

ЗАВДАННЯ ДО ПРОЕКТУВАННЯ:

Номер варіанта - 42.

Напруга на високій стороні: $U_{ВН} = 330$ кВ.

Напруга на середній стороні: $U_{СН} = 220$ кВ.

Потужність короткого замикання на стороні ВН: $S''_{ВН} = 5000$ МВА

Потужність короткого замикання на стороні СН: $S''_{СН} = 2500$ МВА..

Максимальна споживана активна потужність: $P_{\text{макс}} = 305$ МВт

Коефіцієнт потужності: $\cos\varphi_{\text{макс}} = 0,91$.

Потужність синхронного компенсатора: $Q_{СК} = 37,5$ МВАр

Число синхронних компенсаторів: 2.

Кількість ЛЕП нв стороні ВН: 3.

Графік навантаження підстанції показаний на рис. 1:

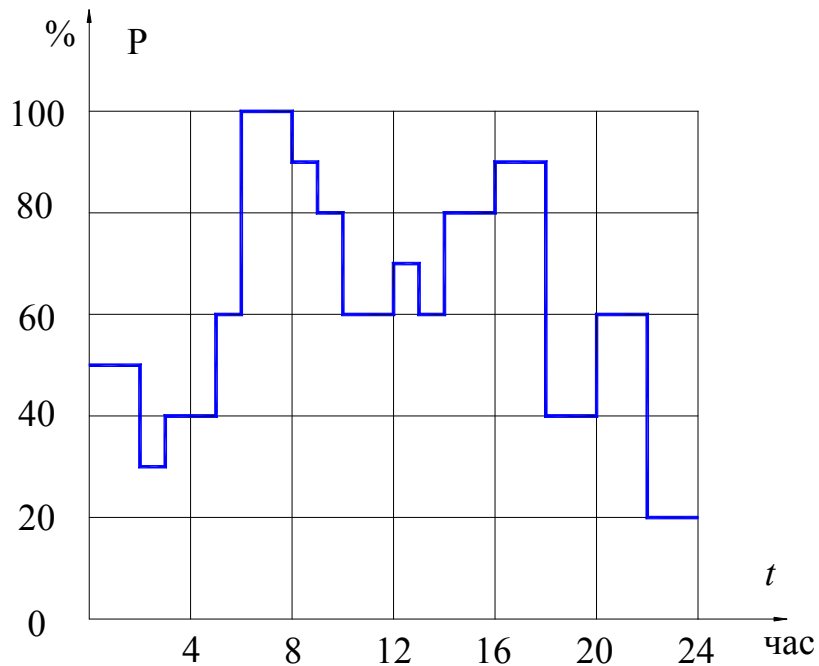


Рисунок 1- Графік навантажень підстанції

1 ВИБІР ПОТУЖНОСТІ АВТОТРАНСФОРМАТОРІВ

Результати розрахунків на вибір потужності автотрансформаторів зводимо в табл. 1.1. При цьому тривалість ступеней приймаємо згідно заданого графіка навантаження.

Активну потужність по ступінях графіка визначаємо по формулі:

$$P_{\text{СТ,}}(\text{МВт}) = \frac{P_{\text{МАКС}} \cdot P_{\text{СТ}}(\%) }{100}, \text{ так для ступені 0-2:}$$

$$P_{0-2} = \frac{305 \cdot 50}{100} = 152,5 \text{ МВт.}$$

Для кожної ступені розраховуємо значення $\cos\varphi$ за виразом:

$$\cos\varphi = (\cos\varphi_{\text{МАКС}} - 0,7) \cdot \frac{P - P_{\text{МИН}}}{P_{\text{МАКС}} - P_{\text{МИН}}} + 0,7$$

де P - поточне значення навантаження за графіком $P(t)$;

$P_{\text{макс}}$, $P_{\text{мин}}$ - максимальне і мінімальне значення навантаження відповідно за графіком $P(t)$;

Наприклад, для ступені 0-2:

$$\cos\varphi_{0-2} = (0,91 - 0,7) \cdot \frac{152,5 - 61}{305 - 61} + 0,7 = 0,779.$$

Для кожної ступені розраховуємо значення реактивної потужності $Q(t)$ за виразом:

$$Q(t) = P(t) \cdot \text{tg}\varphi(t),$$

Наприклад, для ділянки 0-2:

$$Q_{0-2} = P_{0-2} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{0-2} = 152,5 \cdot 0,806 = 122,85 \text{ МВАр.}$$

Для кожної ступені графіка розраховуємо результуюче значення реактивної потужності за виразом:

$$Q(t)_{\text{PEЗ}} = Q(t) - \Sigma Q_{\text{СК}},$$

$$Q(t)_{\text{PEЗ0-2}} = 122,85 - 2 \cdot 37,5 = 47,85 \text{ МВАр.}$$

Обчислюємо навантаження $S(t)$:

$$S(t) = \sqrt{P(t)^2 + Q(t)_{\text{PEЗ}}^2},$$

Наприклад, для ступені 0-2:

$$S(t)_{0-2} = \sqrt{152,5^2 + 47,85^2} = 159,83 \text{ МВА.}$$

По заданому типовому графіку навантаження будуюмо в іменованих одиницях графік активної потужності $P(t)$ на рис. 1.1.

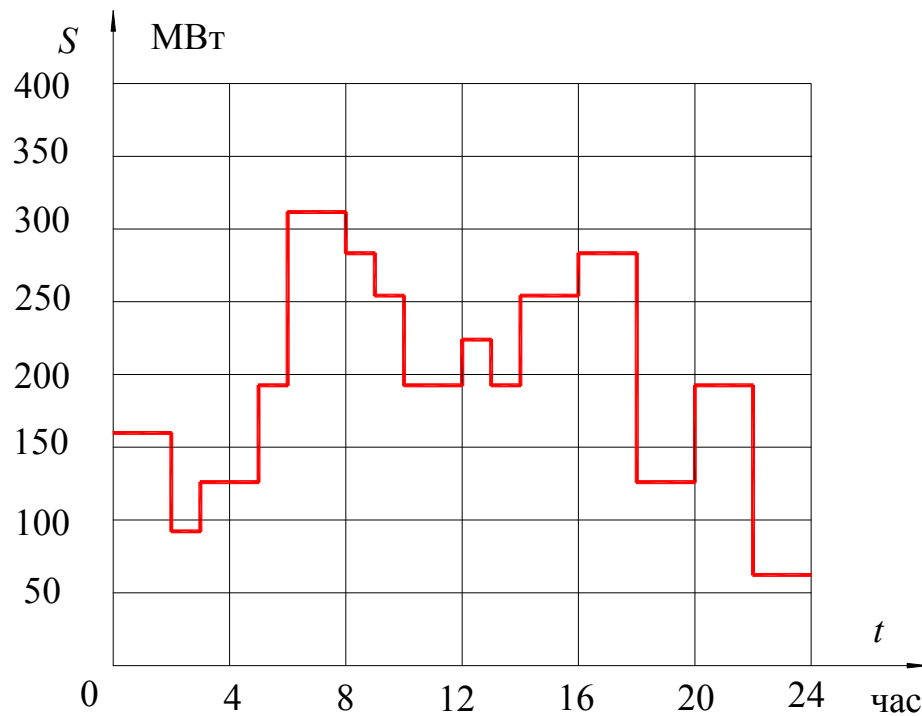


Рисунок 1.1- Графік активного навантаження в іменованих одиницях
За результатами розрахунку в табл. 1.1 будуюмо в іменованих одиницях графік повного навантаження $S(t)$ на рис. 1.2.

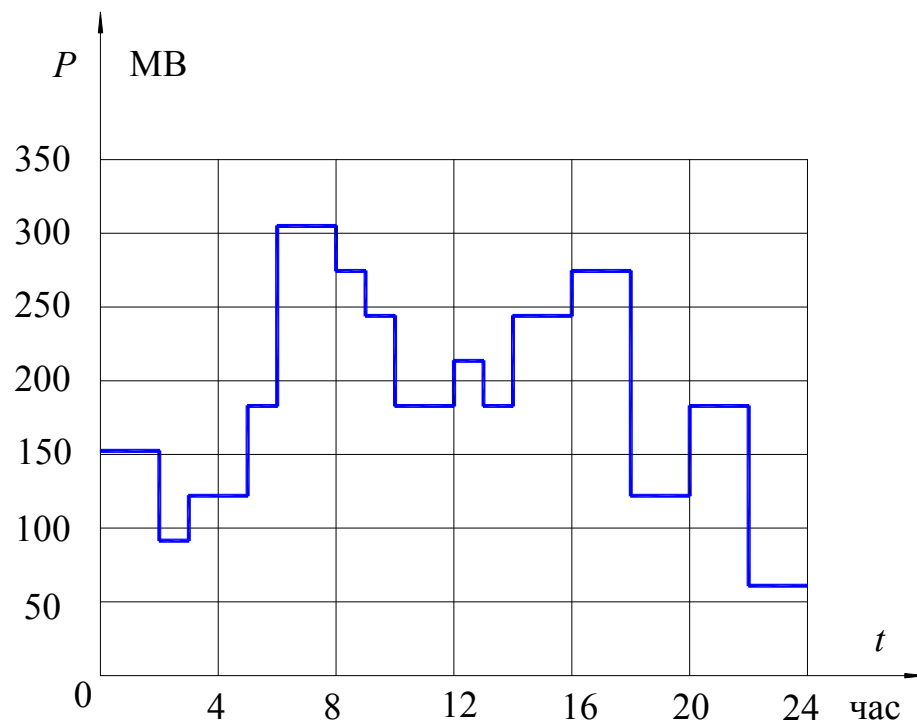


Рисунок 1.2- Графік повного навантаження в іменованих одиницях

Тому що на підстанції маються споживачі I і II категорії, то приймаємо до установки два автотрансформатори.

Розрахункову потужність кожного з них визначаємо за виразом:

$$S_{\text{РАСЧ}} = \frac{S_{\text{МАКС}}}{(n-1) \cdot k_{\text{пав}}} = \frac{311,64}{(2-1) \cdot 1,4} = 222,6 \text{ МВА},$$

де n - число встановлюваних автотрансформаторів;

$k_{\text{пав}} = 1,4$ - коефіцієнт перевантаження в аварійному режимі;

$S_{\text{НОМ}}$ - каталожна потужність трансформатора.

$$S_{\text{НОМ}} \geq S_{\text{РАСЧ}}.$$

З табл. 3-9, стор. 116 [3] вибираємо однофазні автотрансформатори типу АОДЦТН-83000/330/220 повною потужністю 250 МВА. Каталожні дані обраних автотрансформаторів приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2- Каталожні дані автотрансформатора АОДЦТН-83000/330/220

| Тип | S , МВА | Напруга обмотки, кВ | | | Втрати, кВт | | u_k , % | | | I_{xx} , % |
|---------------------------|--------------|------------------------|--------------------|------|-------------|-----|-----------|-----|-----|--------------|
| | | ВН | СН | НН | хх | кз | В-С | В-Н | С-Н | |
| АОТДЦТН- 83000/330/220 | 83 | 330/ $\sqrt{3}$ | 220/ $\sqrt{3}$ | 10,5 | 155 | 560 | 10,5 | 38 | 25 | 0,45 |

Це рішення є попереднім і вимагає додаткової перевірки, тому що перевантаження трансформатора в аварійному режимі допускаються тільки при дотриманні визначених умов.

При аварійному відключенні одного з автотрансформаторів, що залишився в роботі допускає перевантаження на 40% за час не більш 6 годин, якщо попереднє 10-годинне навантаження не перевищує 0,93.

Для перевірки допустимості перевантаження фактичний графік навантаження $S(t)$ перетворимо в двоступінчастий еквівалентний, для чого на ньому наносимо пряму $S(t) = S_{\text{НОМ}}$ (рис. 1.3).

