31,1	8
РБГ 10-1600-0,20УЗ	10	1600	0,20	60	23,6	8
РБ 10-1600-0,25УЗ	10	1600	0,25	49	19,3	8
РБ 10-1600-0,35УЗ	10	1600	0,35	37	14,6	8
РБГ 10-2500-0,14УЗ	10	2500	0,14	79	31,1	8
РБГ 10-2500-0,20УЗ	10	2500	0,20	60	23,6	8
РБДГ 10-2500-0,25УЗ	10	2150	0,25	49	19,3	8
РБДГ 10-2500-0,35УЗ	10	2000	0,35	37	14,6	8
РБДГ 10-4000-0,105УЗ	10	3750	0,105	97	38,2	8
РБДГ 10-4000-0,18УЗ	10	3200	0,18	65	25,6	8

## Додаток II

Таблиця II – Технічні характеристики трансформаторів струму для внутрішньої установки серій ТЛК та ТОЛ

Тип	Номинальна напруга, кВ	Номинальний струм, А		Виконання вторинних обмоток	Номинальне навантаження, Ом в класі 0,5	Струм електродинамічної стійкості, кА	Термічна стійкість	
		Первинний	Вторинний				Кратність/допустимий час, с	Допустимий струм, кА/допустимий час, с
ТЛК-10	10	30	5	05/10P	0,4	8		3,2/1;1,6/3
	10	50	5	05/10P	0,4	25		8,1/1;4/3
	10	75	5	05/10P	0,4	52		20/1;10/3
	10	100	5	05/10P	0,4	52		20/1;10/3
	10	150	5	05/10P	0,4	52		20/1;10/3
	10	200	5	05/10P	0,4	52		20/1;10/3
	10	300	5	05/10P	0,4	52		31,5/1;16/3
	10	400	5	05/10P	0,4	52		31,5/1;16/3
	10	600	5	05/10P	0,4	81		31,5/3
	10	800	5	05/10P	0,4	81		31,5/3
	10	1000	5	05/10P	0,4	81		31,5/3
ТОЛ-10	10	50	5	05/10P	0,4	17,6		4,9/1
	10	100	5	05/10P	0,4	52		9,7/1
	10	150	5	05/10P	0,4	52		12,5/1
	10	200	5	05/10P	0,4	52		8,75/3
	10	300	5	05/10P	0,4	100		31,5/1
	10	400	5	05/10P	0,4	100		31,5/1
	10	600	5	05/10P	0,4	100		31,5/1;20/3
	10	800	5	05/10P	0,4	100		31,5/1;20/3
	10	1000	5	05/10P	0,4	100		31,5/3
10	1500	5	05/10P	0,4	100		31,5/3	

**Продовження додатка І**

Таблиця І2 – Технічні характеристики трансформаторів струму для внутрішньої установки серії ТШЛ

Тип	Номінальна напруга, кВ	Номінальний струм, А		Виконання вторинних обмоток	Номінальне навантаження, Ом в класі 0,5	Струм електродинамічної стійкості, кА	Термічна стійкість	
		Первинний	Вторинний				Кратність/допустимий час, с	Допустимий струм, кА/допустимий час, с
ТШЛ-10	10	2000	5	0,5/10Р	0,8		35/3	
	10	3000	5	0,5/10Р	0,8		35/3	
	10	4000	5	0,5/10Р	1,2		35/3	
	10	5000	5	0,5/10Р	1,2		35/3	
ТШЛ-20Б	20	6000	5	0,2/10Р	1,2		20/4	
	20	8000	5	0,2/10Р	1,2		20/4	
	20	10000	5	0,2/10Р	1,2		20/4	
	20	12000	5	0,2/10Р	1,2		20/4	
	20	18000	5	0,2/10Р	4,0		10/4	

**Продовження додатка И**

Таблиця И3 – Технічні характеристики трансформаторів струму для зовнішньої установки серії ТФЗМ-35

Тип	Номінальна напруга, кВ	Номінальний струм, А		Виконання вторинних обмоток	Номінальне навантаження, Ом в класі 0,5	Струм електродинамічної стійкості, кА	Термічна стійкість	
		Первинний	Вторинний				Кратність/допустимий	Допустимий струм,кА/доп устимий час,с
ТФЗМ-35БІ	35	15	5	0,5/10P/10P	1,2	3		0,7/3
	35	20	5	0,5/10P/10P	1,2	4		1/3
	35	30	5	0,5/10P/10P	1,2	6		1,5/3
	35	40	5	0,5/10P/10P	1,2	8		2,1/3
	35	50	5	0,5/10P/10P	1,2	10		2,3/3
	35	75	5	0,5/10P/10P	1,2	15		3,5/3
	35	100	5	0,5/10P/10P	1,2	21		4,7/3
	35	150	5	0,5/10P/10P	1,2	31		7/3
	35	200	5	0,5/10P/10P	1,2	42		10,5/3
	35	300	5	0,5/10P/10P	1,2	63		15/3
	35	400	5	0,5/10P/10P	1,2	84		21/3
	35	600	5	0,5/10P/10P	1,2	127		31/3
	35	800	5	0,5/10P/10P	1,2	107		31/3
	35	1000	5	0,5/10P/10P	1,2	134		37/3
	35	1500	5	0,5/10P/10P	1,2	106		41/3
35	2000	5	0,5/10P/10P	1,2	141		55/3	

