

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Центр заочної, вечірньої та дистанційної форми нав-
чання
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту

Зав. кафедри електроенергетики

_____ Лебединський І.Л.
“ ___ ” _____ 2020 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**Тема: “Розрахунок параметрів обладнання та режимів роботи електрич-
них мереж і аналіз методів економії електроенергії і зниження втра в
електричних мережах”**

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електротехнічні системи електроспоживання

Виконав студент гр. ЕТдн-51п

Джигурда В.О.

Керівник, старший викладач

Єфімов Г.П.

Кваліфікаційна робота

Захищена на засіданні ДЕК

“ ___ ” _____ 2020 г

Голова ДЕК

Горбуль В.Ю.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Джигурди Володимира Олександровича

Тема роботи: “Розрахунок параметрів обладнання та режимів роботи електричних мереж і аналіз методів економії електроенергії і зниження втра в електричних мережах”

затверджено наказом по університету № _____ від _____

2 Термін здачі студентом завершеної роботи

3 Вихідні дані до роботи задана схема електричної мережі, споживачі мережі, їх потужність і категорія

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

– розрахунок електричної мережі;

– розрахунок електричної частини підстанції;

– розрахунок релейного захисту;

– аналіз методів економії електроенергії і зниження втра в електричних мережах.

5 Список графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

– схема мережі;

– електрична схема підстанції.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1 | Розрахунок електричної мережі | 27.04.-10.05.2020 | |
| 2 | Розрахунок електричної частини підстанції | 11.05.-18.05.2020 | |
| 3 | Розрахунок релейного захисту | 19.05.-25.05.2020 | |
| 4 | аналіз методів економії електроенергії і зниження втра в електричних мережах | 26.05.-01.06.2020 | |
| 5 | Оформлення роботи | 02.06.-7.06.2020 | |

Студент гр ЕТдн-51п _____

Джигурда В.О.

Керівник роботи _____

Єфімов Г.П.

РЕФЕРАТ

с. 64, Рис. 13, табл. 20, кресл. 2.

Бібліографічний опис: “Розрахунок параметрів обладнання та режимів роботи електричних мереж і аналіз методів економії електроенергії і зниження втра в електричних мережах” [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”; Освітня програма Електротехнічні системи електроспоживання / Джигурда В.О.; керівник Г.П. Єфімов. - Суми: СумДУ, 2020. - 64 с.

Ключові слова: електрична мережа, споживач, категорія, потужність, трансформатор, ЛЕП, опір, струм, втрати. провід, опір, напруга, схема заміщення, поточкорозподіл, вимикач, роз'єднувач, трансформатор струму, трансформатор напруги, трифазне коротке замикання, диференційний струмовий захист трансформатора, втрати потужності в мережі.

электрическая сеть, потребитель, категория, мощность, трансформатор, ЛЭП, провод, сопротивление, напряжение, схема замещения, потокораспределение, выключатель, разъединитель, трансформатор тока, трансформатор напряжения, трехфазное короткое замыкание, дифференциальная токовая защита трансформатора, потери мощности в сети.

electric network, consumer, category, power, transformer, power line, wire, resistance, voltage, equivalent circuit, flow distribution, switch, disconnecter, current transformer, voltage transformer, three-phase short circuit, transformer differential current protection, power loss in the network.

Короткий огляд – Розрахунок режимів роботи електричної мережі. Розрахунок струмів короткого замикання. Розрахунок електричної частини підстанції. Розрахунок релейного захисту силового трансформатора. Аналіз втрат в районних електричних мережах і заходи щодо їх зменшення

Перелік умовних позначень

ПС – понижувальна підстанція

ПЛ – повітряна лінія

ВН – вища напруга

СН – середня напруга

НН – низька напруга

РЕМ – розподільні мережі

ТВЕ – технічні втрати електроенергії

ТС – трансформатор струму

ТН – трансформатор напруги

КЗ – коротке замикання

РПН – регулювання під навантаженням

РП – розподільний пристрій

СКЗ – струм короткого замикання

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок

ПВБ – повітряні вимикачі з металевими гасильними камерами

ПВП – повітряний вимикач посилений за швидкістю відновлювальної напруги

КРПЕ – комплектні розподільчі пристрої з елегазової ізоляцією

ЗРП – закритий РП

| | | |
|-----|--|----|
| | Зміст | 5 |
| | Вступ | 6 |
| 1 | Розрахунок параметрів ліній і трансформаторів підстанцій | 8 |
| 1.1 | Вибір напруги ліній | 8 |
| 1.2 | Розрахунок електричної мережі | 10 |
| 2 | Розрахунок електричної частини підстанції 110/10 кВ | 21 |
| 2.1 | Вибір потужності силових трансформаторів | 21 |
| 2.2 | Вибір схеми електричних з'єднань підстанції | 23 |
| 2.3 | Вибір трансформаторів власних потреб | 25 |
| 2.4 | Розрахунок струмів короткого замикання | 28 |
| 2.5 | Вибір високовольтних електричних апаратів РП і струмоведучих частин | 30 |
| 2.6 | Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги | 34 |
| 2.7 | Вибір ошиновки розподільчих пристроїв (РП) | 38 |
| 2.8 | Компонування роздільних пристроїв 110 кВ і конструктивна частина | 39 |
| 2.9 | Компонування роздільних пристроїв 6-10 кВ і конструкційна частина | 40 |
| 3 | Розрахунок релейного захисту ліній та трансформатора | 41 |
| 3.1 | Розрахунок уставок максимального струмового захисту ВЛ 10 кВ | 44 |
| 3.2 | Розраховується струм спрацьовування максимального захисту лінії | 46 |
| 3.3 | Розраховується струм спрацьовування максимального захисту трансформатора | 47 |
| 4 | Аналіз методів економії електроенергії і зниження втра в електричних мережах | 52 |
| | Висновки | 60 |
| | Література | 61 |
| | Додаток А | 63 |
| | Додаток Б | 64 |

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|---|-------------------------|-------------|---------------|
| | | | | | <i>БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ</i> | | | |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| <i>Разраб.</i> | | <i>Джигурда В.О.</i> | | | Розрахунок параметрів обладнання та режимів роботи електричних мереж і аналіз методів економії електроенергії і зниження втра в електричних мережах | <i>Лит.</i> | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Провер.</i> | | <i>Ефімов Г.П.</i> | | | | | 5 | 64 |
| <i>Реценз.</i> | | | | | | <i>СумДУзр.ЕТдн-51п</i> | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | | | | | | | |
| <i>Утверд.</i> | | <i>Лебединский И</i> | | | | | | |

Вступ

В умовах безперервного розвитку промисловості країни з'являється все більше більше нових підприємств, які вносять вклад у збільшення енергоспоживання.

Слід також зауважити, що зі збільшенням числа енергоспоживаючих об'єктів розширюється щільність географічного розташування споживачів електричної енергії. У зв'язку з цим виникає потреба в розширенні існуючих мереж і в створенні нових. Зростаюча кількість енергоспоживаючих об'єктів веде до зростання переданих по електричних мережах потужностей. Одним з найголовніших завдань сьогодні є економічне використання існуючого електричного обладнання та розробка нового з поліпшеними параметрами.

Дана робота є кваліфікаційною роботою бакалавра спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Електротехнічні системи електроспоживання».

Виконання бакалаврської роботи необхідне з метою:

- набуття досвіду аналізу отриманих результатів, формування висновків і публічного захисту виконаної роботи;
- формування навичок використання отриманих знань під час вирішення конкретних практичних і науково-технічних завдань;
- набуття досвіду виконання технічної документації - пояснювальної записки креслень відповідно до умов діючих стандартів;
- систематизації, закріпленні та поглибленні теоретичних і практичних знань із загальнотехнічних і спеціальних дисциплін за напрямом професійної підготовки.

В процесі виконання даної роботи вирішуються такі завдання:

- розрахунок електричної мережі, що містить джерело живлення, лінії електропередачі, трансформатор і навантаження (споживачі електричної енергії);
- розрахунок електричної частини підстанції;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- розрахунок електромагнітних перехідних процесів в мережі
(розраховується симетричне коротке замикання на шинах вищої
напруги підстанції);
- розрахунок релейного захисту трансформатора;
- провести аналіз методів розрахунку складових втрат електроенергії в
електричних мережах

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 6 |

1. Розрахунок параметрів ліній і трансформаторів підстанцій

Вихідні дані для виконання проекту

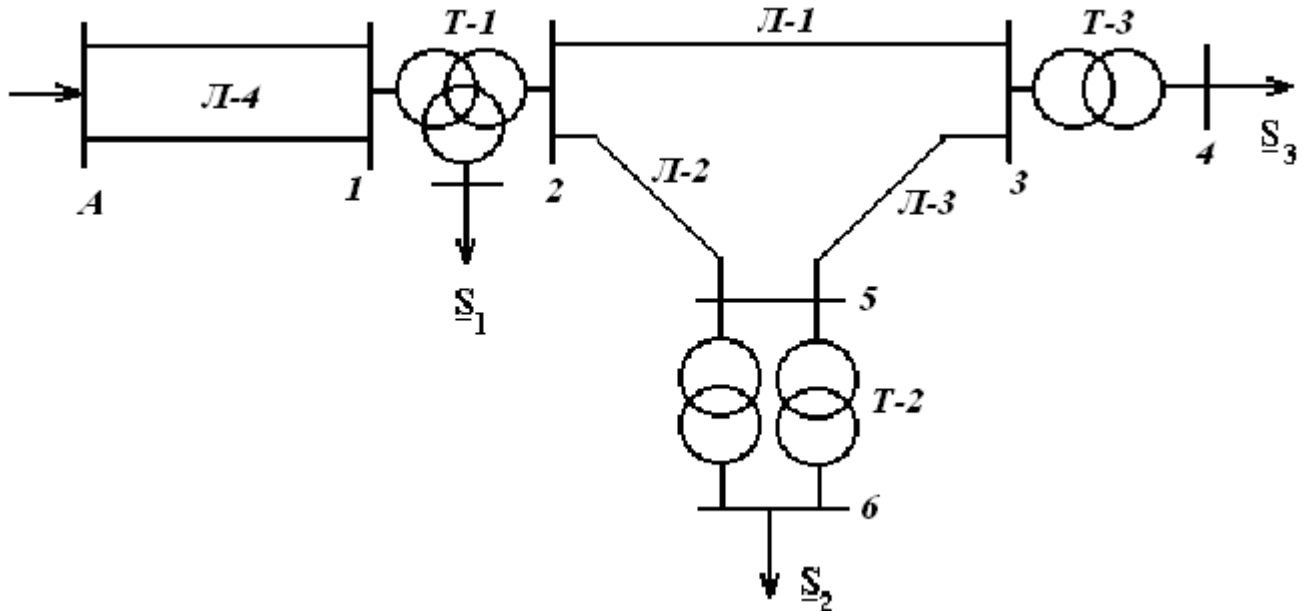


Рисунок 1.1 – Вихідна однолінійна електрична схема з'єднань

заданої електричної мережі

Потужності вузлів навантаження: $\underline{S}_1 = 80 + j40$ МВА, $\underline{S}_2 = 80 + j30$ МВА, $\underline{S}_3 = 30 + j20$ МВА,

Довжина ліній: Л-1 -60 км, Л-2 -30 км, Л-3 -20 км, Л-4 -150 км,

1.1 Вибір напруги ліній

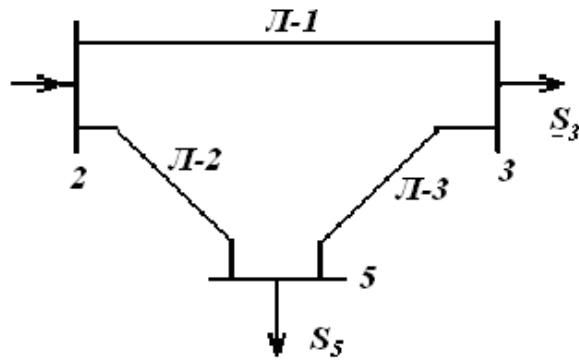
Позначимо вузли в вихідній схемі (малюнок 2)

Малюнок 1. Однолінійна електрична схема з'єднань електричної мережі

Прийmemo навантаження вузла 5 рівній навантаженню вузла 6, а навантаження вузла 3 рівній навантаженню вузла 4. Зобразимо замкнуту мережу, що складається з ліній Л-1, Л-2, Л-3 (малюнок 3).