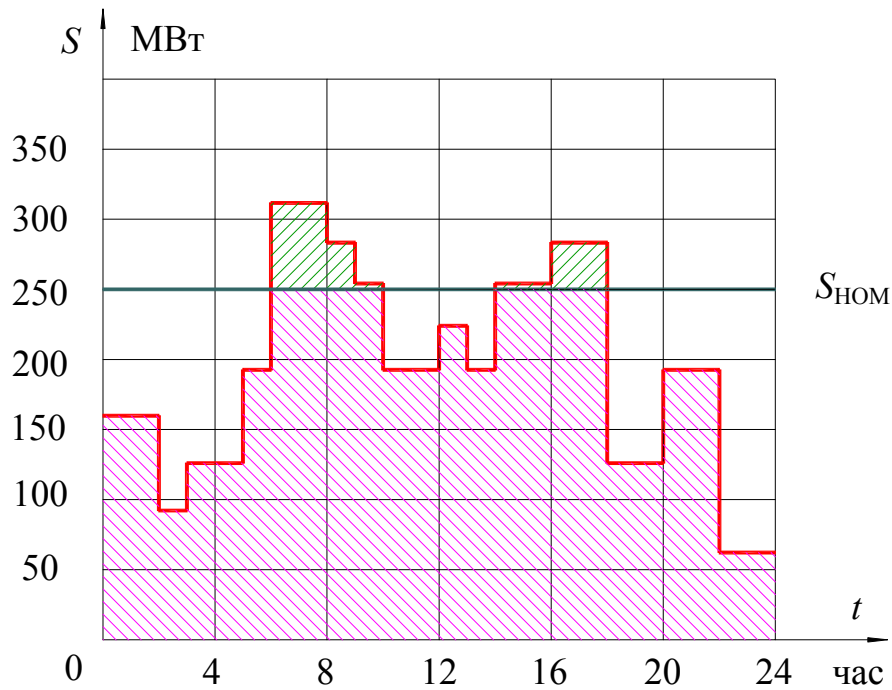


Рисунок 1.3- Еквівалентний двоступінчастий графік повного навантаження $S(t)$

Верхня частина графіка, що відтинається зазначеною прямою, є зоною перевантаження автотрансформаторів, вона має два піки. Для розрахунку беремо більший з них в інтервалі часу від 6 до 10 годин із тривалістю

$$t_1 = 2 + 1 + 1 = 4 \text{ години.}$$

Еквівалентне навантаження автотрансформаторів на розглянутому інтервалі часу підраховуємо як середньоквадратичне значення за формулою :

$$S_{\Sigma 1} = \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot t_i}{t_1}} = \sqrt{\frac{(311,64^2 \cdot 2 + 283,37^2 \cdot 1 + 254,23^2 \cdot 1)}{2 + 1 + 1}} = 291,192 \text{ МВА,}$$

де S_i - навантаження трансформатора на різних ступенях графіка за час t_1 .

Визначаємо коефіцієнт K_1 :

$$K_1 = \frac{S_{\Sigma 1}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{291,192}{250} = 1,168.$$

Тому що вихідний графік має два максимуми, причому менший впливає за великим, то час t_2 відраховуємо після закінчення більшого максимуму, тобто з 10 до 20 годин. Менший максимум враховуємо в еквівалентному навантаженні.

$$S_{\Sigma 2} = \sqrt{\frac{(192,54^2 \cdot 2 + 224^2 \cdot 1 + 192,54^2 \cdot 1 + 254,23^2 \cdot 2 + 283,37^2 \cdot 2 + 126,07^2 \cdot 2)}{2 + 1 + 1 + 2 + 2 + 2}} = 219,782 \text{ МВА.}$$

$$K_2 = \frac{S_{\Sigma 2}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{219,782}{250} = 0,879.$$

Результати розрахунку зводимо в табл. 1.3.

Таблиця 1.3- Результати розрахунку перевантаження автотрансформаторів

| Розрахункові коефіцієнти та розрахунковий час перевантаження | Розрахункові значення | Допустимі значення |
|--|-----------------------|--------------------|
| K_1 | 1,168 | 1,4 |
| t_1 | 4 | 6 |
| K_2 | 0,879 | 0,93 |
| t_2 | 10 | 10 |

Автотрансформатор працює в комбінованому режимі ВН \rightarrow СН і НН \rightarrow СН, тому його потужність визначається завантаженням загальної обмотки:

$$S_O = \sqrt{(k_{\text{ВЫГ}} P_B + P_H)^2 + (k_{\text{ВЫГ}} Q_B + Q_H)^2},$$

де P_B , Q_B - активна і реактивна потужності, передані з ВН у СН.

P_H , Q_H - активна і реактивна потужності, передані з обмотки НН в обмотку СН;
 $P_H = 0$, тому що синхронний компенсатор видає тільки реактивну потужність.

$$k_{\text{ВЫГ}} = \frac{330 - 220}{330} = 0,333.$$

$$S_O = \sqrt{(0,333 \cdot 305)^2 + (0,333 \cdot 138,96 + 37,5)^2} = 131,657 \text{ МВА.}$$

Розглянутий режим для двох автотрансформаторів допустимо, тому що:

$$S_O < S_{\text{тип}} = k_{\text{выг}} \cdot S_{\text{ном}} = 0,333 \cdot 2 \cdot 250 = 166,5 \text{ МВА.}$$

Тому що всі умови виконуються, те обрані однофазні автотрансформатори АОДТЦН-83000/330/220 будуть працювати при заданих навантаженнях.

2 РОЗРАХУНОК ЧИСЛА ЛІНІЙ І ВИБІР СХЕМИ РОЗПОДІЛЬНИХ ПРИБОРІВ

Кількість ліній для РУ з напругою 220 кВ визначаємо переданої по них потужністю.

$$n = \frac{P_{\text{МАКС}}}{P_{\text{ЭК}}},$$

де $P_{\text{макс}}$ - передана потужність із шин РУ 220 кВ у максимальному режимі;
 $P_{\text{ЭК}}$ - економічна потужність однієї лінії.

Проводимо розрахунок $T_{\text{макс}}$, необхідного для визначення значення економічної потужності

$$T_{\text{МАКС}} = \frac{\sum P_i \cdot t_i}{P_{\text{МАКС}}} \cdot n,$$

де n - число днів у році для заданого типового графіка навантаження.

$$T_{\text{МАКС}} = \frac{2 \cdot 152,5 + 1 \cdot 91,5 + 4 \cdot 122 + 6 \cdot 183 + 2 \cdot 305 + 3 \cdot 274,5 + 3 \cdot 244 + 1 \cdot 213,5 + 2 \cdot 61}{305} \cdot 365 =$$
$$= 5365 \text{ год.}$$

За умовами коронування мінімально припустимий перетин проводів для ЛЕП 220 кВ - АС-240/39 (табл. 1.18, стор. 20 [2]). З табл. 1.21, стор. 22 [2] приймаємо $P_{\text{ЭК}} = 80$ Мвт. При $T_{\text{МАКС}} = 5365$ годин застосовуємо поправочний коефіцієнт 0,91, тоді:

$$P_{\text{ЭК}} = 0,91 \cdot 80 = 72,8 \text{ МВт.}$$

Визначаємо число ліній, що відходять, 220 кВ:

$$n = \frac{305}{72,8} = 4,19.$$

Приймаємо число ЛЕП 220 кВ 5.

Тому що внаслідок планових і аварійних ремонтів частина ліній може бути відключена, а передана потужність і в цьому випадку не повинна зменшуватися, отримане число ліній повинне бути перевірене за умовою граничної переданої потужності для РП з напругою 220 кВ:

$$n - 2 \geq \frac{P_{\text{МАКС}}}{P_{\text{ПРЕД}}},$$

де $P_{\text{ПРЕД}} = 0,91 \cdot 205 = 186,55$ МВт (за табл. 1.21, стор. 22 [2]).

$$5 - 2 = 3 > \frac{305}{186,55} = 1,63, \text{ умова виконується}$$

Виходячи з кількості приєднань до РП 220 кВ:

$$n_{\text{ЛЕП}} + n_{\text{АТ}} = 5 + 2 = 7 \text{ приєднань},$$

приймаємо схему з одиночною секційваною системою шин з обхідною з установкою окремих обхідного і секційного вимикачів.

На напрузі 330 кВ до шин РП приєднані три ЛЕП і 2 автотрансформатори. При даній кількості приєднань застосовуємо схему шини - автотрансформатор. У ланцюзі кожної лінії - два вимикачі, автотрансформатори приєднуються до шин без вимикачів (установлюються роз'єднувачі з дистанційним приводом).

На напрузі 10 кВ приймається схема з двома секційованими системами збірних шин, що приєднуються до автотрансформатора через реактор.

На двухтрансформаторних підстанціях 35-750 кВ установлюються два трансформатори власних потреб. Потужність трансформаторів с.н. вибирається виходячи з навантаження власних потреб.

Підрахунок приблизного навантаження власних потреб проводимо в табл. 2.1, використовуючи дані з табл. П6.1, стор. 639 [1] і П6.2, стор. 640 [1]. Приймаємо для рухового навантаження $\cos\varphi = 0,85$.

Таблиця 2.1- Навантаження власних потреб підстанції

| Вид споживача | Встановлена потужність | | $\cos\varphi$ | $\sin\varphi$ | Навантаження | |
|-------------------------------------|------------------------|-------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|
| | Единиці, кВт×колич. | Всього, кВт | | | $P_{уст},$ кВт | $Q_{уст},$ кВАр |
| Охолодження АОДЦТН-83 | - | 51,8 | 0,85 | 0,62 | 51,8 | 32,116 |
| Підігрів ВВБ-330 | 4,6×6 | 27,6 | 1 | 0 | 27,6 | - |
| Підігрів ВВБ-220 | 3,6×9 | 32,4 | 1 | 0 | 32,4 | - |
| Підігрів КРУ | 1×25 | 25 | 1 | 0 | 25 | - |
| Опалення і висвітлення ОПУ | - | 90 | 1 | 0 | 90 | - |
| Висвітлення, вентиляція ЗРП | - | 7 | 1 | 0 | 7 | - |
| Допоміжне устаткування СК КСВ-37500 | 140×2 | 280 | 1 | 0 | 280 | - |
| Висвітлення ВРП 330 кВ | - | 8 | 1 | 0 | 8 | - |
| Висвітлення ВРП 220 кВ | - | 7 | 1 | 0 | 7 | - |
| Компресорна: | | | | | | |
| - електродвигуни | 30×2 | 60 | 0,85 | 0,62 | 60 | 38,2 |
| - опалення, висвітлення | 20×2 | 40 | 1 | 0 | 40 | |
| Разом: | | | | | 628,8 | 70,316 |

Розрахункове навантаження при $k_c = 0,8$ - коефіцієнт попиту, що враховує коефіцієнти одночасності і завантаження.

$$S_{расч} = k_c \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = 0,8 \cdot \sqrt{628,8^2 + 70,316^2} = 506,175 \text{ кВА.}$$

При двох трансформаторах, з обліком припустимого аварійного перевантаження:

$$S_T \geq \frac{S_{расч}}{K_{\Pi}} = \frac{506,75}{1,4} = 361,96 \text{ кВА.}$$

З табл. 2-90, стор. 199 4 вибираємо два трансформатори типу ТМ-400/10 потужністю 400 кВа. Каталожні дані обраних трансформаторів зводимо в табл. 2.2.

Таблиця 2.2- Каталожні дані трансформатора ТМ-400/10

| Тип | S_N , кВА | Номінальна напруга обмотки, кВ | | Втрати, кВт | | $u_K, \%$ | $I_{XX}, \%$ |
|-----------|----------------|--------------------------------------|-----|-------------|------|-----------|--------------|
| | | ВН | НН | х.х. | к.з. | | |
| ТМ-400/10 | 400 | 10 | 0,4 | 1,2 | 5,5 | 4,5 | 2,1 |

3 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРТКОГО ЗАМИКАННЯ

Розрахункова схема для визначення струмів короткого замикання показана на рис. 3.1.

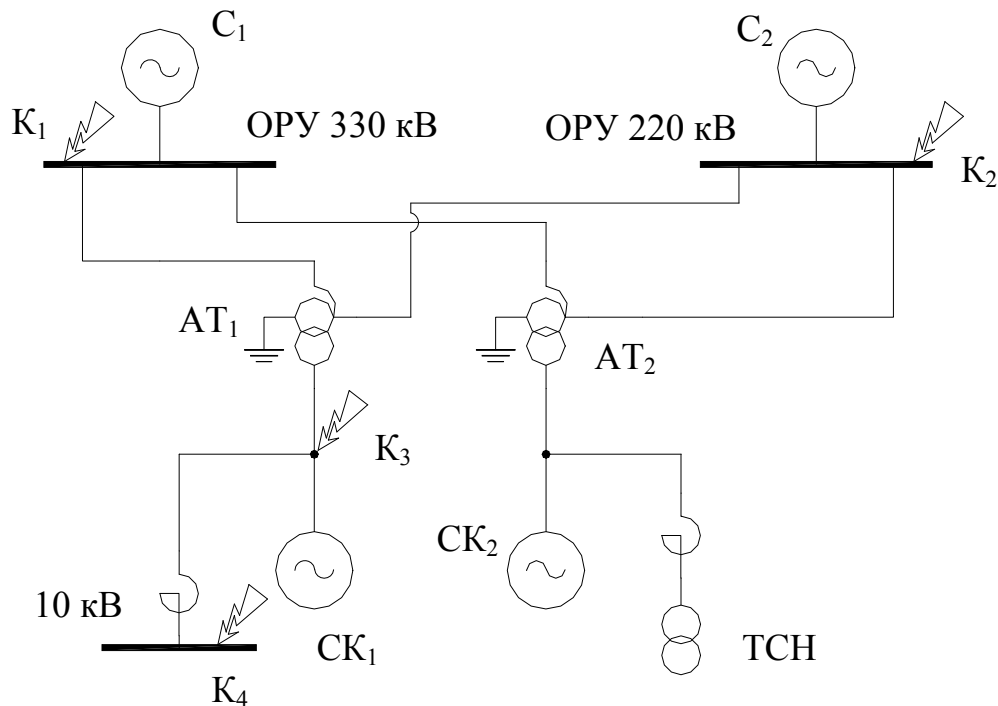


Рисунок 3.1- Розрахункові крапки короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання проводимо в табл. 3.1.

