

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет
автоматики та енергетики

Кафедра електротехнічних
систем та енергетичного
менеджменту

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

*методичні рекомендації до самостійної роботи
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі
спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка" (освітня програма "Електротехнічні системи
електроспоживання")*

Кропивницький
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет
автоматики та енергетики

Кафедра електротехнічних
систем та енергетичного
менеджменту

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

методичні рекомендації до самостійної роботи
*для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі
спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка" (освітня програма "Електротехнічні системи
електроспоживання")*

Затверджено
на засіданні кафедри
електротехнічних систем та
енергетичного менеджменту
Протокол № 13 від 05.05.2022 р.

Кропивницький
2022

Автоматизовані системи контролю та обліку енергоспоживання споживачів:
методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" (освітня програма "Електротехнічні системи електроспоживання") / [уклад.: І.В. Савеленко, О.І. Сіріков, А.І. Котиш], Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 46 с.

Укладачі: І.В. Савеленко – доц., к.т.н., доц. каф. ЕТС та ЕМ;
О.І. Сіріков – доц., к.т.н., доц. каф. ЕТС та ЕМ
А.І. Котиш – доц., к.т.н., доц. каф. ЕТС та ЕМ

Рецензент: С. В.Серебренніков – к.т.н., проф. каф. ЕТС та ЕМ ЦНТУ

© Савеленко І.В. , Сіріков О.І., Котиш А.І.,
2022

© Центральноукраїнський
національний технічний університет,
2022

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	5
1. Загальні положення.....	6
2. Вибір трансформаторів струму	11
3. Вибір трансформаторів напруги	16
4. Вибір технічних засобів для системи обліку та контролю електроенергії	19
Додатки	23
Список літератури.....	46

Вступ

Між енергосистемою та споживачами електроенергії існують складні взаємовідносини. Вони визначаються особливостями електроенергетичного виробництва і систем електроспоживання. Електростанції енергосистеми і електроустановки споживачів зв'язані електричними мережами в єдину динамічну систему, що крім електричних зв'язків характеризується взаємним впливом на надійність і економічність роботи даної системи. Через вказані обставини, вимагається відповідне узгодження режимів роботи енергосистеми і електроустановок споживачів та регулювання взаємовідношень між постачальниками і споживачами електроенергії.

Розробка та впровадження систем комерційного обліку електроспоживання в мережах споживачів виконується з метою моніторингу з боку органів енергетичного контролю. Перш за все вона включає організацію робіт по створенню автоматизованої системи контролю і обліку електроспоживання (АСКОЕ) і узгодження дій споживача, розробника і органів Держстандарту (метрологічної служби) між собою. Останні при цьому повинні мати відповідну ліцензію на право виконувати даний вид діяльності.

Енергосистему у взаємовідносинах із споживачами представляють структурні підрозділи енергетичних компаній та служби державного енергетичного нагляду, які від її імені укладають з споживачами договір на користування електричною енергією і виступають в якості юридичних осіб, при вирішенні питань відносно електропостачання.

1. Загальні положення

Контроль електроенергії та вимірювання параметрів режимів роботи системи електроспоживання є одним з важливий аспектів експлуатації систем електроспоживання. Система обліку та вимірювань проектується у відповідності вимог схеми електропостачання підприємства, характеру та потужності споживачів та схем їх комутації.

Прилади обліку і контролю встановлюються, як правило, на всіх основних приєднаннях. В таблиці 1 приведений перелік приладів, які повинні встановлюватися на типових приєднаннях.

Таблиця 1. Прилади, що рекомендовані для встановлення на різних типах приєднань

Характеристика приєднання	Прилад
Вводи напругою вище 1 кВ від енергосистеми і для цехових підстанцій	Амперметр, при несиметричному навантаженні — три амперметри, лічильники активної і реактивної енергії, лічильники з вказівкою максимального навантаження
Трансформатори знижувальні напругою 110/3—10; 35/3—10; 6—10/3—6 кВ	На первинній напрузі: амперметр, лічильники активної і реактивної енергії на транзитних підстанціях. На вторинній напрузі: амперметр, ватметр активної потужності при потужності трансформатора 6300 кВА и вище, лічильники активної і реактивної енергії