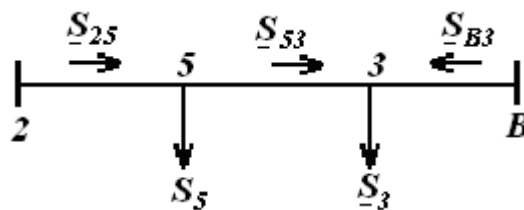
| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ



Малюнок 1.2. Замкнута мережу

Розімкніть замкнута мережа, наведену на малюнку 3, по вузлу 2 (малюнок 4), позначимо потужності на ділянки мережі.



Малюнок 1.3 Розімкнута мережу

Визначаємо потужності на ділянках розімкнутої мережі

$$\underline{S}_{25} = \frac{\underline{S}_5 l_{5B} + \underline{S}_3 l_{3B}}{l_{2B}} = 74,54 + j32,72 \text{ МВА},$$

$$\underline{S}_{53} = \underline{S}_{25} - \underline{S}_5 = -5,45 - j2,72 \text{ МВА},$$

$$\underline{S}_{3B} = \underline{S}_3 - \underline{S}_{53} = 35,45 + j17,27 \text{ МВА}.$$

Визначимо напруги на ділянках замкнутої мережі (малюнок 3) і на ділянці Л-4 (малюнок 2) по переданої потужності $\underline{S}_A = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 = 190 + j90 \text{ МВА}$.

$$U_L = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_L}}}$$

Таблиця 1 Напруження на ділянках мережі

| номер ділянки | Л-1 | Л-2 | Л-3 | Л-4 |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| Довжина ділянки, км | 50 | 30 | 20 | 150 |
| Напруга ділянки, кВ | 227 | 35 | 470 | 510 |

Приймаємо напруга в замкнутій мережі 110 кВ, а на ділянці Л-4 220 кВ

Вибираємо марки проводів

Таблиця 2 Марка і параметри проводів

| лінія | Л-1 | Л-2 | Л-3 | Л-4 |
|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Марка і переріз проводу | АС-240/32 | АС-240/32 | АС-185/29 | АС-240/32 |
| параметри проводів | | | | |
| R_0 , Ом / 100км | 0,12 | 0,12 | 0,162 | 0,12 |
| X_0 , Ом / 100км | 0,405 | 0,405 | 0,413 | 0,405 |
| B_0 , Ом / 100км | $2,81 \cdot 10^{-6}$ | $2,81 \cdot 10^{-6}$ | $2,75 \cdot 10^{-6}$ | $2,81 \cdot 10^{-6}$ |

1.2 Розрахунок потужностей трансформаторів підстанцій

Підстанція з трансформатором Т-1.

Потужність трансформатора Т-1 визначається сумою потужностей навантажень \underline{S}_1 , \underline{S}_2 , \underline{S}_3 .

$$\underline{S}_{T-1} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 = 190 + j90 \text{ MVA} .$$

Підстанція з трансформатором Т-2

На підстанції встановлено два трансформатори, які працюють паралельно. Потужність одного трансформатора знаходиться за такою формулою

$$S_T = \frac{S_2}{1,4} = 54 \text{ MVA} .$$

Потужність підстанції з трансформатором Т-3 визначається потужністю навантаження \underline{S}_3 .

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.2 Розрахунок електричної мережі

Вибираємо типи і параметри трансформаторів

Таблиця 2.4. -Паспортні дані трансформаторів.

| Трансформатор про ра | номінальні параметри | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| | Сном МВА | U _{ВН} , кВ | U _{СН} , кВ | U _{НН} , кВ | ΔP _х , кВт | ΔP _{квс} , кВт | ΔP _{квн} , кВт | ΔP _{кcn} , кВт | U _{квс} % | U _{квн} % | U _{кcn} % |
| АТДЦН-50000/220/110 | 250 | 230 | 121 | 10,5 | 145 | 520 | 430 | 390 | 11 | 32 | 20 |
| ТДН-63000/110 | 63 | 115 | - | 38,5 | 50 | - | 245 | - | - | 10,5 | - |
| ТД-4000/110 | 40 | 121 | - | 10,5 | 50 | - | 160 | - | - | 10,5 | - |

Визначення параметрів схеми заміщення ліній і трансформаторів

Для трансформатора Т-1 (табл. 2.4) знаходимо опору обмоток. Для цього розрахуємо втрати потужності і напруги короткого замикання для кожної обмотки. Потужності короткого замикання для кожної обмотки:

$$? P_{кв} = 0,5 (? P_{кв-с} + ? P_{кв-н} - \Delta P_{кc-н}) = 0,5 (520 + 430 - 390) = 280 \text{ кВт};$$

$$? P_{кc} = 0,5 (? P_{кв-с} - \Delta P_{кв-н} + ? P_{кc-н}) = 0,5 (520 - 430 + 390) = 240 \text{ кВт};$$

$$? P_{кн} = 0,5 (-\Delta P_{кв-с} + ? P_{кв-н} + ? P_{кc-н}) = 0,5 (-520 + 430 + 390) = 150 \text{ кВт};$$

Знаходимо напруги короткого замикання для кожної обмотки:

$$U_{кв} = 0,5 (U_{кв-с} + U_{кв-н} - U_{кc-н}) = 0,5 (11 + 32 - 20) = 11,5\%;$$

$$U_{кc} = 0,5 (U_{кв-с} - U_{кв-н} + U_{кc-н}) = 0,5 (11 - 32 + 20) = 0\%;$$

$$U_{кн} = 0,5 (-U_{кв-с} + U_{кв-н} + U_{кc-н}) = 0,5 (-11 + 32 + 20) = 20,5\%;$$

Розрахуємо активні опори обмоток вищої, середньої та нижчої напруги є ня:

$$R_{тв} = \frac{\Delta P_{кв} \cdot U_{ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{280 \cdot 230^2}{250000^2} \cdot 10^3 = 0,237 \text{ Ом};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Активні $R_T = 1,46 \text{ Ом}$ і реактивні $X_T = 38,4 \text{ Ом}$ опори обмоток, а також розрахуємо втрати холостого ходу : $S_{xx3} = \Delta P_{xx} + j \frac{\Delta I_{xx}}{100} \cdot S_{ном} = 0,05 + \frac{0,7}{100} \cdot 40 = 0,05 + j0,28$.

$$\text{Коефіцієнт трансформації } k_3 = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} = \frac{121}{10,5} = 11,52$$

Розрахунок опорів і зарядної потужності ліній проводів проводимо по формулі, узятим з [5]:

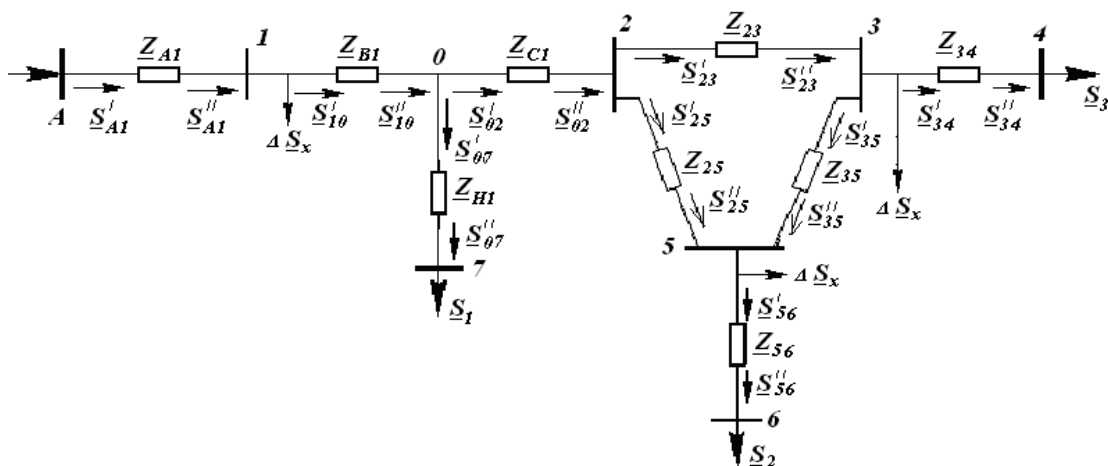
$$R_L = R_0 \cdot L - \text{активний опір лінії};$$

$$X_L = X_0 \cdot L - \text{реактивний опір лінії};$$

$$B_L = B_0 \cdot L - \text{провідність лінії};$$

$$\Delta Q_L = U_{ном}^2 \cdot \frac{B_L}{2} - \text{зарядна потужність лінії};$$

$$Z_L = R_L + jX_L - \text{повний опір лінії}.$$



Малюнок 1.4.- Схема заміщення для розрахунку мережі в нормальному режимі.

Тоді опори ділянок мережі і зарядні потужності ліній (мал. 2.2.), розраховані за вище приведеними формулами, зведемо в таблиці 2.5.

Таблиця 1.5. Розрахункові дані параметрів проводів ліній

| | | | |
|------|---------------|-----------------|------|
| Z12, | 9,08 + j32,63 | $\Delta Q_{ли}$ | 1,02 |
|------|---------------|-----------------|------|

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$S_{78} = S_2 + \Delta S_{78} = 80 + j30 + 0,56 + j1,64 + 0,05 + j0,315 = 80,61 + j31,96 \text{ МВА.}$$

Навантаження до сторони ВН на підстанції з Т-1

Потужність на обмотці вищої напруги:

$$S'_{2B} = S_{H6} + S_{C3} = 100,04 - j81,18 + 112,02 + j56,83 = 212,06 - j24,35 \text{ МВА;}$$

втрати потужності в обмотці вищої напруги:

$$\Delta S_{2B} = \frac{P_{2B'}^2 + Q_{2B'}^2}{U_{ном}^2} (R_{2B} + jX_{2B}) = \frac{212,06^2 + 24,35^2}{220^2} \cdot (0,237 + j24,334) = 0,22 + j22,91$$

МВА;

потужність, яка подається на обмотку вищого напруги:

$$S_{2B} = S'_{2B} + \Delta S_{2B} = 212,06 - j24,35 + 0,22 + j22,91 = 212,28 - j1,44 \text{ МВА.}$$

Розрахунок режиму розімкнутої мережі

Знаходимо потужності у всіх ділянках мережі (мал.2.4)

Втрата потужності на ділянці 4-5:

$$\Delta S_{45} = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_{ном}^2} (R_{45} + jX_{45}) = \frac{30^2 + 20^2}{220^2} \cdot (1,46 + j38,4) = 0,039 + j1,03 \text{ МВА;}$$

потужність на обмотці трансформатора Т-3:

$$S_{45} = S_3 + \Delta S_{45} = 30 + j20 + 0,039 + j1,03 + 0,16 + j0,26 = 30,2 + j21,29 \text{ МВА.}$$

Потужність на початку ділянки 4-7:

$$S'_{47} = S_{45} - j\Delta Q_{Л3} = 30,2 + j21,29 - j0,33 = 30,2 + j20,96$$

Втрати потужності на ділянці 4-7:

$$\Delta S_{47} = \frac{P_{47'}^2 + Q_{47'}^2}{U_{ном}^2} (R_{47} + jX_{47}) = \frac{30,2^2 + 20,96^2}{220^2} \cdot (3,24 + j8,26) = 0,09 + j0,23 \text{ МВА;}$$

потужність на початку ділянки 4-7:

$$S_{47} = S_3 + \Delta S_{45} = 30,2 + j21,29 + 0,09 + j0,23 = 30,29 + j21,52 \text{ МВА.}$$

Втрати потужності на ділянці 7-8:

$$\Delta S_{78} = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{ном}^2} (R_{78} + jX_{78}) = \frac{80^2 + 30^2}{220^2} \cdot (3,73 + j10,85) = 0,56 + j1,64 \text{ МВА;}$$

потужність на обмотці трансформатора Т-2:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Втрати потужності в ділянці 1-2:

$$\Delta S_{12} = \frac{P_{12}^2 + Q_{12}^2}{U_{ном}^2} (R_{12} + jX_{12}) = \frac{212,28^2 + 10,88^2}{220^2} \cdot (9,08 + j32,63) = 8,48 + j30,46 \text{ МВА};$$

потужність на початку ділянки 1-2:

$$S_{12} = S'_{12} + \Delta S_{12} = 212,28 - j10,88 + 8,48 + j30,46 = 220,76 + j19,58 \text{ МВА}.$$

Розрахунок режиму замкнутої мережі

Напруження у всіх вузлових точках мережі приймаються рівними номінальному. При цьому умови знаходиться розподіл потужностей з урахуванням втрат в мережі.