Розрахунок проводимо у відносних одиницях. Вибираємо $S_B = 1000$ МВА, приймаємо $U_B = U_{\text{СТУПЕНИ}}$, на якій розраховується струм КЗ.

Складаємо схему заміщення (рис. 3.2) і визначаємо її параметри.

Опір системи 1:

$$x_1 = \frac{S_B}{S_1''} = \frac{1000}{5000} = 0,2.$$

Опір системи 2:

$$x_2 = \frac{S_{\text{Б}}}{S_2''} = \frac{1000}{2500} = 0,4.$$

Опір автотрансформаторів АТ1 і АТ2:

- на стороні ВН:

$$x_3 = x_4 = \frac{0,5(u_{\kappa B-H} + u_{\kappa B-C} - u_{\kappa C-H})}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{0,5(9+60-48)}{100} \cdot \frac{1000}{400} = 0,263.$$

- на стороні СН:

$$x_5 = x_6 = \frac{0,5(u_{\kappa B-C} + u_{\kappa C-H} - u_{\kappa B-H})}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{0,5(9+48-60)}{100} \cdot \frac{1000}{400} \approx 0.$$

- на стороні НН:

$$x_7 = x_8 = \frac{0,5(u_{\kappa B-H} + u_{\kappa C-H} - u_{\kappa B-C})}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{0,5(60+48-9)}{100} \cdot \frac{1000}{400} = 1,238$$

Опір синхронних компенсаторів СК1 і СК2:

$$x_9 = x_{10} = x_d'' \cdot \frac{S_B}{S_{\text{НОМ}}} = 0,23 \cdot \frac{1000}{37,5} = 6,133.$$

Е.р.с. від системи приймаємо $E_C = 1,0$. Знаходимо е.р.с. від синхронних компенсаторів:

$$E_{\text{СК}} = U_0 + I_0 \cdot x'_{\text{СК}} = 1 + 0,5 \cdot 0,36 = 1,118.$$

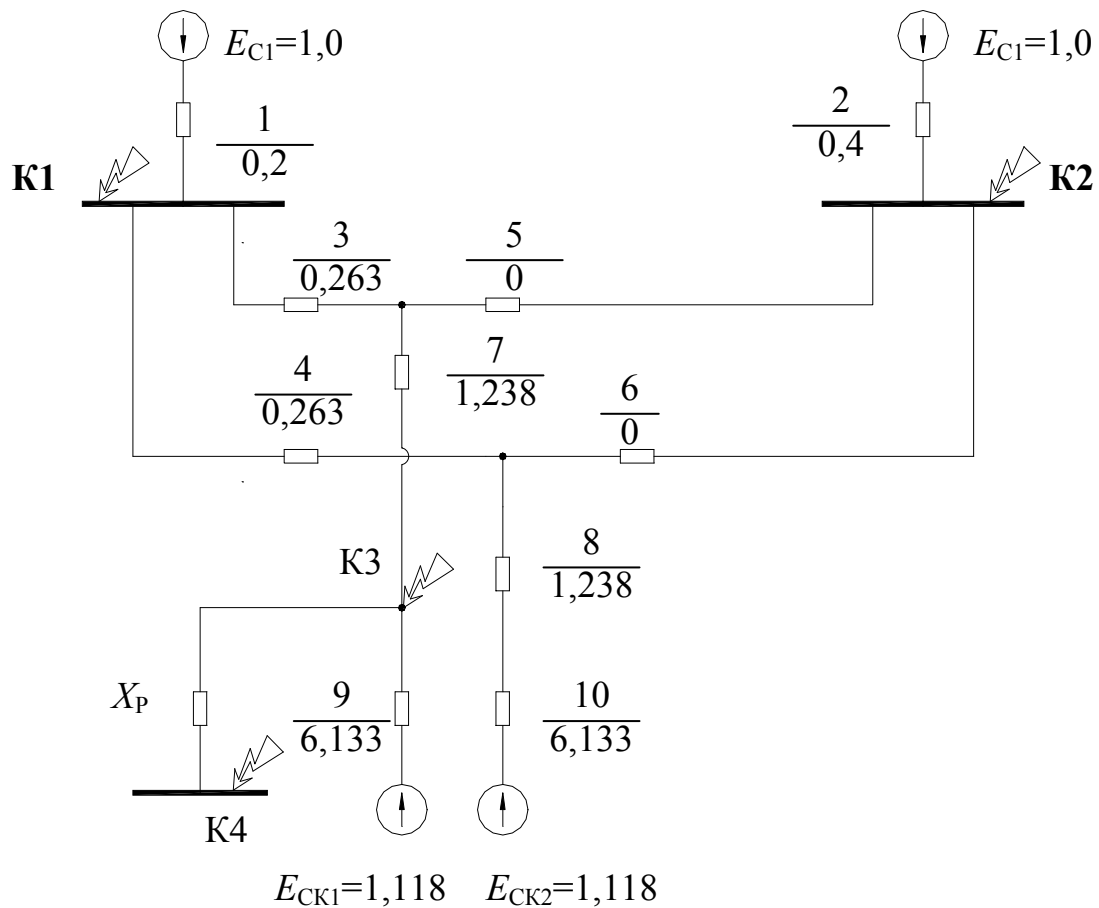


Рисунок 3.2- Схема заміщення для розрахунків струмів короткого замикання

Далі робимо перетворення схеми до багатопроменевої зірки і розраховуємо значення струмів від усіх джерел по вираженнях:

$$I_{\Pi,0} = \frac{E}{x_{PE3}} \cdot I_B,$$

де $I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B}.$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\Pi,0};$$

$$k_y = 1 + e^{-0,01/Ta},$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi,0} \cdot e^{-\tau/Ta};$$

Значення струму $I_{П,\tau}$ від системи визначається за виразом:

$$I_{П,\tau} = I_{П,0}.$$

Значення струмів КЗ від синхронного компенсатора визначаємо по методу розрахункових кривих.

Розрахунок струмів короткого замикання в точці К-1 (шини 330 кВ)

Спрощуємо схему заміщення й одержуємо схему на рис 3.3.

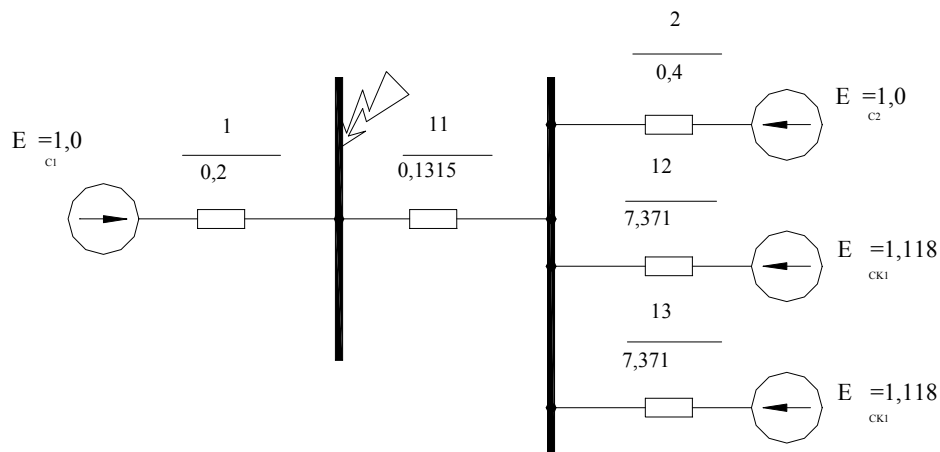


Рисунок 3.3- Перетворення схеми заміщення для розрахунку струмів короткого замикання в точці К-1

Знаходимо опору перетвореної схеми заміщення:

$$x_{11} = x_3 || x_4 = \frac{0,263}{2} = 0,1315.$$

$$x_{12} = x_{13} = x_7 + x_9 = 1,238 + 6,133 = 7,371$$

Проводимо подальше перетворення схеми заміщення. Розрахункова схема заміщення має вигляд на рис 3.4.

Розносимо реактанс x_{11} між гілками системи 2 і синхронних компенсаторів СК1 і СК2.

Визначаємо результуючий опір схеми:

$$x_{\text{рез}} = x_{\text{ЭК}} + x_{11},$$

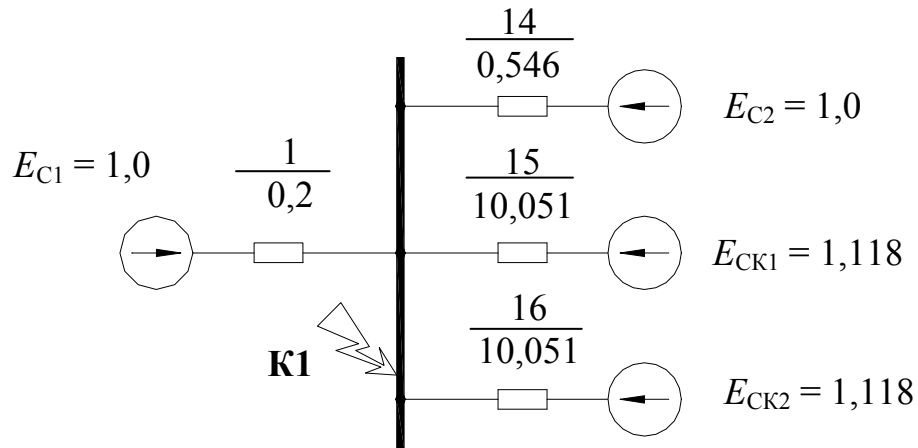


Рисунок 3.4- Розрахункова схема для визначення струмів КЗ у точці К1
де $x_{\text{ЭК}}$ - еквівалентний опір усіх джерел харчування щодо точки 1 схеми:

$$x_{\text{ЭК}} = x_2 \parallel x_{12} \parallel x_{13} = \frac{1}{\frac{1}{x_2} + \frac{1}{x_{12}} + \frac{1}{x_{13}}} = \frac{1}{\frac{1}{0,4} + \frac{1}{7,371} + \frac{1}{7,371}} = 0,361.$$

Результуючий опір:

$$x_{\text{рез}} = 0,1315 + 0,361 = 0,4925.$$

Визначаємо коефіцієнти розподілу по гілках:

$$C_1 = \frac{x_{\text{ЭК}}}{x_2} = \frac{0,361}{0,4} = 0,902; \quad C_2 = C_3 = \frac{x_{\text{ЭК}}}{x_{12}} = \frac{0,361}{7,371} = 0,049.$$

Визначаємо значення опорів по гілках:

$$x_{14} = \frac{x_{\text{рез}}}{C_1} = \frac{0,4925}{0,902} = 0,546; \quad x_{15} = x_{16} = \frac{x_{\text{рез}}}{C_1} = \frac{0,4925}{0,049} = 10,051.$$

Визначаємо базисний струм:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 340} = 1,698 \text{ кА.}$$

Розраховуємо значення струмів КЗ від усіх джерел:

- гілка системи 1:

$$I_{П,0C1} = \frac{E}{x_{PE3}} \cdot I_B = \frac{1,0}{0,2} \cdot 1,698 = 8,49 \text{ кА.}$$

- гілка системи 1:

$$I_{П,0C2} = \frac{1,0}{0,546} \cdot 1,698 = 3,11 \text{ кА.}$$

- гілка СК1 і СК2:

$$I_{П,0СК1} = I_{П,0СК2} = \frac{1,118}{10,051} \cdot 1,698 = 0,169 \text{ кА.}$$

Сумарне початкове значення періодичної складової струму КЗ у точці К1:

$$I_{П,0\Sigma K1} = 8,49 + 3,11 + 0,169 + 0,169 = 11,938 \text{ кА.}$$

Розрахунковий час $\tau = t_{c.B} + 0,01 = 0,06 + 0,01 = 0,07 \text{ с.}$

Періодичні складових струмів від систем 31 і 32 приймаємо незмінними в часі і рівними початковому значенню періодичної складові струмів КЗ:

$$I_{П,\tau,C1} = I_{П,0C1} = 8,49 \text{ кА; } I_{П,\tau,C2} = I_{П,0C2} = 3,11 \text{ кА.}$$

Періодичну складового струму від синхронного компенсатора визначаємо по типових кривих (рис. 3.26, стор. 152 [2]). Для цього попередньо визначаємо номінальний струм синхронного компенсатора:

$$I'_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{сп,к}}} = \frac{37,5}{\sqrt{3} \cdot 340} = 0,064 \text{ кА.}$$