Продовження таблиці 1

Характеристика приєднання	Прилад
Трансформатори знижувальні трьохобмоточні напругою 110/35/3 – 10 кВ	Амперметри на всіх напругах, ватметри активної потужності на напруги 3—10 и 35 кВ при потужності трансформатора 6300 кВА и вище, лічильники активної и реактивної енергії на напруги 3—10 и 35 кВ
Трансформатори знижувальні 6-10/0,4-0,69 кВ, що живлять одного споживача.	Амперметр, лічильник активної енергії
Трансформатори знижувальні 6-10/0,4-0,69 кВ на підстанціях, що мають живлення від транзитних ліній енергосистем	Амперметр, лічильники активної и реактивної енергії
Напівпровідникові перетворювачі	Лічильник активної енергії, амперметр змінного струму, амперметр і вольтметр постійного струму
Генератори потужністю до 1000 кВт	У колі статора — амперметр, вольтметр, ватметр активної потужності, лічильник активної енергії, частотомір. У колі збудження — амперметр і вольтметр
Генератори потужністю вище 1000 кВт	В цепи статора — три амперметра, вольтметр, ватметри активної и реактивної потужності, лічильники активної и реактивної енергії, фазометр, частотомір. В колі збудження — амперметр и вольтметр
Генератори постійного струму	В колі головного струму: амперметр (два амперметра при наявності дільника напруги), вольтметр, лічильник електроенергії, В колі збудження — амперметр

Продовження таблиці 1

Характеристика приєднання	Прилад
Двигун-генератор	В колі двигуна — лічильник активної енергії, амперметр, ватметр реактивної потужності, в колі збудження електродвигуна — амперметр, в цепі генератора постійного струму — амперметр и вольтметр
Конденсаторна батарея при потужності 100 кВАр і вище	Три амперметра и лічильник реактивної енергії
Лінії до дугових електропечей	Амперметр і лічильник активної енергії
Синхронні компенсатори	Лічильник активної енергії, два лічильника реактивної енергії зі стопорними механізмами, три амперметра в цепі статора, ватметр реактивної потужності реєструючий, амперметр и вольтметр с перемикачем для контролю ізоляції кола збудження
Синхронні двигуни напругою вище 1000 В	Лічильник активної енергії (амперметр), ватметр реактивної потужності, амперметр в колі збудження
Асинхронні двигуни напругою вище 1000 В	Амперметр и лічильник активної енергії
Лінії радіальні, транзитні і до сторонніх споживачів	Амперметр, лічильник активної енергії, лічильник реактивної енергії. При приєднаній потужності більше 5000 кВА - активно-реактивний ватметр
Лінії радіальні, внутрішньо-заводські, такі, що живлять одну розрахункову одиницю	Амперметр, лічильник активної енергії, лічильник реактивної енергії

Продовження таблиці 1

Характеристика приєднання	Прилад
Лінії радіальні внутрішньо-заводські, що живлять декілька споживачів	Амперметр, лічильник активної енергії, лічильник реактивної енергії
Лінії, що сполучають електростанцію споживача з підстанцією енергосистеми або між двома підстанціями енергосистеми	Амперметр, ватметр активної і реактивної потужності з двосторонньою шкалою, два лічильники активної енергії із стопорними механізмами
Збірні шини РУ, не пов'язані електричними колами з вище розміщеними ступенями системи електропостачання	Вольтметр на кожній системі або секції шин і вольтметр для контролю ізоляції (у трьох фазах) на кожній системі або секції шин
Шини РУ	Вольтметр на кожній секції шин, амперметр
Шиноз'єднувальний вимикач	Амперметр
Лінія напругою до 1000 В на підстанції, що живить одну розрахункову одиницю	Амперметр і лічильник активної енергії
Лінії напругою до 1000 В на підстанціях, що живлять декілька споживачів	Амперметр

На рисунку 1 представлені схеми підключення контрольно-вимірювальних приладів через трансформатори струму в залежності від класу напруги та призначення елементів системи електропостачання