Втрати потужності і саму потужність в ділянці знаходимо за формулами, взятим з [5]:

$$\Delta S_n = \frac{P_n^2 + Q_n^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_n + jX_n);$$

$$S_n = (P_n + \Delta P_n) + j(Q_n + \Delta Q_n - \Sigma \Delta Q_n).$$

Знаходимо потужності у всіх ділянках мережі (мал. 2.2.) Потужності в лінії в кінці ділянки будемо позначати зі штрихом, а на початку ділянки - без штриха. Гілка намагнічені а ня трансформаторів враховується в схемі заміщення повністю

$$\Delta S_{xx} = \Delta P_{xx} + j\Delta Q_{xx} = \Delta P_{xx} + j \frac{I_{xx}^2 \%}{100} \cdot S_{ном}$$

Розрахунок розімкнутої частини мережі

Втрата на обмотках трансформатора Т-3:

$$\Delta S_{45} = \frac{P_3^2 + Q_3^2}{U_{ном}^2} (R_{45} + jX_{45}) = \frac{30^2 + 20^2}{220^2} \cdot (1,46 + j38,4) = 0,04 + j1,03 \text{ МВА};$$

потужність на обмотках трансформатора Т-3:

$$S_{45} = S_3 + \Delta S_{45} + \Delta S_{xx3} = 30 + j20 + 0,04 + j1,03 + 0,16 + j0,26 = 30,2 + j21,29 \text{ МВА}.$$

Втрата потужності на обмотках трансформатора Т-2:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\Delta S_{78} = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{ном}^2} (R_{78} + jX_{78}) = \frac{80^2 + 30^2}{220^2} \cdot (3,73 + j10,85) = 0,75 + j1,56 \text{ МВА};$$

потужність на обмотках трансформатора Т-2:

$$S_{78} = 80 + j30 + 0,75 + j1,56 + 0,05 + j0,315 = 80,8 + j31,87 \text{ МВА.}$$

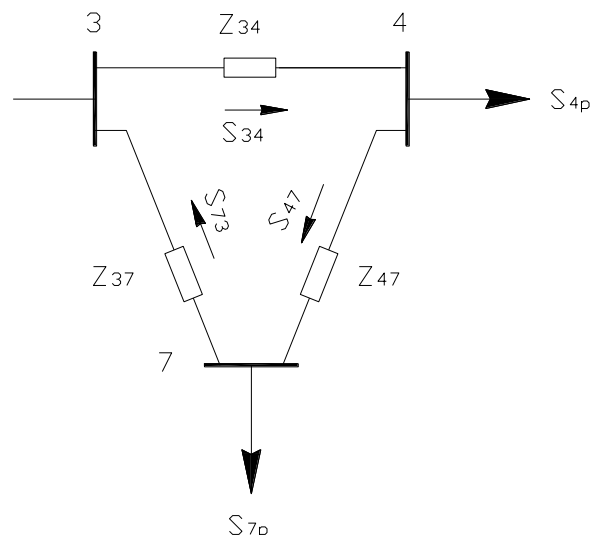
Втрата потужності на обмотці нижчого напруги трансформатора Т-1:

$$\Delta S_{H6} = \frac{80^2 + 40^2}{220^2} \cdot (0,127 + j43,378) = 0,02 + j7,17 \text{ МВА};$$

потужність на обмотці нижчого напруги трансформатора Т-1:

$$S_{H6} = 80 + j40 + 0,02 + j7,17 = 80,02 + j47,17 \text{ МВА.}$$

Розрахунок замкнутої частини мережі



Малюнок 1.6.-Схема заміщення розрахунку потужностей замкнутого контуру.

Вихідними приймемо потужності, які були розраховані раніше:

$$S_{4p} = 30,2 + j21,29 \text{ МВА};$$

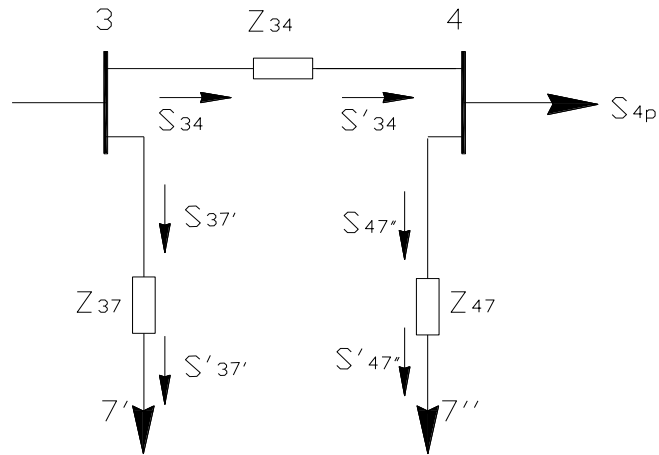
$$S_{7p} = 80,8 + j31,87 \text{ МВА.}$$

Визначимо опори ліній 3-4, 4-7, 3-7, наведені до вищої напруг мережі 220 кВ:

$$Z'_{34} = Z_{34} \cdot \frac{U_{BH}}{U_{CH}} = (7,2 + j24,3) \cdot \frac{220^2}{110^2} = 28,8 + j97,2 \text{ Ом};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ності в контурі 3-4-7 з урахуванням втрат, для чого знаходимо точку поточкорозділу потужності (малюнок 2.4.).



Малюнок 1.7. Точка поточкорозділу потужностей.

Потужність в кінці ділянки 3-7:

$$S'_{37'} = S_{73} - j\Delta Q_{12} = 75,32 + j30,84 - j0,51 = 75,32 + j30,33$$

Втрати потужності в ділянці 3-7:

$$\Delta S_{37'} = \frac{P_{73}^2 + Q_{73}^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_{37} + jX_{37}) = \frac{75,32^2 + 30,33^2}{220^2} \cdot (3,6 + j12,15) = 0,49 + j1,66 \text{ МВА};$$

потужність на ділянці 3-7:

$$S_{37'} = S_{73} + \Delta S_{37'} = 75,32 + j30,33 + 0,49 + j1,66 = 75,81 + j31,99 \text{ МВА.}$$

Потужність в кінці ділянки 4-7:

$$S'_{47''} = S_{47} - j\Delta Q_{13} = 5,84 + j1,03 - j0,33 = 5,84 + j0,7$$

Втрати потужності в ділянці 4-7:

$$\Delta S_{47''} = \frac{P_{47}^2 + Q_{47}^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_{47} + jX_{47}) = \frac{5,84^2 + 0,7^2}{220^2} \cdot (3,24 + j8,26) = j0,01 \text{ МВА};$$

потужність на ділянці 4-7:

$$S_{47''} = S_{47} + \Delta S_{47''} = 5,84 + j0,7 + j0,01 = 5,84 + j0,71 \text{ МВА.}$$

Потужність в кінці ділянки 3-4:

$$S'_{34} = S_{4p} + S_{47''} - j\Delta Q_{11} = 30,2 + j21,29 + 5,84 + j0,71 - j1,02 = 36,04 + j20,98 \text{ МВА};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

втрати потужності в ділянці 3-4:

$$\Delta S_{34} = \frac{(P'_{34})^2 + (Q'_{34})^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_{34} + jX_{34}) = \frac{36,04^2 + 20,98^2}{220^2} \cdot (7,2 + j24,3) = 0,26 + j0,87 \text{ МВА};$$

потужність на ділянці 3-4:

$$S_{34} = S'_{34} + \Delta S_{34} = 36,04 + j20,98 + 0,26 + j0,87 = 36,3 + j21,85 \text{ МВА}$$

Потужність на виході з обмотки нижчої напруги трансформатора Т-1 (мал. 2.2.):

$$S'_{C3} = S_{34} + S_{37} = 36,3 + j21,85 + 75,81 + j31,99 = 112,11 + j53,84 \text{ МВА};$$

втрати потужності в обмотці середньої напруги:

$$\Delta S_{C3} = \frac{(P'_{C3})^2 + (Q'_{C3})^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_{C3} + jX_{C3}) = \frac{112,11^2 + 53,84^2}{220^2} \cdot 0,203 = 0,06 \text{ МВА};$$

потужність на обмотці середньої напруги:

$$S_{C3} = S'_{C3} + \Delta S_{C3} = 112,11 + j53,84 + 0,06 = 112,11 + j53,9 \text{ МВА};$$

Потужність на виході з обмотки вищої напруги трансформатора Т-1:

$$S'_{2B} = S_{C3} + S_{H6} = 112,11 + j53,9 + 80,02 + j47,17 = 192,13 + j101,07 \text{ МВА};$$

втрати потужності на обмотці вищої напруги:

$$\Delta S_{2B} = \frac{(P'_{2B})^2 + (Q'_{2B})^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_{2B} + jX_{2B}) = \frac{192,13^2 + 101,07^2}{220^2} \cdot (0,237 + j24,334) = 0,23 + j23,7$$

МВА;

потужність на обмотці вищої напруги:

$$S_{2B} = S'_{2B} + \Delta S_{2B} + \Delta S_{xx1} = 192,13 + j101,07 + 0,23 + j23,7 + 0,145 + j1,25 = 192,51 + j126,02 \text{ МВА}.$$

Потужність в кінці ділянки 1-2:

$$= S_{2B} - j\Delta Q_{л4} = 192,51 + j126,02 - j9,44 = 192,51 + j116,58 \text{ МВА}.$$

Втрати потужності на ділянці 1-2:

$$\Delta S_{12} = \frac{P_{12}^2 + Q_{12}^2}{U_{ном}^2} \cdot (R_{12} + jX_{12}) = \frac{192,51^2 + 116,58^2}{220^2} \cdot (9,08 + j32,63) = 9,5 + j34,15 \text{ МВА};$$

потужність на початку ділянки 1-2:

$$S_{12} = S_{12}' + \Delta S_{12} = 192,51 + j116,58 + 9,5 + j34,15 = 202,01 + j150,73 \text{ МВА}.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2. Розрахунок електричної частини підстанції 110/10 кВ.

1. Потужність та тип трансформатора $S_H = 36$ МВА.
2. Потужність короткого замикання $S_{к.с} = 2800$ МВА.
3. Живильна лінія 110 кВ опір ліній $X_L = 56$ Ом.
4. Опір трансформатора $X_T = 142$ Ом.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані для проектування навантаження споживачів у плинні доби

| Но | Навантаження в % від потужності | | | | | | | | | | | |
|----|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 1 | 12 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 6 | 45 | 40 | 60 | 90 | 80 | 75 | 75 | 90 | 10 | 12 | 15 | 10 |

2.1. Вибір потужності силових трансформаторів

Для підстанцій були вибрані трансформатори потужності $S=36$ МВА типу ТМН. Більш точніше вибрані трансформатори, враховуючи графік навантаження рис.1.1.