Відношення початкового значення періодичної складової струму КЗ від синхронного компенсатора в точці К1 до номінального струму:

$$I_{\text{п,0,СК}}/I'_{\text{ном}} = 0,169/0,064 = 3,063$$

По даному відношенню і часові $t = \tau = 0,07$ з визначимо за допомогою кривих відношення:

$$I_{\text{п,t,СК}}/I_{\text{п,0,СК}} \approx 0,91.$$

У такий спосіб періодична складового струму від СК до моменту τ буде:

$$I_{\text{п,t,СК1}} = I_{\text{п,t,СК2}} = 0,91 \cdot I_{\text{п,0,СК}} = 0,91 \cdot 0,169 = 0,150 \text{ кА.}$$

Сумарне значення:

$$I_{\text{п,t},\Sigma} = 8,49 + 3,11 + 0,150 + 0,150 = 11,9 \text{ кА.}$$

Аперіодична складового струму КЗ від системи 1:

$$i_{\text{а},\tau\text{C1}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п,0}} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 8,49 \cdot e^{\frac{-0,07}{0,05}} = 2,961 \text{ кА.}$$

Аперіодична складового струму КЗ від системи 2:

$$i_{a,\tau C2} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 3,11 \cdot e^{\frac{-0,07}{0,05}} = 1,085 \text{ кА.}$$

Аперіодична складова струму КЗ від синхронних компенсаторів СК1 і СК2:

$$i_{a,\tau CK1} = i_{a,\tau CK2} = \sqrt{2} \cdot 0,169 \cdot e^{\frac{-0,07}{0,14}} = 0,145 \text{ кА.}$$

Сумарне значення аперіодичної складової струму КЗ у точці К1:

$$i_{a,\tau \Sigma K1} = 2,961 + 1,085 + 0,145 + 0,145 = 4,336 \text{ кА.}$$

Визначаємо значення ударного струму КЗ по гілках:

Гілка системи 1:

$$i_{yC1} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0} \cdot k_y = \sqrt{2} \cdot I_{n,0} \left(1 + e^{\frac{0,01}{T_a}} \right) = \sqrt{2} \cdot 8,49 \cdot \left(1 + e^{\frac{0,01}{0,05}} \right) = 22,693 \text{ кА.}$$

Гілка системи 2:

$$i_{yC2} = \sqrt{2} \cdot 3,11 \cdot \left(1 + e^{\frac{0,01}{0,05}} \right) = 8,313 \text{ кА.}$$

Гілки синхронних компенсаторів СК1 і СК2:

$$i_{yCK1} = i_{yCK2} = \sqrt{2} \cdot 0,169 \cdot \left(1 + e^{\frac{0,01}{0,14}} \right) = 0,462 \text{ кА.}$$

Сумарне значення ударного струму КЗ у точці К1:

$$i_{y\Sigma K1} = 22,693 + 8,313 + 0,462 + 0,462 = 31,93 \text{ кА.}$$

Далі проводимо розрахунок в інших точках схеми. Розраховані значення у всіх намічених точках зводимо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1- Розрахункові струми короткого замикання

| Точки к.з. | Джерела к.з. | Струми короткого замикання,кА | | | | T _{а, с} | τ _{а, с} | Тип вимикача |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| | | I _{п,0} '' | I _{п,τ} | i _{а,τ} | i _у | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| К1 (РП 330 кВ) | Система 1 | 8,49 | 8,49 | 2,961 | 22,693 | 0,05 | 0,07 | ВВБ-330- 35/2000 |
| | Система 2 | 3,11 | 3,11 | 1,085 | 8,313 | | | |
| | СК1 | 0,169 | 0,150 | 0,145 | 0,462 | 0,14 | | |
| | СК2 | 0,169 | 0,150 | 0,145 | 0,462 | | | |
| | Разом | 11,938 | 11,9 | 4,336 | 31,93 | | | |
| К2 (РП 220 кВ) | Система 1 | 7,56 | 7,56 | 2,636 | 19,448 | 0,05 | 0,07 | ВВБ-220- 31,5-2000 |
| | Система 2 | 6,275 | 6,275 | 2,188 | 16,142 | | | |
| | СК1 | 0,381 | 0,311 | 0,327 | 0,849 | 0,14 | | |
| | СК2 | 0,381 | 0,311 | 0,327 | 0,849 | | | |
| | Разом | 14,597 | 14,457 | 5,478 | 37,288 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| К3 (виводи СК 10 кВ) | Система 1 | 20,594 | 20,594 | 2,163 | 52,977 | 0,05 | 0,13 | МГГ-3150- 45У3 |
| | Система 2 | 17,098 | 17,098 | 1,796 | 43,984 | | | |
| | СК1 | 10,024 | 7,987 | 6,599 | 27,544 | 0,17 | | |
| | СК2 | 1,303 | 1,016 | 0,728 | 3,558 | 0,14 | | |
| | Разом | 49,019 | 46,695 | 11,286 | 128,06 | | | |
| К4 (шини 10 кВ) | Система 1 и 2, СК1 и СК2 | 18,71 | 18,71 | 17,762 | 51,756 | 0,23 | 0,105 | ВМПЭ-12- 1250-20Т3 |

Розрахунок струмів короткого замикання в точці К-4
(шини 10 кВ підстанції)

Тому що величина навантаження споживачів на стороні 10 кВ невідома, то розрахунок ведемо по потужності обмотки НН автотрансформатора, що дорівнює 27 МВА. Тоді

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{27000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1559 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ФОРС}} = 1,5 \cdot I_{\text{НОМ}} = 1,5 \cdot 1559 = 2338,5 \text{ А.}$$

Намічаємо до установки здвоєний реактор серії РБСД (з горизонтальним розташуванням фаз) на номінальну напругу 10 кВ із номінальним струмом гілки $I_{\text{НОМ}} = 1600 \text{ А.}$

Визначимо результуючий опір ланцюга короткого замикання при відсутності реактора:

$$x_{\text{РЕЗ}} = \frac{U_{\text{СР}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{П,0}}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 49,019} = 0,124 \text{ Ом.}$$

Необхідний опір ланцюга короткого замикання з умови забезпечення номінальної здатності вимикача, що відключає, ВМП:

$$x_{\text{РЕЗ}}^{\text{ТРЕБ}} = \frac{U_{\text{СР}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{П,0,ТРЕБ}}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 20} = 0,303 \text{ Ом.}$$

Необхідний опір реактора для обмеження струму КЗ:

$$x_{\text{р}}^{\text{ТРЕБ}} = 0,303 - 0,124 = 0,179 \text{ Ом.}$$

Вибираємо остаточно реактор РБСД-10-2×1600-0,20УЗ з параметрами:
 $U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}; I_{\text{НОМ}} = 2 \times 1420 \text{ А}; x_{\text{р}} = 0,20 \text{ Ом}; i_{\text{max}} = 52 \text{ кА}.$

Результуючий опір ланцюга КЗ з урахуванням реактора:

$$x'_{\text{РЕЗ}} = 0,124 + 0,2 = 0,324 \text{ Ом}.$$

Фактичне значення періодичної складового струму КЗ за реактором:

$$I_{\text{П,0}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,324} = 18,71 \text{ кА}.$$

Ударний струм короткого замикання:

$$i_{\text{у}} = \sqrt{2} \cdot 18,71 \cdot 1,956 = 51,756 \text{ кА}.$$

4 ВИБІР АПАРАТУРИ І СТРУМОВЕДУЧИХ ЧАСТИН

4.1 Вибір реакторів

Прийняті в розділі 3 реактори перевіряємо на стійкість дії струмів короткого замикання.

Дані на вибір реактора зводимо в табл.. 4.1.

Таблиця 4.1- Умови вибору реактора

| Параметри | Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|--|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 10 | 10 |
| Тривалий струм, кА | $I_{ФОРС} \leq I_{НОМ}$ | 1169,25 | 1600 |
| Індуктивний опір, Ом | $x_{РАСЧ} \leq x_{НОМ}$ | 0,179 | 0,2 |
| Струм динамічної стійкості, кА | асимметричный $i_y \leq i_{дин}$ | 51,756 | 52 |
| Термічна стійкість, кА ² ·с | $B_{К,РАСЧ} \leq B_{К,НОМ}$ | $18,71^2(1,2 + 0,23) = 500,59$ | $25,6^2 \cdot 8 = 5242,88$ |
| Утрата напруги, % | $\Delta U_{РАСЧ} \leq \Delta U_{НОМ}$ | 1,009 | 2,5 |

Залишкова напруга на шинах РП 10 кВ при КЗ за реактором:

$$U_{ОСТ}\% = x_p \frac{\sqrt{3} \cdot I_{П,0} \cdot 100}{U_{НОМ}} = 0,2 \frac{\sqrt{3} \cdot 18,71 \cdot 100}{10} = 74,8\%.$$

Утрата напруги при протіканні максимального струму в нормальному режимі роботи визначаємо з урахуванням зменшення опору в нормальному режимі:

$$\Delta U_{РАСЧ}\% = x_p (1 - k_{СВ}) \frac{\sqrt{3} \cdot I_{max} \cdot 100}{U_{НОМ}} \cdot \sin \varphi = 0,2(1 - 0,53) \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1693 \cdot 100}{10} \cdot 0,53 = 1,009\%,$$

де $k_{\text{СВ}} = 0,53$ (з каталогу для даного реактора); коефіцієнт потужності навантаження $\cos\varphi$ прийнятий рівним 0,85, тоді $\sin\varphi = 0,53$.

Обраний реактор задовольняє обраним вимогам.

4.2 Вибір вимикачів

Виборові підлягають вимикачі в розподільних пристроях (РП) усіх напруг. Оскільки при установці вимикачів прагнуть до їхньої ідентичності, то в кожній схемі варто визначити вимикач, що має найбільш важкої розрахункової умови.

4.2.1 Вибір вимикачів на стороні 330 кВ

Вибираємо вимикачі в РП 330 кВ по струму найбільш могутнього приєднання, яким є автотрансформатор.

$$I_{\text{НОРМ.РАБ}} = \frac{S_{\text{АТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 330} = 437,39 \text{ А.}$$

З обліком припустимої 1,5-кратного перевантаження:

$$I_{\text{max}} = 1,5 \cdot 437,39 = 656,085 \text{ А.}$$

З табл. П4.4, стор. 630 [1] вибираємо повітряний вимикач типу ВВБК-330Б-40-3200. Порівняння розрахункових і каталожних даних ведемо в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2- Умови вибору вимикача ВВБК-330Б-40-3200

| Параметри | Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|-----------------------------------|---|---|--|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 330 | 330 |
| Тривалий струм, А | $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 437,39 656,085 | 3200 3200 |
| Тік динамічної стійкості, кА | симметричный $I_{П,0} \leq I_{ДИН}$ | 11,938 | 50 |
| Термічна стійкість | $i_y \leq i_{ДИН}$ $B_{К,РАСЧ} \leq B_{НОМ}$ | 31,93 кА $11,938^2(0,1 + 0,04 + 0,05) = 27,078 \text{ кА}^2\text{с}$ | 128 кА $50^2 \cdot 2 = 5000 \text{ кА}^2\text{с}$ |
| Номінальний струм відключення, кА | симметричный $I_{П,\tau} \leq I_{ОТК}$ асимметричный $\sqrt{2} \cdot I_{П,\tau} + i_{a,\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{ОТК}(1 + \beta_{НОМ})$ | 11,9 $\sqrt{2} \cdot 11,9 + 4,336 = 21,165$ | 40 $\sqrt{2} \cdot 40(1 + 0,45) = 82,024$ |

4.2.2 Вибір вимикачів на стороні 220 кВ

Вибираємо вимикачі в ВРП 220 кВ по струму найбільш могутнього приєднання, яким є автотрансформатор

$$I_{НОРМ.РАБ} = \frac{S_{АТ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 656,08 \text{ А.}$$

З обліком припустимої 1,5-кратного перевантаження:

$$I_{max} = 1,5 \cdot 656,08 = 984,12 \text{ А.}$$

З табл. 5.2, стор. 238 [2] вибираємо повітряний вимикач типу ВВБ-220Б-31,5-2000. Порівняння розрахункових і каталожних даних ведемо в табл.. 4.3.