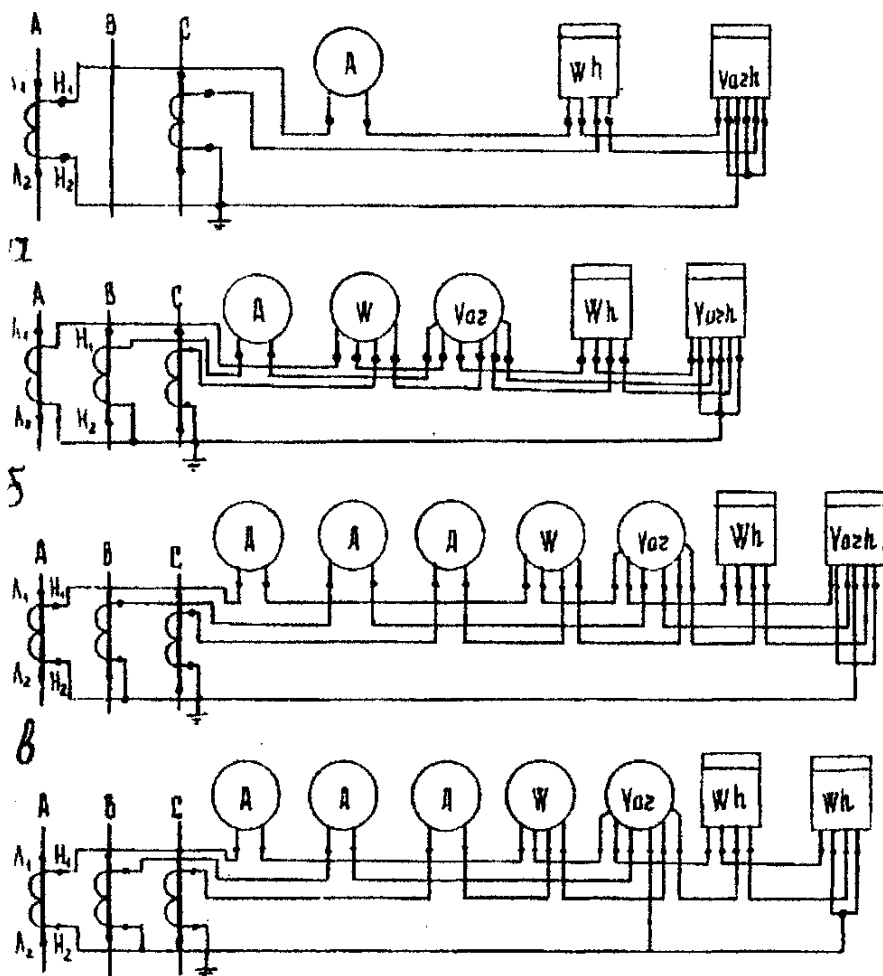


Рис. 1. Приєднання контрольно-вимірювальних приладів:
а) – лінії 6...10 кВ до споживачів; б) - обмотки НН знижувального трансформатора; в) - лінії 110...220 кВ з пофазним керуванням; г) - лінії 110...220 кВ з двобічним напрямом подачі енергії та пофазним керуванням нейтральною точкою (в мережах 6...10 кВ схема повної зірки у мережах із заземленою чи компенсованою нейтраллю, а також

в мережах з ізольованою нейтральною точкою, якщо є необхідність у вимірах струму в усіх фазах або це пов'язано з умовами роботи релейного захисту приєднання).

2. Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму ТС служать для зменшення первинних струмів до величин найбільш зручних для підключення приладів виміру й обліку, реле захисту, пристроїв автоматики. Крім того, трансформатори струму і напруги забезпечують безпеку персоналу, що обслуговує електроустановку, через розділ кіл вищої і нижчої напруги.

Для підключення приладів слід використовувати трансформатори струму, вбудовані у вводи будівель і силових трансформаторів. Окремо трансформатори струму встановлюють для живлення системи автоматизованого обліку електроенергії і вимірювальних приладів.

Вибір трансформаторів струму виконується за:

1. Класом точності;

Для комерційного обліку використовують прилади клас точності який не менший 0,5 (0,5S). Для технічного обліку дозволяється використовувати прилади з класом точності більше 1,0.

Клас точності трансформаторів струму визначається їхнім призначенням і класом точності приладів. Клас точності ТС, який буде використовуватися, при підключенні до нього приладів з вказаним класом точності приведений в таблиці 2.