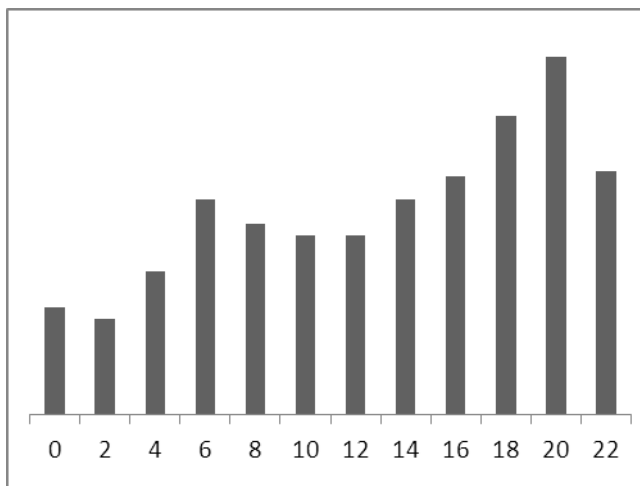


Рис.2.1. Графік навантаження підстанції.

Таблиця №1 - Навантаження споживачів на протязі доби

| | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|----|----|------|-----|-----|
| Години | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| $S_{ном}, \%$ | 45 | 40 | 60 | 90 | 80 | 75 | 75 | 90 | 100 | 125 |
| $S, \text{МВА}$ | 16,2 | 14,4 | 21,6 | 32,4 | 28,8 | 27 | 27 | 32,4 | 36 | 45 |

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

Для перевірки правильності вибору трансформатора реальний графік навантаження перетворюємо в двоступінчатий. Початкове навантаження еквівалентного графіку визначається по формулі:

$$K_1 = \frac{1}{S_{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (1.1),$$

де S_1, S_2, \dots, S_n - власне навантаження першої, другої, n -го ступені графіку навантаження, розташованій нижче лінії номінальної потужності трансформатора, t_1, t_2, \dots, t_n - тривалість ступені, година

$$K_1 = \frac{1}{10} \cdot \sqrt{\frac{4,5^2 \cdot 2 + 4^2 \cdot 2 + 6^2 \cdot 2 + 9^2 \cdot 2 + 8^2 \cdot 2 + 7,5 \cdot 4 + 9 \cdot 2}{2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 4 + 2}} = 0,84$$

Аналогічно визначається другий ступінь еквівалентного графіку, але при цьому беруться ступені, розташовані вище лінії номінальної потужності трансформатора :

$$K_2 = \frac{1}{S_H} \cdot \sqrt{\frac{S_1^2 t_1 + S_2^2 t_2 + \dots + S_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (1.2),$$

де S_1, S_2, \dots, S_n - навантаження вище лінії номінальної потужності трансформатора.

$$K_2 = \frac{1}{10} \cdot \sqrt{\frac{12,5^2 \cdot 2 + 15^2 \cdot 2 + 10,5^2 \cdot 2}{2 + 2 + 2}} = 1,22$$

Максимальне перевантаження трансформатора складає

$$K_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{S_{НОМ}} \quad (3.3),$$

де S_{MAX} - максимальне навантаження трансформатора по графіку навантаження.

$$K_{MAX} = \frac{15}{10} = 1,5$$

Попереднє значення необхідно порівняти зі значенням , $K'_2 = K_2 \cdot 0,9 K_{MAX}$ і якщо значення K'_2 більше значення K_2 остаточно приймаємо $K_2 = K'_2$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Так как $K'_2 = 1,22 < 0,9 * 1,5 = 1,21 < 1,35$

$K_2 = 1,35$

По Госту 14209-85 з урахуванням еквівалентної температури зимового періоду ($-1^\circ C$) і часу перевантаження $t_{час}$, знаходимо значення перевантаження допустиме $t = часв$ для трансформаторів з системою охолодження Д. Порівнюємо значенням K_2 по Госту і реальне. Якщо значення K_2 по Госту менше, ніж реальне це означає, що трансформатор вибраний неправильно і необхідно вибрати трансформатор більшої потужності. Для надійності приймаємо два трансформатори типу ТРДН. У разі виходу з ладу одного трансформатора, інший забезпечить живлення споживача без обмеження.

Оскільки по Госту 14209-85 $K_2 = 1,5 > 1,35$ - трансформатор вибраний правильно.

2.2. Вибір схеми електричних з'єднань підстанції

Основна схема електричних з'єднань повинна задовольняти такі вимоги:

- забезпечувати надійність електропостачання в нормальних і післяаварійних режимах;
- враховувати перспективи розвитку;
- допускати можливість розширення;
- забезпечувати можливість виконання ремонтних і експлуатаційних робіт на окремих елементах схеми і без відключення приєднань.

При цьому варто застосовувати найпростіші схеми. Для тупикової схеми рекомендується застосовувати схему «два блоки з вимикачем у колах трансформатора і неавтоматичною перемичкою».

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

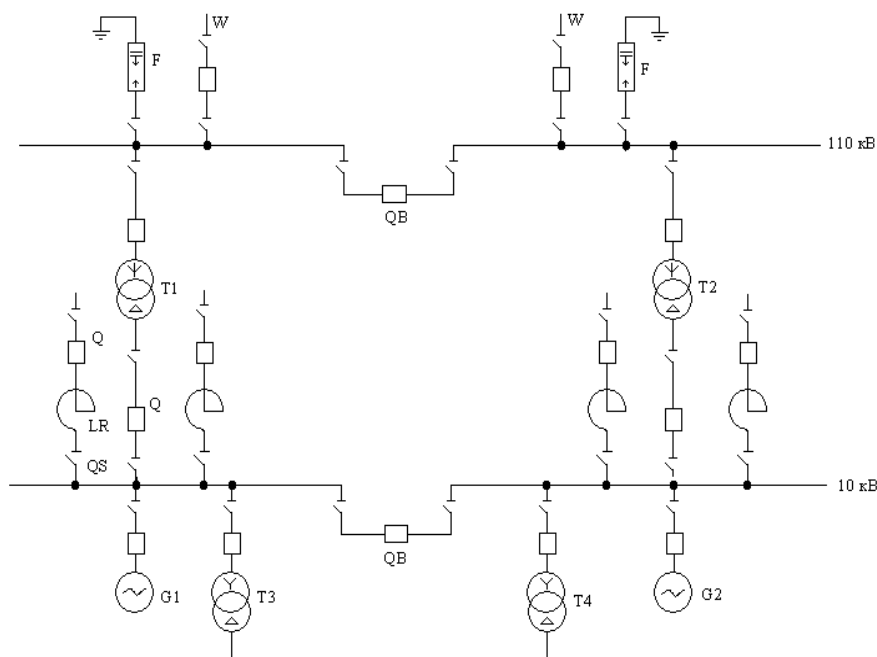


Рисунок 2.2 - Однолінійна схема електростанції середньої потужності з РП 110 і 10 кВ:

Q- вимикач; QS –раз'єднувач; QB- вимикач секційний; W- лінія

2.3.Вибір трансформаторів власних потреб

Приймачами – власниками власних потреб є:

- оперативні кола
- електродвигуни, системи охолодження силових трансформаторів, висвітлення і електроопалення приміщень;
- електропідігрівання комутаційної апаратури і т.д.

Сумарна розрахункова потужність приймача власних потреб визначається з урахуванням коефіцієнтів попиту. Розрахунок потужності приймача власних потреб наведений у табл. 1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 1- Розрахунок потужності приймача власних потреб

| № п / п | Найменування споживача | Кількість одиниць | Потужність одиниць кВт | Ко-еф. по-пи-ту | cos φ | Споживана Потужність кВт |
|---|---|-------------------|------------------------|-----------------|-------|--------------------------|
| 1 | Охолодження трансформаторів | 2 | 3 | 0,82 | 0,86 | 5,72 |
| 2 | Підігрів високоевольтних вимикачів зовнішньої установки | 2 | 1,8 | 1 | 1 | 3,6 |
| 3 | Підігрів проводів роз'єднувачів зовнішньої установки | 6 | 0,6 | 1 | 1 | 3,6 |
| 4 | Опалення, освітлення, вентиляція закритого РП | 1 | 5 | 0,65 | 0,95 | 3,42 |
| 5 | Освітлення ВРП | 1 | 2 | 0,65 | 0,93 | 1,35 |
| Сумарне вивантаження власних потреб кВа | | | | | | 17,69 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

На підстанції передбачається установка 2 трансформаторів власних потреб.

Номінальна потужність вибирається з умов $S_{TCH} \geq S_{CH}$

де S_{TCH} – потужність трансформатора власних потреб, кВа

S_{CH} – потужність споживачів власних потреб, кВа.

Ремонтне навантаження на підстанції можна брати таким, що дорівнює

$S_{ТСР}$ 20-25 кВа

Під час ввімкнення цього навантаження на один трансформатор допускається його перевантаження на 20%. Потужність трансформатора для забезпечення живлення навантаження власних потреб з урахуванням ремонтних навантажень

$$S_{TCH} = \frac{S_{TSP} + S_{CH}}{1,2} = \frac{17,69 + 20}{1,2} = 31,41 \text{ кВа}$$

Беремо стандартну потужність трансформатора $S_{TCH}=40$ кВа. Остаточо для живлення споживача власних потреб беремо два трансформатори стандартної потужності, ТМ -40/10

Схема живлення власних потреб рис. 3.1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

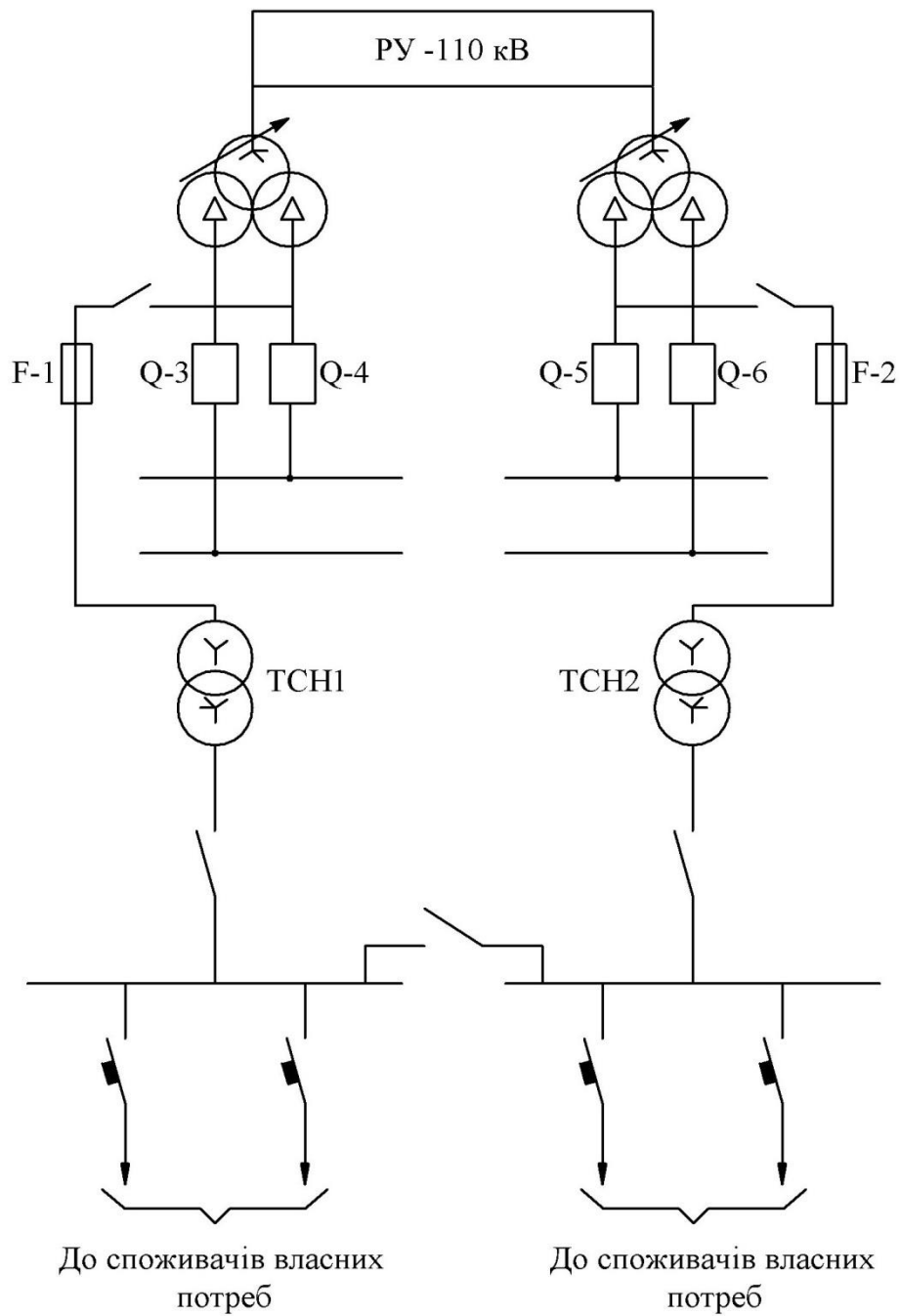


рис. 2.3.Схема живлення власних потреб

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

У точці К₁: $I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{к1} = 1,41 \cdot 1,61 \cdot 8,71 = 19,77 \text{ кА}$