Таблиця 4.3- Умови вибору вимикача ВВБ-220Б-31,5-2000

| Параметри | Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|-----------------------------------|---|--|---|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 220 | 220 |
| Тривалий струм, А | $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 656,08 984,12 | 2000 2000 |
| Тік динамічної стійкості, кА | симметричный $I_{П,0} \leq I_{ДИН}$ | 14,597 | 31,5 |
| Термічна стійкість | $i_y \leq i_{ДИН}$ $B_{К,РАСЧ} \leq B_{НОМ}$ | 32,288 кА $14,597^2(0,1 + 0,07 + 0,05) = 46,875$ кА ² с | 80 кА $40^2 \cdot 2 = 3200$ кА ² с |
| Номінальний струм відключення, кА | симметричный $I_{П,\tau} \leq I_{ОТК}$ асимметричный $\sqrt{2} \cdot I_{П,\tau} + i_{a,\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{ОТК}(1 + \beta_{НОМ})$ | 14,457 $\sqrt{2} \cdot 14,457 + 5,478 = 25,923$ | 31,5 $\sqrt{2} \cdot 31,5(1 + 0,23) = 54,794$ |

4.2.3 Вибір вимикачів у ланцюзі синхронного компенсатора

Визначаємо розрахункові струми тривалого режиму:

$$I_{НОРМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{37,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 2062 \text{ А.}$$

$$I_{max} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot U_{НОМ}} = \frac{37,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 10,5} = 2170 \text{ А.}$$

З табл. 5.1, стор. 228 [2] вибираємо маломасляні вимикачі типу МГГ-10-3150-45ТЗ. Порівняння розрахункових і каталожних даних ведемо в табл.. 4.4.

Таблиця 4.4 - Умови вибору вимикача МГГ-10-3150-45ТЗТЗ

| Параметри | Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|-----------------------------------|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Номінальна напруга, кВ | $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 10,5 | 11 |
| Тривалий струм, А | $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 2062 2170 | 3150 |
| Тік динамічної стійкості, кА | симметричний $I_{П,0} \leq I_{ДИН}$ | 38,995 | 45 |
| Термічна стійкість | $iY \leq i_{ДИН}$ $ВК,РАСЧ \leq ВНОМ$ | 100,539 кА 49,0192(4 + 0,17) = 10020 кА2с | 120 кА 452·4 = 11200 кА2с |
| Номінальний струм відключення, кА | симметричний $П, \tau \leq I_{ОТК}$ асимметричний $\sqrt{2} \cdot П, \tau + i_{a, \tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{ОТК}(1 + \beta_{НОМ})$ | 38,708 $\sqrt{2} \cdot 38,708 = 10,558$ 65,299 | 45 $\sqrt{2} \cdot 45(1 + 0,13) = 71,913$ |

4.2.4 Вибір вимикачів за реактором на стороні 10 кВ

Розрахунок ведемо по потужності обмотки НН автотрансформатора, що дорівнює 27 МВА. Тоді

$$I_{НОМ} = \frac{S_{НН}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{27000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1559 \text{ А.}$$

На одну гілку реактора:

$$I_{НОМ} = 1559/2 = 779,5 \text{ А.}$$

$$I_{ФОРС} = 1,5 \cdot I_{НОМ} = 1,5 \cdot 1559 = 2338,5 \text{ А.}$$

На одну гілку реактора:

$$I_{ФОРС} = 2338,5/2 = 1169,25 \text{ А.}$$

З табл. 5.1, стор. 228 [2] вибираємо маломасляные вимикачі типу ВМПЭ-11-1250-20ТЗ. Порівняння розрахункових і каталожних даних ведемо в табл. 4.5.

Таблиця 4.5- Умови вибору вимикача ВМПЭ-11-1250-20ТЗ

| Параметри | Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|-----------------------------------|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Номінальна напруга, кВ | $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 10,5 | 11 |
| Тривалий струм, А | $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 779,5 1169,25 | 1250 1250 |
| Тік динамічної стійкості, кА | симметричный $I_{П,0} \leq I_{ДИН}$ | 18,71 | 20 |
| Термічна стійкість | $i_y \leq i_{ДИН}$ $B_{К,РАСЧ} \leq B_{НОМ}$ | 51,756 кА $18,71^2(1,2 + 0,105 + 0,23) = 537,348 \text{ кА}^2\text{с}$ | 52 кА $20^2 \cdot 8 = 3200 \text{ кА}^2\text{с}$ |
| Номінальний струм відключення, кА | симметричный $IP, \tau \leq IOTK$ асимметричный $\sqrt{2} \cdot IP, \tau + ia, \tau \leq \sqrt{2} \cdot IOTK(1 + \beta_{НОМ})$ | 18,71 $\sqrt{2} \cdot 18,71 = 17,762$ 44,22 | 20 $\sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,4) = 49,598$ |

4.3 Вибір роз'єднувачів

4.3.1 Вибір роз'єднувачів у ВРП 330 кВ

З табл. 5.5, стор. 274 [2] вибираємо роз'єднувачі типу РНДЗ-330/3200У1. Порівняння розрахункових і каталожних даних ведемо в табл. 4.6.

Таблиця 4.6- Умови вибору роз'єднувача РНДЗ-330/3200У1

| Параметри | Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|-----------------------|--|---|--|
| Номінальна напруга, В | $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 330 | 330 |
| Тривалий струм, А | $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 437,39 656,085 | 3200 3200 |
| Термічна стійкість | $i_y \leq i_{ДИН}$ $B_{К,РАСЧ} \leq B_{НОМ}$ | 31,93 кА $11,938^2(0,1 + 0,04 + 0,05) = 27,078 \text{ кА}^2\text{с}$ | 160 кА $63^2 \cdot 1 = 3969 \text{ кА}^2\text{с}$ |

4.3.2 Вибір роз'єднувачів у ВРП 220 кВ

З табл. 5.5, стор. 274 [2] вибираємо роз'єднувачі типу РНДЗ-220/1000Т1.

Порівняння розрахункових і каталожних даних ведемо в табл. 4.7.

Таблиця 4.7- Умови вибору роз'єднувача РНДЗ-220/1000Т1

| Параметри | Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|------------------------|--|--|--|
| Номінальна напруга, кВ | $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 220 | 220 |
| Тривалий струм, А | $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 656,08 984,12 | 1000 1000 |
| Термічна стійкість | $i_y \leq i_{дин}$ $B_{К,РАСЧ} \leq B_{НОМ}$ | 32,288 кА $14,597^2(0,1 + 0,07 + 0,05) =$ 46,875 кА ² с | 100 кА $40^2 \cdot 1 = 1600$ кА ² с |

4.4. Вибір трансформаторів струму

Перед вибором трансформаторів струму визначаємо перелік приладів, що підключаються до обраних трансформаторів струму. Список контрольно-вимірювальних приладів приймаємо згідно табл. 4.11, стор. 362 [1], тип приладів вибираємо з табл. П4.7, стор. 635 [1] і табл. 6.26, стор. 387 [2]. Обрані прилади зводимо в табл. 4.8.

Таблиця 4.8- Контрольно-вимірювальні прилади на підстанції

| Ланцюг | Місце установки приладів | Перелік і тип приладів |
|--------------------|--------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Автотрансформатора | ВН | Амперметр Э-335 |
| | СН | Амперметр Э-335 Ваттметр Д-335 Варметр Д-335 Счетчик активной энергии И-674 Счетчик реактивной энергии И-673 |
| | НН | Амперметр Э-335 Ваттметр Д-335 Варметр Д-335 Счетчик активной энергии И-674 Счетчик реактивной энергии И-673 |

| 1 | 2 | 3 |
|--------------------------------|--------------------------|---|
| Синхронного компенсатора | Статор | Амперметр Э-335 Вольтметр Э-335 Варметр Д-335 Счетчик реактивной энергии И-680 |
| | Ротор | Амперметр Э-335 Вольтметр Э-335 |
| Сбірні шини 220 кВ | На каждой секции | Вольтметр с переключением для измерения междуфазных напряжений Э-335 Регистрирующий вольтметр Н-344 Фиксирующий прибор ФИП |
| Сбірні шини 330 кВ | На каждой системе шин | Вольтметр с переключением для измерения междуфазных напряжений Э-335 Регистрирующий вольтметр Н-344 Фиксирующий прибор ФИП Регистрирующий частотомер Н-397 |
| Сбірні шини 10 кВ | На каждой секции | Вольтметр для измерения междуфазного напряжения Э-335 Вольтметр с переключением для измерения трех фазных напряжений Э-335 |
| Секційований вимикач 220 кВ | | Амперметр Э-335 |
| Обхідний вимикач 220 кВ | | Амперметр Э-335 Ваттметр Д-335 Варметр Д-335 Счетчик активной энергии И-680 Счетчик реактивной энергии И-676 |
| ПЛ 330 кВ | | Амперметр в каждой фазе Э-335 Ваттметр Д-335 Варметр Д-335 Осциллограф Фиксирующий прибор для определения места КЗ Датчик активной энергии Е-829 Датчик реактивной энергии Е-830 |
| ПЛ 220 кВ | | Амперметр Э-335 Ваттметр Д-335 Варметр Д-335 Фиксирующий прибор для определения места КЗ ФИП Счетчик активной энергии И-680 Счетчик реактивной энергии И-676 |

| 1 | 2 | 3 |
|-------------------------------------|----|---|
| КЛ 10 кВ | | Амперметр Э-335 Счетчик активной энергии И-680 Счетчик реактивной энергии И-676 |
| Трансформатор собственных потреб | ВН | - |
| | НН | Амперметр Э-335 Счетчик активной энергии И-680 |
| Шунтирующий реактор | | Регистрирующий амперметр Н-344 |

4.4.1 Вибір трансформаторів струму на стороні ВН автотрансформатора

У ланцюзі ВН автотрансформатора включений амперметр (згідно табл. 4.8). З табл. 5.11, стор. 322 [2] вибираємо трансформатори струму типу ТВТ330-I-1000/5, убудовані в трансформатор. Порівняння розрахункових і каталожних даних ведемо в табл. 4.9.

Таблиця 4.9- Умови вибору трансформатора струму ТВТ330-I-1000/5

| Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|--|------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 330 кВ | 330 кВ |
| $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 437,39 А 656,085 А | 750 А |
| $iY \leq i_{ДИН}$ | 31,93 кА | Не перевіряються |
| $BK, PACH \leq B_{НОМ}$ | 27,078 кА2с | $(25 \cdot 0,75)2 \cdot 3 = 1055 \text{ кА2с}$ |

4.4.2 Вибір трансформаторів струму на стороні СН автотрансформатора

Схема з'єднання приладів показана на рис. 4.1.

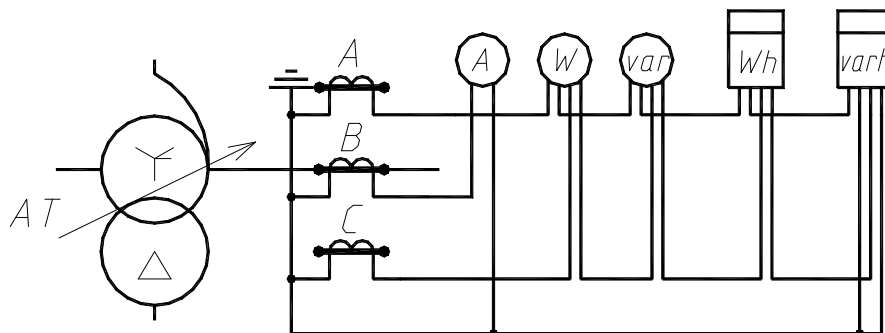


Рисунок 4.1- Схема з'єднання приладів на стороні СН автотрансформатора

З табл. 5.11, стор. 322 [2] вибираємо трансформатори струму типу ТВТ220-I- 1000/5, убудовані в автотрансформатор. Порівняння розрахункових і каталожних даних ведемо в табл. 4.10.

Таблиця 4.10- Умови вибору трансформаторів струму ТВТ220-I- 1000/5

| Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|--|--------------------------|--|
| $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 220 кВ | 220 кВ |
| $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 656,08 А 984,12 А | 1000 А |
| $i_y \leq i_{дин}$ | 32,288 кА | Не перевіряються |
| $B_{К,РАСЧ} \leq B_{НОМ}$ | 46,875 кА ² с | $(25 \cdot 1)^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2\text{с}$ |
| $r_2 \leq r_{2НОМ}$ | 0,4 Ом | 2,0 Ом |

Для перевірки трансформатора струму по вторинному навантаженню, користуючись схемою включення (рис. 4.1) і каталожними даними приладів, визначаємо навантаження по фазах для найбільш завантаженого трансформатора. Розрахунок ведемо в табл. 4.11.

Таблиця 4.11- Вторинне навантаження трансформатора струму

| Прилад | Тип | Навантаження, В·А, фази | | |
|------------------------------|-------|-------------------------|-----|-----|
| | | А | В | С |
| Амперметр | Э-335 | - | 0,5 | - |
| Ваттметр | Д-335 | 0,5 | - | 0,5 |
| Варметр | Д-335 | 0,5 | - | 0,5 |
| Лічильник активної енергії | И-674 | 2,5 | - | 2,5 |
| Лічильник реактивної енергії | И-673 | 2,5 | - | 2,5 |
| Разом | | 10 | 0,5 | 10 |

З табл. 4.11 видно, що найбільш завантажено трансформатори струму фаз А и С. Загальний опір приладів:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{10}{25} = 0,4 \text{ Ом.}$$

Припустимий опір проводів:

$$r_{\text{пр}} = Z_{2НОМ} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}} = 2,0 - 0,4 - 0,1 = 1,5 \text{ Ом.}$$

Приймаємо кабель з мідними жилами (підстанція з ВН 330 кВ), орієнтована довжина 120 м, трансформатори струму з'єднані в повну зірку, тому $I_{расч} = I$, тоді перетин:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{расч}}{r_{пр}} = \frac{0,0175 \cdot 120}{1,5} = 1,4 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо контрольний кабель КРВГ із жилами перетином 2,5 мм².