Таблиця 2. Вибір ТС в залежності від класу точності приладів

Клас точності приладів	0,5	1,0	1,5	2,5	4
Клас точності ТС	0,5	0,5	0,5	1	3

Якщо до ТС приєднуються тільки щитові вимірювальні прилади, достатньо класу точності (1,0), у деяких випадках амперметри у колі секційного або шиноз'єднувального вимикача приймають ТС з класом точності 3, для релейного захисту - 10,

Слід зауважити, що клас точності вибраного ТС забезпечується при виконанні двох умов:

- 1) $Z_2 \leq Z_{2ном}$
- 2) $(I_{розр} / I_{1н}) \cdot 100 \geq 100-120\%$ для класу точності до 0,5 і

1-3

де, $I_{роб}$ – робоче значення струму первинної обмотки ТС.

2. Номінальною напругою:

$$U_m \leq U_{1н} \quad (1)$$

де $U_{1н}$ - номінальна напруга, на яку розрахована ізоляція, трансформатора струму, кВ; U_m - номінальна напруга мережі, в якій встановлюється ТС, кВ.

3. Розрахунковим тривалим струмом кола, в яке вмикається трансформатор струму, А:

$$I_{розр} \leq I_{1н} \quad (2)$$

де $I_{1н}$ – номінальний струм первинної обмотки трансформатора струму, його величина вибирається найближчою до

значення $I_{розр}$ (тому що недовантаження первинної обмотки призводить до збільшення похибки); $I_{розр}$ - максимальний струм робочого режиму приєднання, для якого вибирається ТС, А;

При виборі номінального струму первинної обмотки ТС - $I_{1н}$ слід враховувати можливість перевантаження деяких типів трансформаторів струму на 10-20%, згідно довідникової літератури або каталогів на ТС.

Значення номінального вторинного струму $I_{2н}$ уніфіковано і дорівнює 5 А, в деяких випадках можуть бути значення 1 і 10 А.

4. Динамічною стійкістю обладнання до струмів короткого замикання:

$$\begin{aligned} i_{yo} &\leq \sqrt{2} k_{дин} \cdot I_{н0}; \\ i_{yo} &\leq i_{дин} \end{aligned} \quad (3)$$

де $k_{дин}$ — коефіцієнт кратності електродинамічної стійкості.

Шинні трансформатори струму, за цією умовою не перевіряються.

5. Термічною стійкістю:

$$\begin{aligned} B_k &\leq (k_m \cdot I_{1н})^2 \cdot t_m; \\ B_k &\leq I_m^2 \cdot t_m \end{aligned} \quad (4)$$

де k_m — коефіцієнт кратності термічної стійкості.

При відсутності в каталожних даних ТС $k_{дин}$ та k_m , необхідно використовувати значення $I_{дин}$ і I_m .

6. Вторинним навантаженням:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (5)$$

де $Z_{2ном}$ — номінальне навантаження ТС в заданому класі точності, Ом.

Так як індуктивний опір кіл струму невеликий, допускається приймати $Z_2 \approx R_2$. Вторинне навантаження складається з опору приладів $Z_{прил}$, з'єднувальних проводів $R_{пр}$ та перехідного опору

контактів ТС R_k .

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{np}} + R_k \quad (6)$$

Опір приладів визначають за виразом, Ом:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_2}, \quad (7)$$

де $S_{\text{прил}}$ - потужність, спожита приладами, що підключені до трансформатора, ВА;

I_2 – вторинний номінальний струм приладу ($I_2 = 5$ А).

Розрахунок $S_{\text{прил}}$ рекомендується вести в табличній формі (додаток 3). Потужність, яку споживають прилади вимірювання і обліку $S_{\text{прил}}$, визначають для найбільш завантаженої фази. Розрахунок потужності рекомендується виконувати в табличній формі (див додаток 3). Значення потужності, спожитої окремими приладами, можна прийняти по згідно таблиць Д7-Д8.

Опір контактів R_k приймають рівним 0,05 Ом при двох-трьох приладах і 0,1 Ом при більшому числі приладів.