У точці К₂: $I_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,61 \cdot I_{к2} = 1,41 \cdot 1,61 \cdot 4,68 = 10,62 \text{ кА}$

Допустимо, що амплітуда ЕДС і періодична складова ТКЗ незмінні за часом, тому через час, який дорівнює часу відключення

$$I_{nt} = I_{к1} \text{ кА для точк К}_1; I_{к1} = 8,71 \text{ кА}$$

$$I_{nt} = I_{к2} \text{ кА для точк К}_2; I_{к2} = 4,68 \text{ кА}$$

А періодична складова ТКЗ до моменту розбіжності контактів вимикача

$$I_a = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \text{ кА}$$

$$I_{a1} = 1,41 \cdot 8,73 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,025}} = 1,1 \text{ кА}$$

$$I_{a1} = 1,41 \cdot 4,86 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,005}} = 0,86 \text{ кА}$$

Де T_a – постійна часу загасення аперіодичної складової для К₁;

$T_a = 0,025 \text{ с}$, для К₂ - $T_a = 0,05 \text{ с}$.

Інтеграл джоуля

для К₁: $W_R = I_{к1}^2 (T + T_a) = I_{к1}^2 (0,06 + 0,025) \text{ кА}^2 \text{ с}$

для К₂: $W_R = I_{к2}^2 (T + T_a) = I_{к2}^2 (0,1 + 0,05) \text{ кА}^2 \text{ с}$

для К₁: $W_R = 8,73^2 (0,06 + 0,025) = 6,48 \text{ кА}^2 \text{ с}$

для К₂: $W_R = 4,68^2 (0,1 + 0,05) = 3,28 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Таблиця 4.1.- Значення струмів короткого замикання

| Струми короткого замикання | СКЗ у початковий момент часу | Ударний СКЗ i_y , кА | СКЗ у момент витрати контактів вимикача, кА | Аперіод складова СКЗ, i_a кА | Інтеграл Джоуля W_k кА ² с |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------|---|--------------------------------|---|
| Шини 110 кВ (К ₁) | | | 8,71 | 1,1 | 6,48 |
| Шини 10 кВ (К ₂) | 4,68 | 10,62 | 4,68 | 0,86 | 3,28 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.5. Вибір високовольтних електричних апаратів РП і струмоведучих частин

Високовольтні електричні апарати вибираються за умовою тривалого режиму роботи і перевіряються за умовами коротких замикань. При цьому для апаратів виконується :

- 1) вибір за напругою;
- 2) вибір за нагріванням при тривалих струмах;
- 3) перевірка на електродинамічну стійкість;
- 4) перевірка на термічну стійкість
- 5) вибір з виконання (для зовнішньої або внутрішньої установки);

Вибору підлягають:

- вимикачі на боці вищої напруги;
- вступні вимикачі на боці 10 кВ
- секційні вимикачі на боці 10 кВ
- вимикачі лінії, що входять, 10 кВ; роз'єднувачі вищої напруги;
- трансформатори типу і напруги 110 кВ і 10 кВ.

Для вибору апаратів і струмоведучих частин необхідно визначити струми нормального і після аварійного режимів. Визначення струмів виконується для випадку установки на підстанції силового трансформатора. Розрахованого відповідно до графіка навантаження підстанції.

Максимальний струм на зовнішньому боці

$$I_{\max} = \frac{1,4S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times 110} = \frac{1,4 \times 36000}{1,73 \times 110} = 264,86 \text{ А}$$

Струм у колі вступних вимикачів на боці 10 кВ

$$I_{10}^{\text{в}} = \frac{1,4S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times 10} = \frac{1,4 \times 36000}{1,73 \times 10} = 2913,25 \text{ А}$$

Струм у колі секційного вимикача

$$I_{10}^{\text{с.в}} = \frac{0,7S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \times 10} = \frac{0,7 \times 36000}{1,73 \times 10} = 1456,64 \text{ А}$$

Струм у колі лінії, що входить (якщо від підстанції відходить 10 ліній)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| | | |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| $I_{уд} \leq I_{СКВ}$ | 10,62 кА | 86 кА |
| $I_{nt} \leq I_{ОткНом}$ | 4,68 кА | 38 кА |
| $I_{at} \leq I_{a ном}$ | 0,86 кА | 8,2 кА |
| $B_k \leq I_t^2 t_r$ | 3,28 кА ² ·С | 215 кА ² ·С |

Таблиця 2.5- Вибір секційного вимикача на боці 10 кВ

| Умова вибору | Розрахункові значення | Каталожні значення |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| $U_C \leq U_H$ | 10 кВ | 10 кВ |
| $I_{расч} \leq I_{НОМ}$ | 404,62 А | 1600 А |
| $I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$ | 4,68 кА | 38 кА |
| $i_y \leq I_{прСКВ}$ | 10,62 кА | 86 кА |
| $I_{nt} \leq I_{ОткНом}$ | 4,68 кА | 38 кА |
| $I_{at} \leq I_{a ном}$ | 0,86 кА | 8,2 кА |
| $B_k \leq I_t^2 t_r$ | 3,28 кА ² ·С | 215 кА ² ·С |

Таблиця 2.6- Вибір вимикачів на лінію, що відходить, 10 кВ

| Умова вибору | Розрахункові значення | Каталожні значення |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| $U_C \leq U_H$ | 10 кВ | 10 кВ |
| $I_{расч} \leq I_{НОМ}$ | 404,62 А | 1600 А |
| $I_{ПО} \leq I_{прСКВ}$ | 4,68 кА | 38 кА |
| $i_y \leq I_{прСКВ}$ | 10,62 кА | 86 кА |
| $I_{nt} \leq I_{ОткНом}$ | 4,68 кА | 38 кА |
| $I_{at} \leq I_{a ном}$ | 0,86 кА | 8 кА |
| $B_k \leq I_t^2 t_r$ | 3,28 кА ² ·С | 215 кА ² ·С |

Вибираємо вакуумний вимикач ВВ/TEL-10 35/630-У2

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

У таблиці 2.7 наведений вибір роз'єднувачів на боці , 110 кВ, роз'єднувачі необхідні з одним і двома комплектами ножів, що заземлюють

| Умова вибору | Розрахункові значення | Каталожні значення |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| $U_C \leq U_H$ | 110 кВ | 110 кВ |
| $I_{расч} \leq I_{ном}$ | 73,56 А | 1000 А |
| $i_{уд} \leq I_{прСКВ}$ | 19,82 кА | 80 кА |
| $B_k \leq I_t^2 t_r$ | 6,48 кА ² ·С | 992 кА ² ·С |

Рекомендується брати до установки на боці 110 кВ роз'єднувачі типу РНДЗ1-110 УХЛІ і РНД 32-110/1000 УХЛІ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.6. Вибір електровимірювальних трансформаторів струму і напруги

Для ввімкнення електровимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту необхідна установка трансформаторів струму і напруги. У даному проекті релейний захист детально не розробляється, тому перевірку трансформаторів за вторинним навантаженням виконуємо з урахуванням ввімкнення тільки вимірювальних приладів.

У ланцюзі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюється амперметр, вольтметр, варметр, лічильники активної і реактивної енергії, на шинах 110 кВ – вольтметр із перемикачем для виміру трьох між фазових напруг, на секційному вимикачі 10 кВ – амперметр, на лініях, що відходять, 10 кВ – амперметр, лічильники активної і реактивної енергій. Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму наведений у таблиці 8.

Таблиця 2.8- Вторинне навантаження трансформаторів струму

| Прилад | Тип | Клас | Навантаження по фазах | | |
|---|-------|------|-----------------------|-----|-----|
| | | | А | В | С |
| Амперметр | Э-335 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Ваттметр | Д350 | 1,5 | 0,5 | - | 0,5 |
| Варметр | Д345 | 1,5 | 0,5 | - | 0,5 |
| Лічильник активної енергії | СА3 | 1 | 2,5 | - | 2,5 |
| Лічильник реактивної енергії | СР-4 | 1,5 | 2,5 | - | 2,5 |
| Сумарне навантаження струму в колі силового тра з боку НН | | | 6,5 | 0,5 | 6,5 |
| Сумарне навантаження струму в колі секції . Вимикач на НН | | | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Сумарне навантаження | | | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$Z_{\text{пр}} = \rho \frac{l}{F}$$

Де: ρ – питомий опір алюмінію, 0,0283, ОМ×ММ;

F – перетин жил, мм²;

$$F = \frac{0,028 \times 160}{4} = 1,13 \text{ Ом.}$$

Загальний опір струмового кола

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{прил}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пр}} = 0,02 + 0,1 + 1,13 = 1,25, \text{ Ом,}$$

Що менше ніж 4 Ом, припустимих при роботі трансформатора в класі точності 1.

Трансформатор струму ТФЗН-110-1У1 відповідає умовам вибору.

Таблиця 2.10- Вибір трансформатора струму у колі силового трансформатора на боці нижчої напруги

| Умова вибору | Розрахункові значення | Каталожні значення |
|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| $U_C \leq U_H$ | 10 кВ | 10 кВ |
| $I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$ | 809,25 А | 2000 А |
| $i_y \leq i_{\text{дин}}$ | 10,62 кА | - |
| $B_k \leq I_t^2 t_r$ | 3,28 кА ² · С | 74,42 кА ² · С |
| $Z_H \leq Z_{H \text{ ном}}$ | 1,25 кА | 4 кА |

Перевірка за вторинним навантаженням виконується аналогічно. Рекомендується вибрати трансформатор ТШЛК-10У3

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 2.11- Вибір трансформатора струму на лінії що відходить

| Умова вибору | Розрахункові значення | Каталожні значення |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| $U_C \leq U_H$ | 10 кВ | 10 кВ |
| $I_{расч} \leq I_{ном}$ | 80,92 А | 5200 А |
| $i_y \leq i_{дин}$ | 10,62 кА | 250 кА |
| $B_k \leq I_t^2 t_t$ | 3,28 кА ² · С | 74,42 кА ² · С |
| $Z_H \leq Z_{H ном}$ | 1,25 кА | 4 кА |

Беремо до установки трансформатор струму ТП1-10-У3

Як трансформатори напруги вибираємо на боці 110 кВ трансформатори НКФ-110-58, на боці 10 кВ ЗНОЛ06-10-У3

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.7. Вибір ошиновки розподільчих пристроїв (РП)

Ошиновку в РП 110 кВ виконують, як правило, сталелегалюмінієвими проводами марки АС, при цьому перетин шин повинен бути не менше 70 мм² (за умовами коронування). Вибір перетину здійснюється за довгостроково припустимому струмові. При максимальному робочому до 200 А вибираємо перетин 70 мм² із припустимим струмом 265 А мінімальний перетин, виходячи з умов термічної стійкості, визначається за формулою

$$F = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{57 \times 10^3}}{91 \times 10^{-3}} = 25 \text{ мм}^2$$

де $C = 91 \times 10^{-3} \frac{\text{кАс}}{\text{мм}^2}$

Перетин 70мм² підходить і за термічною стійкістю, але живильну підстанцію лінії виконують проводом АС-95, тому і для оцинковки підстанції беремо АС-95.