4.4.3 Вибір трансформаторів струму в ланцюзі НН автотрансформатора

Визначаємо струми на стороні НН автотрансформатора:

$$I_{НОРМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1443 \text{ А.}$$

$$I_{max} = 1,5 \cdot I_{НОРМ} = 1,5 \cdot 1443 = 2164,5 \text{ А.}$$

З табл. 5-11, стор. 275 [3] вибираємо трансформатори струму типу ТВТ-10/30-4000/5, убудовані в автотрансформатор з номінальним струмом 3000/5. Порівняння розрахункових і каталожних даних ведемо в табл. 4.12. Схема включення приладів та ж, що і на рис. 4.1.

Таблиця 4.12- Умови вибору трансформаторів струму ТВТ-10/30-4000/5

| Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|--|--|---|
| $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 10 кВ | 10 кВ |
| $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 1443 А 2164,5 А | 3000 А |
| $i_y \leq i_{дин}$ | 128,06 кА | Не перевіряються |
| $B_{К,РАСЧ} \leq B_{НОМ}$ | $37,692^2(0,1+0,08+0,05) =$ 326,758 кА ² с | $(30 \cdot 3)^2 \cdot 4 = 32400 \text{ кА}^2\text{с}$ |

4.4.4 Вибір трансформаторів струму в ланцюзі синхронного компенсатора

Схема підключення приладів показана на рис. 4.2.

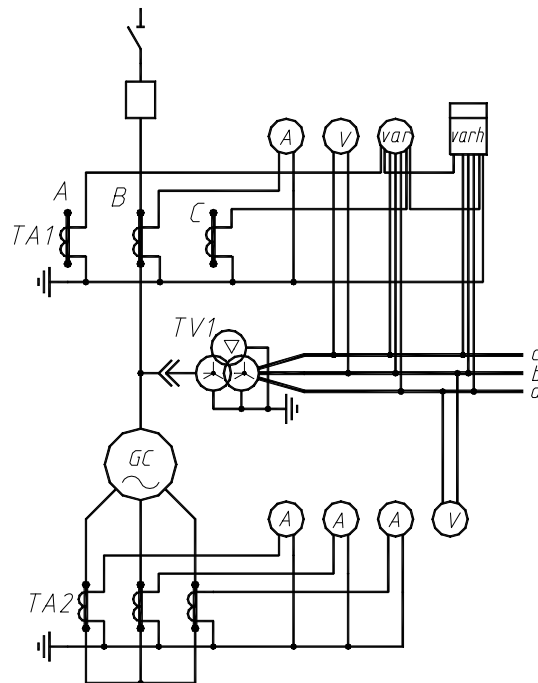


Рисунок 4.2- Схема включення вимірювальних приладів синхронного компенсатора

З табл. 5.9, стор. 298 [2] вибираємо трансформатори струму типу ТШЛ-10-3000/5-0,5/10Р-УЗ. Порівняння розрахункових і каталожних даних ведемо в табл. 4.13.

Таблица 4.13- Умови вибору трансформаторів струму ТШЛ-10-3000/5-0,5/10Р-УЗ

| Умови вибору | Розрахункові параметри | Каталожні дані |
|--|--------------------------|--|
| $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 10 | 10 |
| $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 2062 2170 | 3000 |
| $i_y \leq i_{дин}$ | 100,539 кА | Не перевіряються |
| $B_{К,РАСЧ} \leq B_{НОМ}$ | 593,04 кА ² с | $(35 \cdot 3)^2 \cdot 3 = 33075$ кА ² с |

4.4.5 Вибір трансформаторів струму в ланцюзі ВЛ 330 кВ

Визначаємо струми в лінії:

$$I_{\text{НОРМ}} = \frac{S_{\text{нагр}}}{n\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}} = \frac{311,64 \cdot 10^3}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot 330} = 181,743 \text{ A.}$$

$$I_{\text{max}} = \frac{n}{n-1} \cdot I_{\text{норм}} = \frac{3}{3-1} \cdot 181,743 = 272,615 \text{ A.}$$

Схема включення приборов показана на рис. 4.3.

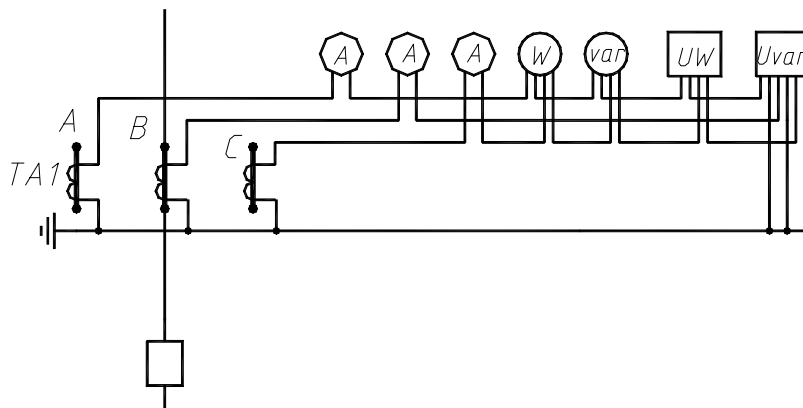


Рисунок 4.3- Схема включення приборов в цепи ВЛ 330 кВ

Из табл. 5.9, стр. 306 [2] выбираем трансформаторы тока типа ТФРМ-330Б-1000/5-0,2/10Р/10Р/10Р/10Р. Сравнение расчетных и каталожных данных ведем в табл. 4.14.

Таблица 4.14- Условия выбора трансформаторов тока ТФРМ-330Б-1000/5-0,2/10Р/10Р/10Р/10Р

| Условия выбора | Расчетные параметры | Каталожные данные |
|--|--------------------------|--|
| $U_{\text{РАБ}} \leq U_{\text{НОМ}}$ | 330 | 330 |
| $I_{\text{РАБ}} \leq I_{\text{НОМ}}$ $I_{\text{max}} \leq I_{\text{НОМ}}$ | 181,743 А 272,615 А | 1000 |
| $i_y \leq i_{\text{дин}}$ | 31,93 кА | 160 кА |
| $B_{\text{К,РАСЧ}} \leq B_{\text{НОМ}}$ | 27,078 кА ² с | $(63 \cdot 1)^2 \cdot 1 = 3969 \text{ кА}^2\text{с}$ |

4.4.6 Выбор трансформаторов тока в цепи ВЛ 220 кВ

Схема включения приборов показана на рис. 4.4.

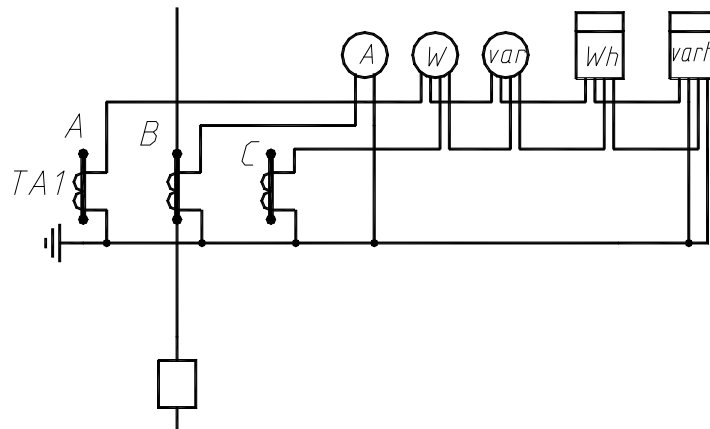


Рисунок 4.4- Схема включения приборов в цепи ВЛ 220 кВ

Из табл. 5.9, стр. 306 [2] выбираем трансформаторы тока типа ТФЗМ-220Б-IV-1000/5-0,5/10P/10P/10P. Сравнение расчетных и каталожных данных ведем в табл. 4.15.

Таблица 4.15- Условия выбора трансформаторов тока ТФЗМ-220Б-IV-1000/5-0,5/10P/10P/10P

| Условия выбора | Расчетные параметры | Каталожные данные |
|--|--------------------------|---|
| $U_{РАБ} \leq U_{НОМ}$ | 220 | 220 |
| $I_{РАБ} \leq I_{НОМ}$ $I_{max} \leq I_{НОМ}$ | 656,08 А 984,12 А | 1000 |
| $i_y \leq i_{дин}$ | 31,93 кА | 50 кА |
| $B_{К,РАСЧ} \leq B_{НОМ}$ | 46,875 кА ² с | $(19,6 \cdot 1)^2 \cdot 3 = 1152,5$ кА ² с |

4.5 Выбор трансформаторов напряжения

4.5.1 Выбор трансформаторов напряжения, подключенного к сборным шинам 220 кВ

Перечень необходимых измерительных приборов принимаем по табл. 4.8. Из табл. 5.13, стр. 336 [2] выбираем трансформатор напряжения типа НКФ-220-

58У1. Расчет вторичной нагрузки трансформаторов напряжения, подключаемых к сборным шинам 220 кВ, ведем в табл. 4.16.

Таблица 4.16- Расчет вторичной нагрузки трансформатора напряжения НКФ-220-58У1, подключаемого к сборным шинам 220 кВ

| Наименование присоединения | Подключаемые приборы | Количество катушек приборов | Мощность, потребляемая одной катушкой, ВА | Количество приборов | Суммарная потребляемая мощность, ВА |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---------------------|-------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ВЛ 220 кВ | Ваттметр Д-335 | 2 | 2 | 3 | 12 |
| | Варметр Д-335 | 2 | 2 | 3 | 12 |
| | Счетчик активн. энер. И-680 | 2 | 8 | 3 | 48 |
| | Счетчик реакт. энер. И-676 | 2 | 12 | 3 | 72 |
| Авотрансформатор | Ваттметр Д-335 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| | Варметр Д-335 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| | Счетчик активн. энер. И-674 | 2 | 12 | 1 | 24 |
| | Счетчик реакт. энер. И-673 | 2 | 12 | 1 | 24 |
| Сборные шины | Вольтметр Э-335 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| | Регистр. Вольтметр Н-344 | 1 | 10 | 1 | 10 |
| Обходной выключатель | Ваттметр Д-335 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| | Варметр Д-335 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| | Счетчик актив. энер. И-680 | 2 | 8 | 1 | 16 |
| | Счетчик реакт. энерг. И-676 | 2 | 12 | 1 | 24 |
| Итого | | | | | 266 |

Выбранный трансформатор имеет номинальную мощность 400 ВА в классе точности 0,5, необходимом для подключения счетчиков. Таким образом:

$$S_{2\Sigma} = 266 \text{ ВА} < S_{\text{ном}} = 400 \text{ ВА},$$

трансформатор будет работать в выбранном классе точности.

Трансформаторы напряжения подключаем к каждой секции сборных шин 220 кВ.

4.5.2 Выбор трансформаторов напряжения в цепи ВЛ 330 кВ

Из табл. 5.13, стр. 336 [2] выбираем трансформаторы напряжения типа НКФ-330-73У1 с номинальной мощностью в классе точности 0,5 400 ВА.

4.5.3 Выбор трансформаторов напряжения, подключенных к сборным шинам 330 кВ

Из табл. 5.13, стр. 336 [2] выбираем трансформаторы напряжения типа НКФ-330-73У1 с номинальной мощностью в классе точности 0,5 400 ВА. Трансформаторы устанавливаются на каждой системе шин 330 кВ.

4.5.4 Выбор трансформаторов напряжения, подключенных к сборным шинам 10 кВ

Из табл. 5.13, стр. 334 [2] выбираем трансформатор напряжения типа ЗНОЛ.09-10.02, $U_{\text{ном}} = 10$ кВ, $S_{2\text{ном}} = 75$ ВА в классе точности 0,5. Трансформаторы напряжения подключаются к каждой секции сборных шин 10 кВ.

4.5.5 Выбор трансформаторов напряжения в цепи синхронного компенсатора

Из табл. 5.13, стр. 334 [2] выбираем трансформатор напряжения типа ЗНОЛ.09-10.02, $U_{\text{ном}} = 10$ кВ, $S_{2\text{ном}} = 75$ ВА в классе точности 0,5.