Щоб ТС працював в обраному класі точності необхідно дотримуватися умови:

$$Z_{\text{прил}} + R_{\text{np}} + R_k \leq Z_{2\text{ном}}$$

Звідки, опір з'єднувальних проводів, Ом:

$$R_{\text{np}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_k$$

Розрахунковий переріз проводів:

$$F_{\text{np}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{R_{\text{np}}}$$

де ρ – питомий опір матеріалу проводу (для мідних проводів

$$\rho = 0,0283 \frac{\text{Ом} \times \text{мм}^2}{\text{м}}, \text{ для алюмінієвих - } \rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \times \text{мм}^2}{\text{м}}).$$

$l_{\text{розр}}$ - розрахункова довжина проводів, що залежить від схеми з'єднання трансформаторів струму. При включенні приладів в одну фазу $l_{\text{розр}} = 2 \cdot l$; при включенні в неповну зірку $l_{\text{розр}} = 3 \cdot l$; при включенні в повну зірку $l_{\text{розр}} = l$. Де l – відстань від місця розташування ТС до вимірювальних приладів, м. Вона може бути прийнята для ліній 6-10 кВ споживачів 3,5÷5 м, для кіл РУ 35 кВ – 25÷55 м, для всіх кіл РУ 110 кВ – 60÷85 м.

Розрахунковий переріз проводів $F_{\text{пр}}$, заокруглюється до найближчого більшого стандартного перерізу ($F_{\text{ст}}$) жил контрольних кабелів, а саме 1,5; 2,5; 4; 6; 10 мм². Слід зауважити, що контрольні кабелі, якими з'єднуються ТС з вимірювальними приладами, повинні відповідати вимогам механічної стійкості. Через це переріз мідних проводів при наявності в колі розрахункових лічильників має бути не меншим від 2,5 мм², алюмінієвих проводів - не меншим від 4 мм². У разі відсутності лічильників найменшим перерізом за умовою механічної стійкості для мідних проводів може бути 1,5 мм², для алюмінієвих - 2,5 мм².

Тоді, опір з'єднувальних проводів залежить від їхньої довжини і стандартного перерізу:

$$R_{\text{пр.ст}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{ст}}}, \quad (8)$$

Переріз більший за 6 мм², як правило, не застосовується.

Для електроустановок напругою 6...10 кВ з розподільними пристроями, виконаними шафами КРУ, рекомендуються трансформатори струму типу ТЛМ, ТШЛ, ТЛ, ТПЛ, ТПОЛ. Для відкритих розподільних пристроїв напругою 35 кВ і вище приймаються трансформатори струму типу ТФЗМ, ТФРК, НКФ та оптико-електронні трансформатори струму, що можуть контролювати не тільки струм і потужність, а і інші параметри.

Типи трансформаторів струму та їхні основні параметри наведені в додатку 6.

3. Вибір трансформаторів напруги

Трансформатори напруги виготовляються різних типів на різні класи напруг. Вони можуть бути однофазному (НОЛ, НКФ) або трифазному виконанні (ЗНОМ, ЗНОЛ, НАМИ, НАМИТ) у зв'язку з цим трансформатори напруги вибирають за:

- 1) Призначенням
- 2) Схемою з'єднання між собою
- 3) Класом точності
- 4) Умовою роботи у заданому класі точності

$$S_{2p} \leq S_{2н} \quad (10)$$

де, $S_{2н}$ - номінальна повна потужність ТН, максимальне значення повної потужності електроенергії, що віддається вторинною обмоткою у зовнішнє коло, при якій трансформатор буде працювати у заданому класі точності, ВА; S_{2p} - розрахункова повна потужність електроенергії, що споживається контрольно-вимірювальними приладами, ВА(див. таблицю Д8).

5) Номінальними параметрами:

$$U_m \leq U_{1n} \quad (11)$$

де U_{1n} - номінальна напруга первинної обмотки ТН, кВ; U_m - номінальна напруга мережі, для роботи в якій вибирається ТН, кВ.

Трансформатори напруги встановлюються на кожній секції збірних шин розподільних пристроїв усіх класів напруг і вони є джерелом напруги для всіх паралельних котушок контрольно-вимірювальних приладів кожного приєднання даної секції. Крім того, ТН встановлюються на лініях 330 кВ та вище. У зв'язку з цим для обчислення S_{2p} необхідно знати число приєднань даної секції розподільного пристрою, в також дані приладів з паралельними котушками.