Ошиновка закритих РП 10 кВ виконується твердими шинами. Вибір перетину також виконується за допустимим струмом. Тверді шини повинні бути перевірені на динамічні дії струмів КЗ і на можливість виникнення резонансних явищ. Зазначені явища не виникають при КЗ, якщо власна частота коливань шин менше 30 і більше 200 Гц. Частота власних коливань для алюмінієвих шин визначається за формулою

$$F_o = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{\gamma}{q}},$$

де l -довжина прольоту між ізоляторами $l=1,5\text{м}$;

γ - момент інерції поперечного перерізу шини щодо осі, перпендикулярної до напрямку згинаючої сили, см⁴;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$q = \frac{\pi}{4}(d^2 - d^2) = \frac{\pi}{4}(30^2 - 25^2) = 2.15$$

$$\gamma = \frac{\pi}{64}(d^2 - d^2) = \frac{\pi}{64}(30^2 - 25^2) = 205$$

$$F_u = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{\gamma}{q}}, = \frac{173,2}{1,5^2} \sqrt{\frac{205}{2,15}} = 777 \triangleright 200 \text{ Гц}$$

де q-розрахункова механічна напруга у матеріалу шин, l=1,5м;

де q_{доп} =75 МПА – допустима механічна напруга в матеріалі шин для алюмінієвого сплаву ДДЗТГ

2.8. Компонування роздільних пристроїв 110 кВ і конструктивна частина

Підстанції (ПС) 110 кВ споруджують, як правило, відкритими., заводського виготовлення. Її рекомендується проектувати переважно комплектними, заводського виготовлення.

Спорудження закритих ПС напругою 110 кВ, допускається в таких випадках: розміщення ПС із трансформаторами 16 МВА і вище на службовій території міст, розміщення ПС на території міст, коли це допускається містобудівним міркуванням.

Розміщення ПС із великими сніжними заметами у зонах сильних промислових викидів і в прибережних зонах із сильно засоленою атмосферою.

На ПС 110 кВ спрощенням схеми на боці ВН з мінімальною кількістю апаратури, розміщеної в районах із забрудненою атмосферою, рекомендується відкрита установка устаткування ВН і трансформаторів з посиленою зовнішньою ізоляцією.

На ПС електропостачання промислових підприємств передбачається водяне опалення, приєднане до теплових мереж підприємств.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Будинки ЗРП (закритих РП) допускається виконувати як окремо розміщені , так і зблокованими з будинками РПУ в тому числі і по вертикалі.

КРПЕ , напругою 110 кВ і вище, беруть при технікоекономічному обґрунтуванні при стиснутих умовах , а також у районах із забрудненою атмосферою.

Трансформатори 110 кВ варто установлювати відкритими , а у районах із забрудненою атмосферою з посиленою ізоляцією . У ЗРП 110 кВ і в закритих камерах трансформаторів необхідно передбачати стаціонарні вантажопідйомні пристрої або можливість застосування вантажопідйомних пристроїв (самохідних, пересувних) для механізації ремонту і технічного обслуговування .

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.9. Компонування роздільних пристроїв 6-10 кВ і конструкційна частина

РП 6-10 кВ для комплектних трансформаторів ПС виконується у вигляді КРПН або КРП, встановлених у закритих приміщеннях.

РП 6 і 10 кВ закритого типу (у будинках, у тому числі з УТБ або полегшених конструкцій типу панелі „сандвіч” та ін.

можуть застосовуватися:

- а) у районах, де за кліматичними умовами (забруднення атмосфери або наявність сніжних заметів або курних віднесень) неможливе застосування КРПН;
- б) при кількості шаф більше ніж 25;
- в) при наявності техніко-економічного обґрунтування.

У ЗРП 6 і 10 кВ рекомендується встановлювати шафи КРП заводського виготовлення.

КРП заводського виготовлення. Для їхнього ремонту і збереження видатного візка у ЗРП варто передбачити спеціальне місце.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

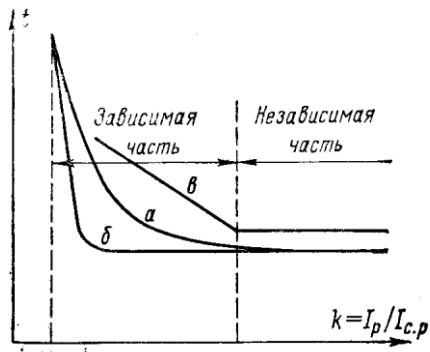
3. Розрахунок релейного захисту ліній та трансформатора

Захист від коротких замикань ліній 6 і 10 кВ розподільних мереж здійснюється переважно за допомогою максимальних струмових захистів.

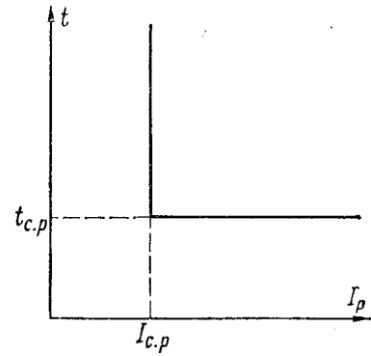
Відповідно до вживаних типів реле максимальні струмові захисту можуть мати незалежний від струму час спрацьовування (реле струму типу РТ-40 і реле часу типу РВ або РВМ) або назад залежний від струму час спрацьовування (реле струму типів РТ-80, РТ-90, РТВ). Останні мають обмежено залежну характеристику $t_p = f(I_p)$ причому перехід на незалежну частину характеристики відбувається у різних типів реле при різних кратностях струму I_p по відношенню до струму спрацьовування реле $I_{c.p.}$. Скорочено називають ці захисту із залежною або незалежною характеристикою.

Пологіші характеристики, наприклад, у реле РТВ-IV, V, VI, дозволяють краще забезпечити селективність захисту з плавкими запобіжниками. Крутіші характеристики дозволяють щонайкраще провести узгодження з незалежними захистами живлячих елементів. У напівпровідникового струмового захисту типу МТЗ є можливість вибору однієї з залежних від струму характеристик часу спрацьовування з переходом на незалежну частину при кратності струму від 1,4 (подібно РТВ-I) до 3 (подібно РТВ-IV). У іншого напівпровідникового струмового захисту типу ТЗВР залежна від струму частина характеристики спрацьовування є похилою прямою лінією. Крутизна нахилу характеристики може змінюватися. Великі можливості вибору характеристик спрацьовування струмових захистів передбачені в багатофункціональних мікропроцесорних пристроях типу УЗА-10, SPAC 800.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Мал. 1.1. Залежні від струму характеристики спрацьовування максимального струмового захисту з реле типу РТ-80 (а), РТВ-і (б) і захисту типу ТЗВР (в)



Мал. 1.2. Незалежна від струму характеристика спрацьовування максимального струмового захисту

Розрахунок максимального захисту полягає у виборі:

1. Струму спрацьовування захисту (первинного).
2. Струму спрацьовування реле (для певної прийнятої схеми захисту і типу реле).
3. Часу спрацьовування реле часу (для захисту з незалежною характеристикою) або характеристики спрацьовування струмових реле (для захисту із залежною характеристикою).

Крім того, потрібна перевірка точності роботи трансформаторів струму, а також перевірка термічної стійкості елемента, що захищається, при вибраному часі спрацьовування захисту.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4.

У роботі необхідно вибрати робочі уставки захисту ВЛ-10 кВ. Схема лінії вибирається згідно варіанту, де вказані необхідні початкові дані: опір і е. д. с. живлячої системи (однакові для максимального і мінімального режимів), приведені до шин 10 кВ живлячій підстанції; параметри ділянок основної лінії і відгалужень; параметри трансформаторів. Е. д. с. системи приймається рівною середній номінальній напрузі (10,5 кВ).

На ВЛ-10 кВ встановлений максимальний струмовий захист, виконаний по двофазній двохранейній схемі з реле, тип якого вказаний в завданні.

Розрахунок максимального захисту полягає у виборі:

1. Струму спрацьовування захисту (первинного).
2. Струму спрацьовування реле (для певної прийнятої схеми захисту і типу реле).
3. Часу спрацьовування реле часу (для захисту з незалежною характеристикою) або характеристики спрацьовування струмових реле (для захисту із залежною характеристикою).
4. Крім того, потрібна перевірка точності роботи трансформаторів струму, а також перевірка термічної стійкості елемента, що захищається, при вибраному часі спрацьовування захисту.

| № варіанту | Марка дроту | | | | | | | Тип реле |
|------------|-------------|-------|------|-------|-------|------|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 6 | АС-35 | АС-35 | А-25 | АС-35 | ПС-25 | А-25 | ПС-35 | Ртв-і |

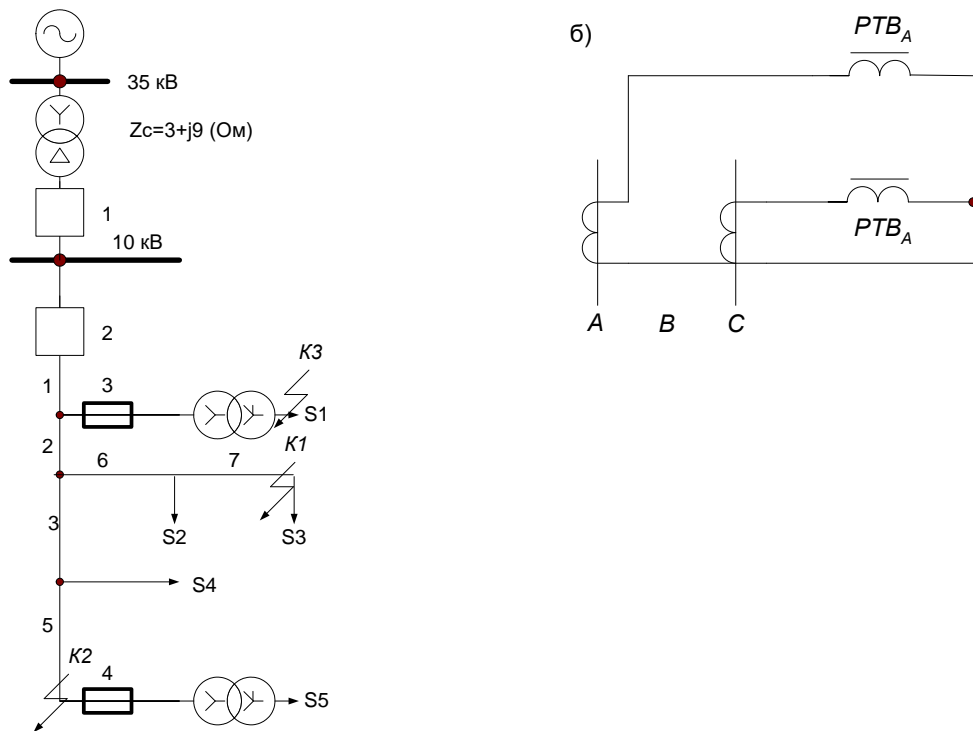
| № | № схеми, | Тип за- | Довжина ділянки, км. |
|---|----------|---------|----------------------|
|---|----------|---------|----------------------|

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| варіанту | малюнок | побіжника | | | | | | | |
|----------|---------|-----------|-----|-----|----|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 6 | рис.3.2 | ПВТ-10 | 1,2 | 1,6 | 10 | 4 | 1 | 8 | 2 |

| № варіанту | Споживана потужність, кВА | | | | | |
|---------------|---------------------------|----|----|----|----|-----|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
| 6 | 60 | 70 | 80 | 90 | 90 | 100 |

3.1. Розрахунок уставок максимального струмового захисту ВЛ 10 кВ



Мал. 3.1. Розрахункова (а) схема ВЛ 10 кВ і принципова (б) схема максимального захисту лінії (Т/в – максимальний струмовий захист із залежною характеристикою)

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | | | | | |

1. Розраховуються струми к.з. для чого раніше намічаються розрахункові точки к.з. електрично найбільш віддалені від живлячої підстанції (точки К1 і К2). Визначаються опори ділянок ліній і відгалужень. Розрахунок зручно звести в таблицю. Значення опорів (r) приведені в додатку. Внутрішній індуктивний опір (x) характерний тільки для сталевих проводів. Як відомо цей опір залежить від значення струму в дроті і тому точний розрахунок струмів к. з. для таких проводів є вельми трудомістким. Для спрощення розрахунків струмів к.з. для ліній, у яких опір ділянок із сталевими проводами складає незначну частину загального опору до точки к. з., допускається набувати деяких середніх значень, відповідних струму к. з. приблизно 150 А. Прі великих струмах к.з. ці опори зменшуються. Таким чином, вказане допущення зазвичай створює деякий запас при розрахунку максимального струмового захисту лінії.