4.6 Выбор шин и токоведущих частей

4.6.1 Выбор сборных шин 330 кВ

Так как сборные шины по экономической плотности тока не выбираются, принимаем сечение по допустимому току при максимальной нагрузке на шинах,

равной току наиболее мощного присоединения, в данном случае автотрансформатора.

$$I_{\text{НОРМ.РАБ}} = \frac{S_{\text{АТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 330} = 437,39 \text{ А.}$$

$$I_{\text{max}} = 1,5 \cdot 437,39 = 656,085 \text{ А.}$$

Из табл. 7.35, стр. 428 [2] по допустимому току проходит провод марки АС-300/48 с $I_{\text{доп}} = 690 \text{ А}$, однако из табл. 1.18, стр. 20 [2] по условиям коронирования на ВЛ 330 кВ минимально допустимым является провод АС-600/72. Учитывая, что расстояние между фазами в ОРУ меньше, чем на воздушных линиях принимаем расщепленные провода в одной фазе: $2 \times \text{АС-300/48}$ с $I_{\text{доп}} = 2 \times 690 = 1380 \text{ А}$.

Определяем необходимость проверки проводов на термическую стойкость:

$$S' = \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{П,0}} = \sqrt{3} \cdot 330 \cdot 11,938 = 6823 \text{ МВА} < S_{\text{доп}} = 12000 \text{ МВА.}$$

Тогда проверка на термическую стойкость не требуется.

Проводим проверку по условиям коронирования.

Начальная критическая напряженность:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right),$$

где $m = 0,82$ – коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности провода (для многопроволочных проводов);

$r_0 = 1,205 \text{ мм}$ – радиус провода.

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,205}} \right) = 31,614 \text{ кВ/см.}$$

Напряженность вокруг провода:

$$E = k \frac{0,354U}{nr_0 \lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{эк}}}},$$

где $k = 1 + 2 \frac{r_0}{a}$ - коэффициент, учитывающий число проводов n в фазе; $a = 40$ см;

$r_{\text{эк}} = \sqrt{r_0 a}$ - эквивалентный радиус расщепленных проводов.

$D_{\text{ср}} = 1,26D$, где $D = 4500$ см – расстояние между соседними фазами.

$$D_{\text{ср}} = 1,26 \cdot 4500 = 5670 \text{ см.}$$

$$k = 1 + 2 \cdot \frac{1,205}{40} = 1,06.$$

$$r_{\text{эк}} = \sqrt{1,205 \cdot 40} = 6,943 \text{ см.}$$

$$E = 1,06 \cdot \frac{0,354 \cdot 330}{2 \cdot 1,205 \lg \frac{5670}{6,943}} = 17,644 \text{ кВ/см.}$$

Условие проверки:

$$1,07E \leq 0,9E_0;$$

$$1,07 \cdot 17,644 = 18,879 < 0,9 \cdot 31,614 = 28,453.$$

Таким образом, два провода в фазе АС-300/48 по условиям короны проходят.

Проверяем токопровод по условиям схлестывания. Сила взаимодействия между фазами:

$$f = \frac{1,5I_{\Pi,0}^{(3)2}}{D}10^{-7} = \frac{1,5 \cdot 11938^2}{4,5} \cdot 10^{-7} = 4,751 \text{ Н/м.}$$

Сила тяжести 1 м токопровода (с учетом массы 1 м провода АС-300/48 1,186 кг):

$$g = 1,1 \cdot 9,8m = 1,1 \cdot 9,8(2 \cdot 1,185) = 25,55 \text{ Н/м.}$$

Принимая время действия релейной защиты $t_3 = 0,1$ с, находим:

$$t_{\text{ЭК}} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ с.}$$

$$\frac{\sqrt{h}}{t_{\text{ЭК}}} = \frac{\sqrt{3}}{0,15} = 11,547.$$

По диаграмме (рис. 4.9, стр. 235 [1]) для значения $f/g = 4,751/25,55 = 0,186$, Находим $b/h = 0,095$, откуда $b = 0,095 \cdot 3 = 0,285$ м.

Допустимое отклонение фазы:

$$b_{\text{доп}} = \frac{D - d - a_{\text{доп}}}{2} = \frac{4,5 - 0,139 - 1,4}{2} = 1,481 \text{ м.}$$

Схлестывания не произойдет, так как $b < b_{\text{доп}}$.

Результаты расчетов сводим в табл. 4.17.

Таблица 4.17- Условия выбора сборных шин, выполненных гибким проводом 2×АС-300/48.

| Параметры | Условия выбора | Расчетные параметры | Допустимые значения |
|--|--|---------------------|---------------------|
| Длительный ток, А | $I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$ | 656,085 | 1380 |
| Термическая стойкость, мм ² | $q_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} \leq q$ | Не проверяются | |
| Условие коронирования, кВ/см | $1,07E \leq 0,9E_0$ | 18,879 | 28,453 |
| Электродинамическое действие токов КЗ, м | $b \leq b_{\text{доп}}$ | 0,285 | 1,481 |

4.6.2 Выбор сечения проводов на стороне 330 кВ ответвлений к автотрансформаторам

Сечение проводов ответвлений к автотрансформаторам выбираем по экономической плотности тока:

$$q_{\text{Э}} = \frac{I_{\text{НОРМ}}}{J_{\text{ЭК}}} = \frac{437,39}{1,0} = 437,39 \text{ мм}^2.$$

Принимаем два провода АС-300/48 в фазе с $q = 2 \times 241 = 600 \text{ мм}^2$.

Проверку выбранных проводов проводим в табл. 4.18.

Таблица 4.18- Условия выбора токопроводов от сборных шин 330 кВ к автотрансформаторам

| Условия выбора | Расчетные параметры | Допустимые значения |
|--|---------------------|---------------------------------|
| $I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$ | 656,085 А | $2 \times 690 = 1380 \text{ А}$ |
| $q_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} \leq q$ | Не проверяются | |
| $1,07E \leq 0,9E_0$ | 18,879 | 28,453 |
| $b \leq b_{\text{доп}}$ | 0,285 | 1,481 |

4.6.3 Выбор сечения проводов ВЛ 330 кВ

Токи для выбора проводов:

$$I_{\text{НОРМ.РАБ}} = 181,743 \text{ А.}$$

$$I_{\max} = 272,615 \text{ A.}$$

По экономической плотности тока:

$$q_{\text{Э}} = \frac{I_{\text{НОРМ}}}{J_{\text{ЭК}}} = \frac{181,743}{1,0} = 181,743 \text{ мм}^2.$$

Из табл. 7.35, стр. 428 [2] выбираем дваровода АС-240/56 в фазе. Сравнение расчетных и допустимых данных ведем в табл. 4.19.

Таблица 4.19- Условия выбора провода ВЛ 330 кВ

| Условия выбора | Расчетные параметры | Допустимые значения |
|---|---------------------|---------------------------------|
| $I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$ | 272,615 А | $2 \times 610 = 1220 \text{ А}$ |
| $q_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} \leq q$ | Не проверяются | |
| $1,07E \leq 0,9E_0$ | 26,827 | 28,68 |
| $b \leq b_{\text{доп}}$ | 0,24 | 2,23 |

4.6.4 Выбор сборных шин 220 кВ

Так как сборные шины по экономической плотности тока не выбираются, принимаем сечение по допустимому току при максимальной нагрузке на шинах, равной току наиболее мощного присоединения, в данном случае автотрансформатора.

$$I_{\text{НОРМ.РАБ}} = \frac{S_{\text{АТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 220} = 656,08 \text{ A.}$$

$$I_{\max} = 1,5 \cdot 656,08 = 984,12 \text{ A.}$$

Из табл. 7.35, стр. 430 [2] принимаем провод АС-600/72, $q = 600 \text{ мм}^2$, $d = 33,2 \text{ мм}$, $I_{\text{доп}} = 1050 \text{ А}$. Фазы расположены горизонтально с расстоянием между фазами 400 см.

Для выяснения необходимости проверки проводов на термическое действие токов КЗ находим мощность короткого замыкания:

$$S'' = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{п,0}} = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 14,597 = 5562 \text{ МВА} < S''_{\text{доп}} = 8000 \text{ МВА}.$$

Проверку расчетных и допустимых значений ведем в табл. 4.20.

Таблица 4.20- Условия выбора сборных шин 220 кВ, выполняемы гибким проводом АС-600/72

| Параметры | Условия выбора | Расчетные параметры | Допустимые значения |
|--|---|---------------------|---------------------|
| Длительный ток, А | $I_{\text{max}} \leq I_{\text{доп}}$ | 984,12 | 1050 |
| Термическая стойкость, мм ² | $q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} \leq q$ | Не проверяются | |
| Условие коронирования, кВ/см | $1,07E \leq 0,9E_0$ | 21,142 | 27,551 |
| Электродинамическое действие токов КЗ, м | $b \leq b_{\text{доп}}$ | 0,375 | 1,517 |

4.6.5 Выбор сечения проводов на стороне 220 кВ ответвлений к автотрансформаторам

Сечение проводов ответвлений к автотрансформаторам выбираем по экономической плотности тока:

$$q_{\text{э}} = \frac{I_{\text{норм}}}{J_{\text{эк}}} = \frac{656,08}{1,0} = 656,08 \text{ мм}^2.$$

Из табл. 7.35, стр. 430 [2] принимаем провод АС-650/79, $q = 650 \text{ мм}^2$, $d = 34,7 \text{ мм}$, $I_{\text{доп}} = 1050 \text{ А}$. Фазы расположены горизонтально с расстоянием между фазами 400 см. Проверку расчетных и допустимых значений ведем в табл. 4.21.

Таблица 4.21- Условия выбора токопроводов от сборных шин 220 кВ к
автотрансформаторам

| Параметры | Условия выбора | Расчетные параметры | Допустимые значения |
|--|--|---------------------|---------------------|
| Длительный ток, А | $I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$ | 984,12 | 1050 |
| Термическая стойкость, мм ² | $q_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} \leq q$ | Не проверяются | |
| Условие коронирования, кВ/см | $1,07E \leq 0,9E_0$ | 20,386 | 27,437 |
| Электродинамическое действие токов КЗ, м | $b \leq b_{\text{доп}}$ | 0,4 | 1,508 |

4.6.6 Выбор сечения проводов ВЛ 220 кВ

Определяем токи в линии:

$$I_{\text{НОРМ}} = \frac{S_{\text{нагр}}}{n\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{311,64 \cdot 10^3}{5 \cdot \sqrt{3} \cdot 220} = 163,539 \text{ А.}$$

$$I_{\max} = \frac{n}{n-1} \cdot I_{\text{НОРМ}} = \frac{5}{5-1} \cdot 163,539 = 204,427 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока:

$$q_{\text{Э}} = \frac{I_{\text{НОРМ}}}{J_{\text{ЭК}}} = \frac{163,539}{1,0} = 163,539 \text{ мм}^2.$$

Из табл. 1.18, стр. 20 [2] минимально допустимым проводом по условиям коронирования является АС-240/39. Из табл. 7.35, стр. 428 [2] принимаем провод марки АС-240/39 $q = 240 \text{ мм}^2$, $d = 21,6 \text{ мм}$, $I_{\text{доп}} = 610 \text{ А}$. Проверку расчетных и допустимых значений ведем в табл. 4.22.

Таблица 4.22- Условия выбора провода ВЛ 220 кВ

| Параметры | Условия выбора | Расчетные параметры | Допустимые значения |
|--|--|---------------------|---------------------|
| Длительный ток, А | $I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$ | 204,427 | 610 |
| Термическая стойкость, мм ² | $q_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} \leq q$ | Не проверяются | |
| Условие коронирования, кВ/см | $1,07E \leq 0,9E_0$ | 27,12 | 28,796 |
| Электродинамическое действие токов КЗ, м | $b \leq b_{\text{доп}}$ | 0,45 | 2,514 |

4.6.7 Выбор токоведущих частей в цепи синхронного компенсатора

Связь синхронного компенсатора с автотрансформатором выполняем жесткими шинами. Расчетные токи:

$$I_{\text{НОРМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{37,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 2062 \text{ А.}$$

$$I_{\max} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{37,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 10,5} = 2170 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока:

$$q_{\text{э}} = \frac{I_{\text{НОРМ}}}{J_{\text{э}}} = \frac{2062}{1,0} = 2062 \text{ мм}^2.$$

Из табл. ПЗ.4, стр 624 [1] принимаем двухполосные алюминиевые шины прямоугольного сечения $2(100 \times 10) \text{ см}^2$; $I_{\text{доп}} = 2860 \text{ А}$.

Проверяем шины на термическую стойкость. Тепловой импульс тока КЗ:

$$B_K = I_{\text{п},0}^2 \cdot (t_{\text{ОТК}} + T_a) = 10,024^2 \cdot (4 + 0,17) = 419,004 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C} = \frac{\sqrt{419004 \cdot 10^3}}{91} = 224,941 \text{ мм}^2,$$

что меньше выбранного сечения 2×1000 , следовательно шины термически стойки.