**Продовження додатка И**

Таблиця И4 – Технічні характеристики трансформаторів струму для зовнішньої установки серії ТФЗМ-110Б, ТФУМ-330А та ТФРМ-330Б

Тип	Номинальна напруга, кВ	Номинальний струм, А		Виконання вторинних обмоток	Номинальне навантаження, Ом в класі 0,5	Струм електродинамічної стійкості, кА	Термічна стійкість
		Первинний	Вторинний				Допустимий струм,кА/допу стимий час,с
ТФЗМ-110Б	110	50-100	5	0,5/10P/10P	1,2	10-20	(2-4)/3
	110	75-150	5	0,5/10P/10P	1,2	15-30	(3-6)/3
	110	100-200	5	0,5/10P/10P	1,2	41-82	(4-8)/3
	110	150-300	5	0,5/10P/10P	1,2	31-62	(6-12)/3
	110	200-400	5	0,5/10P/10P	1,2	42-84	(8-16)/3
	110	300-600	5	0,5/10P/10P	1,2	63-126	(13-26)/3
	110	400-800	5	0,5/10P/10P	1,2	62-124	(14-28)/3
	110	750-1500	5	0,5/10P/10P	0,8	158	68/3
	110	1000-2000	5	0,5/10P/10P	0,8	212	68/3
	110	750-1500	1	0,5/10P/10P	20	158	68/3
110	1000-2000	1	0,5/10P/10P	20	212	68/3	
ТФУМ-330А	330	500	5	0,5/10P/10P/ 10P	2	49,5	19,3/2
	330	1000	5	0,5/10P/10P/ 10P	2	99	38,6/2
	330	2000	5	0,5/10P/10P/ 10P	2	198	77,2/2
	330	500	1	0,5/10P/10P/ 10P	50	49,5	19,3/2
	330	1000	1	0,5/10P/10P/ 10P	50	99	38,6/2
	330	2000	1	0,5/10P/10P/ 10P	50	198	77,2/2
ТФРМ-330Б	330	1000-2000	1	0,5/10P/10P/ 10P/10P	30	160	63/1
	330	1500-3000	1	0,5/10P/10P/ 10P/10P	30	160	63/1

**Продовження додатка И**

Таблиця И5 – Технічні характеристики трансформаторів струму для зовнішньої установки серії ТФЗМ-220Б

Тип	Номинальна напруга, кВ	Номинальний струм, А		Виконання вторинних обмоток	Номинальне навантаження, Ом в класі 0,5	Струм електродинамічної стійкості, кА	Термічна стійкість
		Первинний	Вторинний				
ТФЗМ-220Б	220	300	5	0,5/10P/10P/10P	1,2	25	9,8/3
	220	500	5	0,5/10P/10P/10P	1,2	25	9,8/3
	220	600	5	0,5/10P/10P/10P	1,2	50	19,6/3
	220	1000	5	0,5/10P/10P/10P	1,2	50	19,6/3
	220	1200	5	0,5/10P/10P/10P	1,2	100	39,2/3
	220	1500	5	0,5/10P/10P/10P	1,2	100	39,2/3
	220	300	1	0,5/10P/10P/10P	30	25	9,8/3
	220	500	1	0,5/10P/10P/10P	30	25	9,8/3
	220	600	1	0,5/10P/10P/10P	30	50	19,6/3
	220	1000	1	0,5/10P/10P/10P	30	50	19,6/3
	220	1200	1	0,5/10P/10P/10P	30	100	39,2/3
	220	1500	1	0,5/10P/10P/10P	30	100	39,2/3

**Продовження додатка И**

Таблиця Иб – Технічні характеристики трансформаторів струму для зовнішньої установки серії ТОГ