Таблиця 3.1

| Ділянки ліній | Довжина, км. | Марка дроту | $r_{уд}$, Ом/км | $x_{в.уд}$, Ом/км | $x_{н.уд}$, Ом/км | $x_{в.уд} + x_{н.уд}$, Ом/км. | r , Ом | $x_B + x_H$, Ом |
|---------------|--------------|-------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------|---------------------|
| 1 | 1,2 | АС-35 | 0,77 | 0 | 0,4 | 0,4 | 0,924 | 0,48 |
| 2 | 1,6 | АС-35 | 0,77 | 0 | 0,4 | 0,4 | 1,232 | 0,64 |
| 3 | 10 | А-25 | 1,14 | 0 | 0,4 | 0,4 | 11,4 | 4 |
| 5 | 1 | ПС-25 | 6,2 | 1,4 | 0,4 | 1,8 | 6,2 | 1,8 |
| 6 | 8 | А-25 | 1,14 | 0 | 0,4 | 0,4 | 9,12 | 3,2 |
| 7 | 2 | ПС-35 | 4,5 | 1,2 | 0,4 | 1,6 | 9 | 3,2 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Визначаються сумарні активний і індуктивний опори до розрахункової точки к. з. К1 (з урахуванням опору системи):

$$r_{k1} = r_c + r_1 + r_2 + r_6 + r_7 = 23,28 \text{ (Ом)},$$

$$x_{k1} = x_c + x_1 + x_2 + x_6 + x_7 = 16,52 \text{ (Ом)}.$$

Повний опір до точки К1 28,54 (Ом).

Струм при трифазному к.з. . у точці К1 .

Аналогічно розраховується струм при трифазному к. з. у розрахунковій точці К2. 218,54 (А). Струми к.з. . указуються на розрахунковій схемі (Мал. 2.1).

3.2. Розраховується струм спрацьовування максимального захисту лінії.

Проведені дослідження і досвід експлуатації релейного захисту показують, що при розрахунку максимальних струмових захистів ліній 6 і 10 кВ в сільськогосподарських районах, як правило, можна приймати рівним 1,2–1,3 за умови, що захист матиме час спрацьовування не менше 0,5 с.

Максимальний робочий струм лінії (I_m) за відсутності офіційних даних може бути визначений приблизно по максимальній сумарній потужності силових трансформаторів, які можуть харчуватися по лінії, що захищається, в нормальному, ремонтному або після аварійному режимах.

$$\sum I_{ном.тр} = \frac{\sum S_{ном.тр}}{\sqrt{3}U_{ном}} = 22,54 \text{ (А)}.$$

Струм спрацьовування захисту по умові

$$I_{с.з} \geq \frac{k_n k_{сзн}}{k_\epsilon} I_{раб.макс} = \frac{1,3 \cdot 1,25 \cdot 22,54}{0,65} = 56,35 \text{ (А)}.$$

2. Розраховується струм спрацьовування захисту реле РТВ-II і перевіряється чутливість захисту. Заздалегідь прийнявши, отримуємо

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

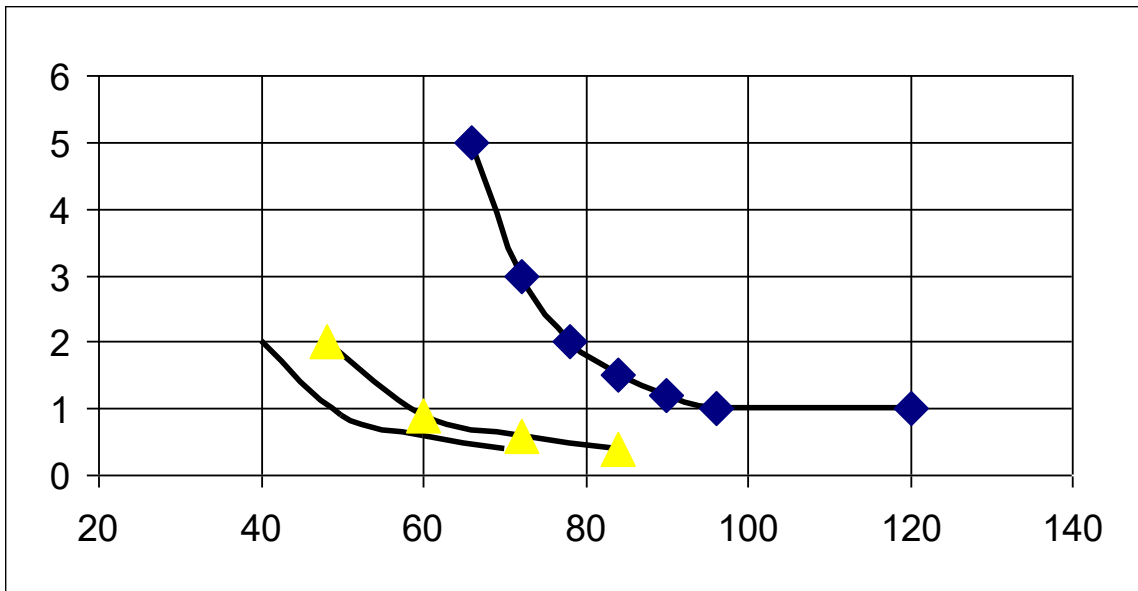
здійснюється, як завжди, плавкими запобіжниками. Номінальний струм замінюваного елемента запобіжників, співпадаючий за значенням з номінальним струмом запобіжника, вибираються по таблиці.

Таблиця 3.2

| Потужність трансформатора, що захищається, кВА | Номінальний струм, А | | | | | |
|--|---------------------------|-------|-------|------------------------|------|--------------|
| | Трансформатора на стороні | | | Запобіжника на стороні | | |
| | 0,4 кВ | 6кВ | 10кВ | 0,4 кВ | 6кВ | 10кВ |
| 25 | 36 | 2,40 | 1,44 | 40 | 8 | 5 |
| 40 | 58 | 3,83 | 2,30 | 60 | 10 | 8 |
| 63 | 91 | 6,05 | 3,64 | 100 | 16 | 10 |
| 100 | 145 | 9,60 | 5,80 | 150 | 20 | 16 |
| 160 | 231 | 15,40 | 9,25 | 250 | 31,5 | 20 |
| 250 | 360 | 24,00 | 14,40 | 400 | 50 | 40 (31,5) |
| 400 | 580 | 38,30 | 23,10 | 600 | 80 | 50 |
| 630 | 910 | 60,50 | 36,40 | 1000 | 160 | 80 |

Для розрахунку вибираємо запобіжник ПВТ-10, призначений для захисту силових трансформаторів, з номінальною напругою 10 кВ, номінальним струмом (таблиця. 2.2) і номінальним струмом відключення (набуває найближчого більшого значення по відношенню до максимального значення струму к.з. . у місці установки запобіжника; згідно Мал. 2.1, а цей струм дорівнює 580 А). Умовне позначення вибраного запобіжника ПВТ-10-15-12,5.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Мал. 3.2. Карта селективності

На карті селективності в осях струм-час будується типова захисна час-струмова характеристика плавлення вибраного запобіжника, що являє залежність переддугового часу або часу плавлення плавкого елемента від початку к.з. до моменту виникнення дуги () від значення періодичної складової очікуваного струму к.з. , що діє, (типові час-струмові характеристики запобіжників представлені в додатку).

Відхилення значення очікуваного струму к.з. . при даному переддуговому часі (часу плавлення плавкого елемента) від значення струму до. з., отриманого по типовій час-струмовій характеристиці плавлення, не повинно перевищувати . Тому типова характеристика (Мал. 2.1) має бути зміщена управо на 20%.

Підбирається характеристика 2 максимальний захист лінії виходячи з таких умов.

а. Струм спрацьовування захисту має бути не менше чим на 10% більше струму плавлення вставки запобіжника, відповідного часу дії захисту в початковій частині характеристики (не менше 5 с). Для цього визначається струм при 5 с: 36 А. Вибраний раніше струм спрацьовування захисту (50 А) задовольняє цій умові.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

б. Ступінь селективності 0,5–0,7 с між характеристиками захисту (2) і запобіжника (1) бажано забезпечувати при всіх можливих значеннях струму к.з. Ступінь селективності між захистом живлячого трансформатора (характеристика 3 задана) і захистом ВЛ 10 кВ має бути приблизно 0,7 с при максимальному струмі к.з. на початку лінії (практично береться струм к.з. на шинах 10 кВ живлячій підстанції). Очевидно, що обидва захист, що погоджується, працюють в незалежній частині характеристик. Тоді для захисту лінії час спрацювання має бути

$$t_{c.3} \leq t_{c.3.mp} - \Delta t = 1,4 - 0,7 = 0,7 \text{ с.}$$

Приймаючи за основу типову односекундну характеристику реле РТВ-і (приведена в додатку), визначаємо декілька точок потрібної точок по вибраному струму спрацювання захисту .

| | | | | | | |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $k = I_p / I_{c.p}, \%$ | 1 10 | 1 20 | 1 30 | 1 40 | 1 50 | 1 60 |
| $t_{c.3}, \text{с}$ | 5 | 3 | 2 | ,5 | ,2 | 1 |
| $I_k, \text{А}$ | 6 6 | 7 2 | 7 8 | 8 4 | 9 0 | 9 6 |

Струм визначається по виразу:

$$I_k = \frac{k I_{c.p} n_T}{100 k_{cx}^{(3)}},$$

де – кратність, визначувана по типовій характеристиці %; – струм спрацювання реле, А; – коефіцієнт трансформації; – коефіцієнт схеми.

Проводиться перевірка струмового захисту (1 з) за умовами термічної стійкості проводів лінії, що захищається. Для практичних розрахунків на термічну стійкість проводів розподільних електричних мереж

$$s_{min} = \sqrt{B} / C,$$

де s_{min} – мінімальний допустимий перетин дроту, мм²; $B = I_k^2 t_{отк}$ – імпульс квадратичного струму від періодичної складової струму I_k при трифаз-

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ному к.з. на початку лінії, що захищається; $t_{отк}$ – час від початку к.з. до його відключення, обчислюване по виразу

$$t_{отк} = t_{с.з} + t_{о.в},$$

де $t_{с.з}$ – час спрацьовування захисту і час відключення вимикача, с.

Значення постійною C залежить від матеріалу дроту, його початкової і кінцевої температури. Для неізолюваних проводів із стяженням менше 10 Н/мм² і для кабелів 6 і 10 кВ (з алюмінієвими жилами) приймається $C=91$; для проводів із стяженням більше 10 Н/мм² $C=69,5$.

$$S_{мин} = \frac{I_{к}}{C} \sqrt{t_{отк}}.$$

У тих випадках, коли на лінії, що захищається, введений в роботу пристрій АПВ одноразової дії, при розрахунку значення слід враховувати, що за час безструмової паузи (зазвичай близько 2 с) температура дроту істотно не зміниться. У цих випадках час проходження струму к.з. збільшується

$$t_{отк} = t_{с.з1} + t_{с.з2} + 2t_{о.в},$$

де $t_{с.з1}$ – час спрацьовування захисту з основним часом (до АПВ); $t_{с.з2}$ – час спрацьовування захисту з прискоренням після АПВ. Якщо прискорення захисту після АПВ не виконано, то значення $t_{с.з2}$. При використанні на лінії пристрою АПВ двократної дії з витримкою часу другого циклу близько 20 із значення допустимо не збільшувати і розрахунок проводити по виразу.