Проверяем шины на механическую прочность. Определяем пролет l при условии, что частота собственных колебаний будет больше 200 Гц:

$$200 \geq \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}},$$

откуда

$$l^2 \leq \frac{173,2}{200} \sqrt{\frac{J}{q}}.$$

Если шины расположены на ребро, а полосы в пакете жестко связаны между собой, то:

$$J = 0,72 \cdot b^3 h = 0,72 \cdot 1^3 \cdot 10 = 7,2 \text{ см}^4,$$

Тогда

$$l^2 \leq \frac{173,2}{200} \sqrt{\frac{7,2}{10 \cdot 2}} = 0,52 \text{ м}^2; \quad l \leq \sqrt{0,52} = 0,721 \text{ м}.$$

Если шины на изоляторах расположены плашмя, то:

$$J = \frac{bh^3}{6} = \frac{1 \cdot 10^3}{6} = 166,667 \text{ см}^4;$$

$$l^2 \leq \frac{173,2}{200} \sqrt{\frac{166,667}{10 \cdot 2}} = 2,5 \text{ м}^2; \quad l \leq \sqrt{2,5} = 1,581 \text{ м}.$$

Этот вариант расположения шин на изоляторах позволяет увеличить длину пролета до 1,581 м, т.е. дает значительную экономию изоляторов. Принимаем расположение пакета шин плашмя; пролет 1,6 м; расстояние между фазами $a = 0,8$

Для того, чтобы уменьшить усилие между полосами, в пролете между полосами устанавливаются прокладки. Пролет между прокладками выбирается таким образом, чтобы электродинамические силы, возникающие при КЗ, не вызывали сопротивления полос:

$$l_{\Pi} \leq 0,216 \sqrt{\frac{a_{\Pi}}{i_y^{(3)}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{EJ_{\Pi}}{k_{\Phi}}} = 0,216 \cdot \sqrt{\frac{2}{27544}} \cdot \sqrt[4]{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 0,833}{0,4}} = 1,137 \text{ м},$$

где $E = 7 \cdot 10^{10}$ Па по табл. 4.2, стр.224 [1]; $J_{\Pi} = \frac{hb^3}{12} = \frac{10 \cdot 1^3}{12} = 0,833 \text{ см}^4$; $k_{\Phi} = 0,4$ по рис. 4.5, стр. 224 [1]; $a_{\Pi} = 2b = 2 \cdot 1 = 2 \text{ см}$.

Механическая система две полосы-изоляторы должна иметь частоту собственных колебаний больше 200 Гц, чтобы не произошло резкого увеличения усилия в результате механического резонанса. Исходя из этого величина l_{Π} выбирается еще по одному условию:

$$l_{\Pi} \leq 0,133 \sqrt[4]{\frac{EJ_{\Pi}}{m_{\Pi}}} \cdot 10^{-2} = 0,133 \sqrt[4]{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 0,833}{2,7}} \cdot 10^{-2} = 0,828 \text{ м},$$

где $m_{\Pi} = 2,7 \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 1 = 2,7 \text{ кг/м}$.

Принимаем меньшее значение $l_{\Pi} = 0,828 \text{ м}$, тогда число прокладок в пролете $n = \frac{l}{l_{\Pi}} - 1 = \frac{1,6}{0,828} - 1 = 0,932$. Принимаем $n = 1$.

При двух прокладках в пролете расчетный пролет:

$$l_{\Pi} = \frac{l}{n+1} = \frac{1,6}{1+1} = 0,8 \text{ м}.$$

Определяем силу взаимодействия между полосами:

$$f_{\Pi} = \frac{k_{\Phi} \cdot i_y^2}{4b} \cdot 10^{-7} = \frac{0,4 \cdot 27544^2}{4 \cdot 0,01} \cdot 10^{-7} = 758,672 \text{ Н/м},$$

где $b = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м}$.

Напряжение в материале полос:

$$\sigma_{\Pi} = \frac{f_{\Pi} \cdot l_{\Pi}^2}{12 \cdot W_{\Pi}} = \frac{758,672 \cdot 0,8^2}{12 \cdot 1,667} = 24,273 \text{ МПа},$$

$$\text{где } W_{\Pi} = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{1^2 \cdot 10}{6} = 1,667 \text{ см}^3.$$

Напряжение в материале шин от взаимодействия фаз:

$$\sigma_{\Phi} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{l_y^{(3)2}}{a W_{\Phi}} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \frac{1,6^2 \cdot 27544^2}{0,8 \cdot 33,333} = 1,262 \text{ МПа},$$

$$\text{где } W_{\Phi} = \frac{bh^2}{3} = \frac{1 \cdot 10^2}{3} = 33,333 \text{ см}^3.$$

$$\sigma_{\text{расч}} = \sigma_{\Phi} + \sigma_{\Pi} = 24,273 + 1,262 = 25,535 \text{ МПа},$$

что меньше $\sigma_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$. Таким образом, шины механически прочны.

Результаты расчетов сводим в табл. 4.23.

Таблица 4.23- Условия выбора шинопровода связи

| Параметры | Условия выбора | Расчетные параметры | Допустимые значения |
|--|---|---------------------|---------------------|
| Длительный ток, А | $I_{\text{РАБ}} \leq I_{\text{ДОП}}$ | 2170 | 2860 |
| Экономическое сечение, мм ² | $q_{\text{расч}} = \frac{I_{\text{РАБ}}}{j_{\text{э}}}$ | 2062 | 2000 |
| Термическая стойкость, мм ² | $q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} \leq q$ | 224,941 | 2×1000 |
| Динамическая стойкость, МПа | $\sigma_{\text{РАСЧ}} \leq \sigma_{\text{ДОП}}$ | 25,535 | 75 |

4.6.7 Выбор токоведущих частей в цепи от выводов автотрансформатора до реактора

Расчетные токи в цепи от выводов автотрансформатора до сдвоенного реактора:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{27000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1559 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ФОРС}} = 1,5 \cdot I_{\text{НОМ}} = 1,5 \cdot 1559 = 2338,5 \text{ А.}$$

Из табл. 9.14, стр. 543 [2] выбираем комплектный токопровод 10 кВ марки ТЭК-10-3200-125: $U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$; $I_{\text{НОМ}} = 3200 \text{ А}$; $i_{\text{дин}} = 125 \text{ кА}$; сечение токоведущих шин (из алюминия) $(150 \times 80 \times 15) \text{ мм}^2$; расположение шин – по треугольнику.

Сравнение расчетных и допустимых данных ведем в табл. 4.24.

Таблица 4.24- Условия выбора комплектного токопровода ТЭК-10-3200-125

| Параметры | Условия выбора | Расчетные параметры | Допустимые значения |
|--|---|---------------------|---------------------|
| Длительный ток, А | $I_{\text{РАБ}} \leq I_{\text{ДОП}}$ | 2338,5 | 3200 |
| Электродинамическая стойкость, кА | $i_y \leq i_{\text{дин}}$ | 100,516 | 125 |
| Термическая стойкость, мм ² | $q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} \leq q$ | Не проверяются | |
| Динамическая стойкость, МПа | $\sigma_{\text{РАСЧ}} \leq \sigma_{\text{ДОП}}$ | Не проверяются | |

4.6.8 Выбор токоведущих частей от реактора до сборных шин 10 кВ

Расчетные токи:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{1559}{2} = 779,5 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ФОРС}} = \frac{2338,5}{2} = 1169,85 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока:

$$q_{\Sigma} = \frac{I_{\text{НОРМ}}}{J_{\Sigma}} = \frac{779,5}{1,0} = 779,5 \text{ мм}^2.$$

Из табл. 7.3, стр. 395 [2] выбираем алюминиевые шины сечением $(80 \times 10) = 800 \text{ мм}^2$; $I_{\text{ДОП}} = 1480 \text{ А}$. Сравнение расчетных и допустимых значений ведем в табл. 4.25.

Таблица 4.25- Условия выбора шинпровода от реактора до сборных шин

| Параметры | Условия выбора | Расчетные параметры | Допустимые значения |
|--|---|---------------------|---------------------|
| Длительный ток, А | $I_{\text{РАБ}} \leq I_{\text{ДОП}}$ | 1169,85 | 1480 |
| Экономическое сечение, мм ² | $q_{\text{расч}} = \frac{I_{\text{РАБ}}}{j_{\Sigma}}$ | 779,5 | 800 |
| Термическая стойкость, мм ² | $q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} \leq q$ | 133,72 | 800 |
| Динамическая стойкость, МПа | $\sigma_{\text{РАСЧ}} \leq \sigma_{\text{ДОП}}$ | 21,748 | 75 |

4.6.9 Выбор сборных шин 10 кВ

Сборные шины по экономической плотности тока не выбираются. По допустимому току из табл. 7.3, стр. 395 [2] выбираем алюминиевые шины сечением $(80 \times 10) = 800 \text{ мм}^2$; $I_{\text{ДОП}} = 1480 \text{ А}$. Сравнение расчетных и допустимых значений ведем в табл. 4.26.

Таблица 4.26- Выбор сборных шин 10 кВ

| Параметры | Условия выбора | Расчетные параметры | Допустимые значения |
|--|---|---------------------|---------------------|
| Длительный ток, А | $I_{\text{РАБ}} \leq I_{\text{ДОП}}$ | 1169,85 | 1480 |
| Экономическое сечение, мм ² | $q_{\text{расч}} = \frac{I_{\text{РАБ}}}{j_{\Sigma}}$ | - | - |
| Термическая стойкость, мм ² | $q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} \leq q$ | 133,72 | 800 |
| Динамическая стойкость, МПа | $\sigma_{\text{РАСЧ}} \leq \sigma_{\text{ДОП}}$ | 21,748 | 75 |

5 КОНСТРУКЦІЯ ВРП 220 кВ

Розподільний пристрій, розташований на відкритому повітрі, називається відкритим розподільним пристроєм (ВРП). Як правило, РП напругою 35 кВ і вище споруджуються відкритими.

Відкриті РП повинні забезпечити надійність роботи, безпека і зручність обслуговування при мінімальних витратах на спорудження, можливість розширення, максимальне застосування великоблочних вузлів заводського виготовлення.

Відстань між струмоведучими частинами і від них до різних елементів ВРП повинне вибиратися відповідно до вимог ПУЕ.

Всі апарати ВРП звичайно розташовуються на невисоких підставах (металевих або залізобетонних). По території ВРП передбачаються проїзди для можливості механізації монтажу і ремонту устаткування. Шини виконуються гнучкими з многопроволочних проводів, що кріпляться за допомогою підвісних ізоляторів на порталах.

Під силовими трансформаторами, масляними реакторами передбачаються маслоприемники, укладається шар ґравію товщиною не менш 25 см, і олія стікає в аварійних випадках у маслосборники. Кабелі оперативних ланцюгів, ланцюгів керування, релейного захисту, автоматики і воздухопроводи прокладають у лотках із залізобетонних конструкцій без заглиблення їхній у ґрунт або в металевих лотках, підвішених до конструкцій ВРП.

Відкритий розподільний пристрій повинний бути обгороджено.

Для широко розповсюджених схем з однієї і двома робітниками й обхідний системами шин застосовується типова компановка ВРП, розроблена інститутом "Энергосетьпроект".

На кресленні приведені розріз і план осередку автотрансформатора ВРП 220 кВ по розглянутому типовому проекті. У прийнятої компановке усі вимикачі розміщаються в один ряд біля другої секції шин, що полегшує їхнє обслуговування. Такі ВРП називаються однорядними на відміну від інших

компановок, де вимикачі ліній розташовані в одному ряді, а вимикачі трансформаторів - в іншому.

З креслення видно, що кожен полюс шинних роз'єднувачів другої секції шин розташований під проводами відповідної фази збірних шин. Таке розташування (кільове) дозволяє виконувати з'єднання шинних роз'єднувачів безпосередньо під збірними шинами і на цьому ж рівні приєднувати вимикач.

Розглянуті роз'єднувачі мають пополюсное керування.

Ошиновка ВРП виконується гнучкими сталевими проводами. Лінійні і шинні портали і всі опори під апаратами - стандартні, залізобетонні.

Кабелі і воздухопровода прокладені в лотках із залізобетонних плит, що служать одночасно пішохідними доріжками. У місцях перетинань з дорогою лотки прокладаються під проїзною частиною дороги.

Усі спорудження на площадці підстанції повинні розміщатися так, щоб при будівництві і монтажі, а також при ремонтах устаткування можна було використовувати різні пересувні і стаціонарні вантажопідйомні пристрої. Проїзд по дорозі можливий уздовж ряду вимикачів 220 кВ і біля трансформаторів. Силкові трансформатори знаходяться в центрі підстанції, що забезпечує мінімальну довжину зв'язків 330, 220 і 10 кВ.

В общеподстанционном пункті керування (ОПК) розташовані панелі керування власних нестатків і релейного захисту, пристрій зв'язку, майстерня для приїжджих ремонтних бригад, службова кімната й ін.

На підстанціях з могутніми автотрансформаторами напругою 220 кВ і вище ревізія виробляється за допомогою сполученого порталу, до якого прикріплена ошиновка трансформатора, а посилені траверси порталу розраховані на підйом кожуха або магнітопровода з обмотками.