Тип	Номинальна напруга, кВ	Номинальний струм, А		Виконання вторинних обмоток	Номинальне навантаження, ВА в класі 0.2S	Струм електродинамічної стійкості, кА	Термічна стійкість
		Первинний	Вторинний				
ТОГ123-II-IVУ1	110	50	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	10	3/3
	110	75	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	15	4/3
	110	100	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	20	6/3
	110	150	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	30	8/3
	110	200	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	40	10/3
ТОГ123-II-IIУ1	110	300-600	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	100-200	30-60/3
	110	400-800	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	100-200	30-60/3
	110	500-1000	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	100-200	30-60/3
	110	600-1200	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	100-200	30-60/3
	110	750-1500	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	100-200	30-60/3
	110	1000-2000	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	100-200	30-60/3
	110	1500-3000	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	120-240	35-70/3
ТОГ170-II-IУ1	150	300-600	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	60-120	18,5-37/3
	150	600-1200	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	60-120	18,5-37/3

## Продовження табл. Иб

ТОГ170-II-IУ1	150	1000-2000	5або 1	0,2S/5P/5P/5P	20	60-120	18,5-37/3
ТОГ245-II-IУ1	220	300-600	5або 1	0,2S/10P/10P/10P/ 10P	20	80,5-161	31,5-63/3
	220	400-800	5або 1	0,2S/10P/10P/10P/ 10P	20	80,5-161	31,5-63/3
	220	500-1000	5або 1	0,2S/10P/10P/10P/ 10P	20	80,5-161	31,5-63/3
	220	600-1200	5або 1	0,2S/10P/10P/10P/ 10P	20	80,5-161	31,5-63/3
	220	1000-2000	5або 1	0,2S/10P/10P/10P/ 10P	20	80,5-161	31,5-63/3
	220	1500-3000	5або 1	0,2S/10P/10P/10P/ 10P	20	80,5-161	31,5-63/3
ТОГ362-II-IУ1	330	1000-2000	5або 1	0,5/10P/10P/10P/ 10P/10P	30	80,5-161	31,5-63/2
	330	1500-3000	5або 1	0,5/10P/10P/10P/ 10P/10P	30	80,5-161	31,5-63/2
	330	2000-4000	5або 1	0,5/10P/10P/10P/ 10P/10P	30	80,5-161	31,5-63/2

## Додаток К

Таблиця К1 – Технічні характеристики трансформаторів напруги для внутрішньої установки

Тип	Клас напруги, кВ	Найбільша робоча напруга, кВ	Номінальна напруга обмоток, В			Номінальна потужність, ВА, в класі точності 0,5
			первинної	основної вторинної	додаткової вторинної	
НОЛ.08-6У2	6	7,2	6300	100	–	50
НОЛ.08-10У2	10	12	10000	100	–	75
	10	12	11000	100	–	75
ЗНОЛ.06-6У3	3	3,6	3000/√3	100/√3	100/3	30
	3	3,6	3300/√3	100/√3	100/3	30
	6	7,2	6000/√3	100/√3	100/3	50
	6	7,2	6300/√3	100/√3	100/3	50
	6	7,2	6600/√3	100/√3	100/3	50
	6	7,2	6900/√3	100/√3	100/3	50
ЗНОЛ.06-10У3	10	12	10000/√3	100/√3	100/3	75
	10	12	11000/√3	100/√3	100/3	75
ЗНОЛ.06-15У3	15	17,5	13800/√3	100/√3	100/3	75
	15	17,5	15750/√3	100/√3	100/3	75
ЗНОЛ.06-20У3	20	24	18000/√3	100/√3	100/3	75
	20	24	20000/√3	100/√3	100/3	75
ЗНОЛ.06-24У3	24	26,5	24000/√3	100/√3	100/3	75
НТМИ-6-66У3	6	–	3000	100	100/3	50
	6	–	6000	100	100/3	75
НТМИ-10-66У3	10	–	10000	100	100/3	120
НТМИ-18	18	–	13800	100	100/3	120
	18	–	15750	100	100/3	120
	18	–	18000	100	100/3	120

**Продовження додатка К**

Таблиця К2 – Технічні характеристики трансформаторів напруги для зовнішньої установки

Тип	Клас напруги, кВ	Найбільша робоча напруга, кВ	Номінальна напруга обмоток, В			Номінальна потужність, ВА, в класі точності 0,5
			первинної	основної вторинної	додаткової вторинної	
ЗНОМ-35-72У1	35	–	35000/√3	100/√3	100/3	150
НКФ-110-83У1	110	–	110000/√3	100/√3	100	400
НКФ-220-58У1	220	–	150000/√3	100/√3	100	400
	220	–	154000/√3	100/√3	100	400
	220	–	220000/√3	100/√3	100	400
НКФ-330-83У1	330	–	330000/√3	100/√3	100	400
НОГ-110У1	110	126/√3	110000/√3	100/√3	100	400
НОГ-150У1	115	172/√3	150000/√3	100/√3	100	400
НОГ-150У1	220	252/√3	220000/√3	100/√3	100	400