Для умов курсової роботи:

$$t_{отк} = 1 + 1 + 2 \cdot 0,1 = 2,2 \text{ с};$$

$$s_{мин} = 640 \sqrt{2,2} / 69,5 \approx 14 \text{ мм}^2,$$

що менше прийнятого в прикладі на ділянках 1 і 2 (АС-35, Мал. 3.1).

3.2. Розрахункова перевірка трансформаторів струму.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

а. Перевірка на 10 %-ную погрішність. Гранична кратність для реле із залежною характеристикою ($R_{тв-і}$): По кривій граничних крайнощів для ТПЛ-10, клас Р визначається .

Найбільше фактичне навантаження трансформаторів струму для двофазної двохрелейної схеми (Мал. 2.1, би): Опір реле $R_{тв-і}$ при втягнутому якорі при уставці 7,5 А розраховується:, де за технічними даними приводу ПП-67. Опір проводів в даному випадку практично можна було б не враховувати, оскільки реле РТВ встановлені в безпосередній близькості від трансформаторів струму (як і всі інші реле, розташовані в комплектних розподільних пристроях типу КРУ, КРУН, КСО і т. п.). Дійсно, навіть при довжині сполучного дроту з алюмінію і мінімально допустимому перетині [1] по виразу . Сумарний опір навантаження отже, погрішність трансформаторів струму не перевищує 10 %.

б. Розрахункова перевірка надійної роботи при максимальному значенні струму к.з. для реле типу РТВ не проводиться.

в. Розрахункове визначення напруги на виводах вторинної обмотки трансформаторів струму:

$$U_{2,макс} = \sqrt{2} \cdot 12,8 \cdot 5 \cdot 2,32 = 210 \text{ В},$$

де ; .

Робоча напруга для приєднань, що не мають зв'язку з іншими приєднаннями і апаратура яких розташована окремо від апаратури інших приєднань (до таких приєднань відносяться лінії 10 (6) кВ), відповідно до «Правил» [1] не повинно перевищувати 1000 В.

Следовательно у виразі $U_{2,доп}=1000 \text{ В}$.

Набуто значення .

$$U_{2,макс} = \sqrt{2} \cdot 12,8 \cdot 5 \cdot 2,32 = 210 \text{ В},$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Висновки

У розділі «Розрахунок електричної мережі» знайдено потоки потужностей в мережі при нормальному режимі роботи. Знайдено також падіння потужностей в елементах мережі. Розглянуто величини напруг в точках мережі з урахуванням поздовжніх і поперечних складових.

У розділі «Розрахунок електричної частини станцій і підстанцій» вибрано основне обладнання підстанції: вимикачі, роз'єднувачі, вимірювальні трансформатори струму і напруги, основні силові трансформатори перевірені за графіком навантаження підстанції, зазначений необхідний мінімальний набір вимірювальних приладів для установки на підстанції.

У розділі «Розрахунок релейного захисту» проведені розрахунки релейного захисту трансформатора.

У розділі «Аналіз методів економії електроенергії і зниження втра в електричних мережах» розглянуті питання методів економії електроенергії і зниження втра в електричних мережах.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Література

1 Електричні мережі та системи. Підручник. Сегеда М.С. / Третє видання, доповнене та перероблене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 540 с. ISBN 978-617-607-831-9

2 Електричні системи та мережі : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми: Сумський державний університет, 2018.– 214 с.

3.202 Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „Розрахунок замкнутої електричної мережі” з курсу „Електричні системи та мережі” / укладачі: І. Л. Лебединський, С. М. Лебедка, В. І. Романовський, В. В. Волохін. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 40 с

3 Правила улаштування електроустановок - 5-те вид., переробл. й доповн. – Харків, Форт, 2014. – 782 с.

4 Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. / С.С. Ананичева, А.Л. Мызин, С.Н. Шелюг. ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. - 52 с
<http://www.energyland.info/files/library/487586c140e2946c28be316bcbd800a3.pdf>

5 Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. Навчальний посіб-ник. Лук'яненко Ю.В., Остапчук Ж.І., Кулик В.В. / Вінниця: ВДТУ, 2002.–116с.
<http://kulykvv.vk.vntu.edu.ua/file/posibn/cf207246a5ffede8257f5b865a7b60d9.pdf>

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

6 СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011. Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Київ. Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 399 від 21.06.2013.

7 Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій».

http://eprints.kname.edu.ua/48453/1/2015_%D0%BF%D0%B5%D1%87_89%20%D0%9B%20%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%81%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA.pdf

8. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (для слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070103 – Електротехнічні системи електроспоживання (за видами)) / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : В. М. Гаряжа, Є. Д. Дьяков, Г. В. Капустін. – Х. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015.– 44 с.

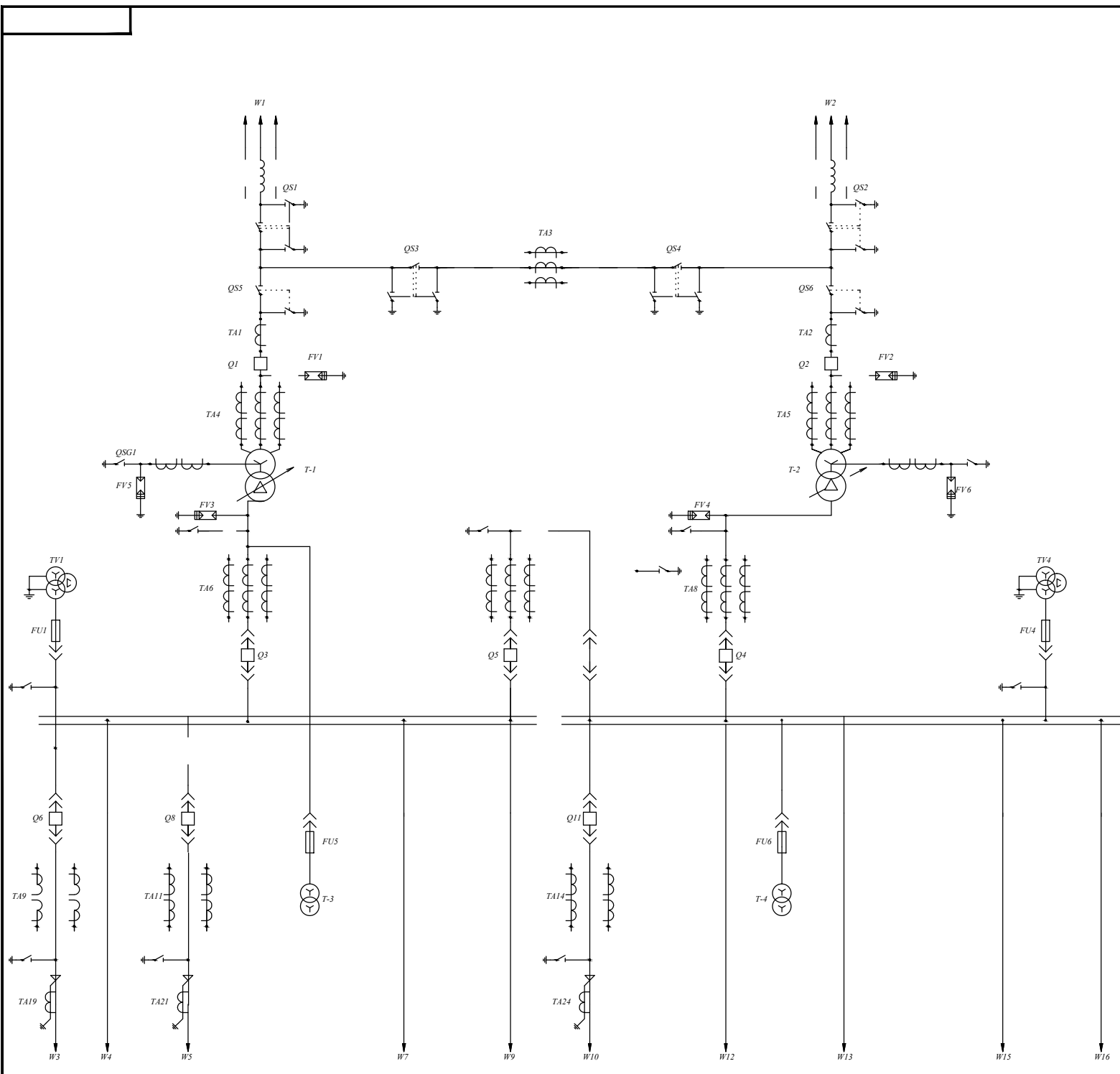
9 Сегеда М.С., Гапанович В.Г., Олійник В.П., Покровський К.Б. Проектування структурних схем електростанцій та підстанцій: навч. посіб. – Львів: Вид-во НУ «ЛП», 2010.

10 Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2015. – 504 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

11 Методичні вказівки до проведення практичних занять з курсу «Релейний захист та автоматика» / Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Д. С. Шимук. – Х.: ХНУМГ, 2013 – 60 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | БР.5.141.726.ПЗ.ЕТ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Перечень аппаратуры

| Формула | Знак | Поз | Обозначение | Наименование | К. кол | Прим. |
|---------|------|-----|--------------------|--|--------|-------|
| | | 1 | T1, T2 | Тр-р силовой ТДН-63000/110 | 2 | |
| | | 2 | Q1, Q2 | Выключатель ВВМ-110Б-31,5/2000/31 | 2 | |
| | | 3 | Q3 - Q5 | Выключатель ВВУ-35А-40/2000У1 | 3 | |
| | | 4 | QS1, QS2, QS3, QS4 | Разъединитель наружной установки РНДЗ1-110/1000 УХЛ1 | 4 | |
| | | 5 | QS5, QS6 | Разъединитель наружной установки РНДЗ1-110/1000 УХЛ1 | 2 | |
| | | 6 | Q6 - Q15 | Выключатель ВВУ-35А-40/2000У1 | 10 | |
| | | 7 | TA1, TA2, TA3 | Трансформатор тока ТФЗМ-110-У1 | 3 | |
| | | 8 | TA4, TA5 | Трансформатор тока встроенный НКФ 110-58 | 2 | |
| | | 9 | FV1, FV2 | Разрядник вентильный РВС-110 МУ1 | 2 | |
| | | 10 | FV3, FV4 | Разрядник вентильный РВП-35 МУ1 | 2 | |
| | | 11 | FV5, FV6 | Разрядник вентильный РВС-15+РВС-35 | 12 | |
| | | 12 | QSG1, QSG2 | Заземлитель однополюсный ЗОН-110М | 2 | |
| | | 13 | TA6 - TA8 | Трансформатор тока ТФЗМБ5-У1 | 3 | |
| | | 14 | T3, T4 | Трансформатор собственных нужд ТМ-40/35 | 2 | |
| | | 15 | FU1-FU6 | Предохранитель ПКН 001-10 У1 | 6 | |
| | | 16 | TV1-TV4 | Трансформатор напряжения ЗНОД-35 | 4 | |
| | | 17 | TA9 - TA18 | Трансформатор тока ТФЗМБ5-У1 | 28 | |
| | | 18 | TA19 - TA28 | Трансформатор тока ТФЗМБ5-У1 | 14 | |

| Изм | Лист | И. дата | Коррек | Лист | Лит | Масса | Масштаб |
|-------------|--------------|---------|--------|------|-----|-------|---------|
| Разработ | Дизайнер В | | | | | | |
| Руковод | Ермаков Г.П. | | | | | | |
| Конструктор | | | | | | | |
| Проверка | | | | | | | |
| Экз. тех. | Александров | | | | | | |

БР.5.141.726. ГЧ.ЕТ

Схема понижашей подстанции 110/35 кВ

Лист 1 / Листов 1

СумГУЕТгн-51n