Якщо високовольтний розподільний пристрій виконаний без збірних шин і немає потреби в у вимірюваннях потужності та напруг, трансформатори напруг у даних схемах не передбачаються.

Вибір типу трансформаторів напруги, а також схема їх з'єднання у трифазній системі визначаються за їх призначенням. Якщо до ТН приєднані: лічильники електроенергії, по яких ведеться комерційний взаєморозрахунок, доцільно використати два однофазні трансформатори напруги типу НОМ для напруг від 6 до 35 кВ включно, або типу НОС для напруг 0,5 та 3 кВ, які з'єднані за схемою неповного трикутника. Для цього можна використати ТН типу НАМИТ, який має обмотку для компенсації кутової похибки.

Для вимірювання потужностей та енергії в лініях з напругою 110 кВ та вище використовують каскадні трансформатори напруги типу НКФ, обмотки яких з'єднані за схемою (зірка з нулем/зірка з нулем/ розімкнутий трикутник). Такі самі типи трансформаторів застосовують для вимірювань лінійних і фазних напруг у мережах 110

кВ та вище.

Лінійні та фазні напруги в мережах 6...35 кВ включно вимірюють за допомогою трьох однофазних ТН типу ЗНОМ, ЗНОЛ, що мають схему з'єднання обмоток (зірка з нулем/зірка з нулем/розімкнутий трикутник) з обов'язковим заземленням нейтральних точок обмоток ВН та НН.

Для живлення приладів контролю стану ізоляції потрібно або група із трьох однофазних трансформаторів напруги типу ЗНОЛ.06, ЗНОЛ.09 або один трифазний п'ятистріжневий ТН типу НАМИТ з схемою з'єднання (зірка з нулем/зірка з нулем/розімкнутий трикутник) Трансформатори ЗНОЛ. 06, ЗНОЛ.09 широко застосовуються у шафах комплектних розподільних пристроїв та в комплектних струмопроводах замість трансформаторів НАМИ та ЗНОМ, а трансформатори НОЛ.08 - для зміни та НОМ-10.

Через те, що схеми з'єднань обмоток трансформаторів напруг і котушок напруги приладів розрізняються, при визначенні S_{2p} визначають сумарне трифазне навантаження від паралельних котушок усіх приладів, що контролюють режим роботи всіх приєднань даної секції збірних шин:

$$S_{2\phi} = \sqrt{P_{\Sigma 2}^2 + Q_{\Sigma 2}^2} \quad (12)$$

$P_{\Sigma 2}$, $Q_{\Sigma 2}$ - сумарне значення відповідно активної (Вт) та реактивної (вар) потужності електроенергії, яка споживається приладами секції збірних шин.

Значення S_{2p} порівнюється з номінальною потужністю ТН в класі точності 0,5(0,5S) - $S_{2н}$ при наявності лічильників комерційного обліку електроенергії. Для решти щитових приладів достатньо класу точності одиниця (1).

За номінальну потужність ТН ($S_{2н}$) приймають потроєну

номінальну потужність однофазного трансформатора напруги при їх з'єднанні за схемою зірки, подвоєну потужність при їх з'єднанні за схемою неповного трикутника та номінальну потужність трифазного трансформатора.

Якщо S_{2p} перевищує номінальну потужність ТН ($S_{2н}$) у вибраному класі точності, то частину приладів приєднують до додатково встановлюваних однофазних трансформаторів напруги типу НОМ (зі схемою з'єднання обмоток неповний трикутник).

При визначенні повної розрахункової потужності S_{2p} втрати потужності у з'єднувальних провідниках не враховуються через їхню незначну величину, проте опір провідників призводить до додаткових втрат напруги. Згідно вимог нормативної літератури втрати напруги у провідниках від ТН до лічильників електроенергії не повинні перевищувати 0,5%, а в провідниках до щитових приладів - 3,0. Тому переріз провідника в колі ТН, який визначається допустимою втратою напруги, може бути прийнятий за умовою механічної стійкості: 1,5 мм² для мідних жил; 2,5 мм² для алюмінієвих.

4. *Вибір технічних засобів для систем обліку та контролю електроенергії*

В даній роботі необхідно вибрати трансформатори струму і напруги на збірних шинах НН та ВН знижувальної розподільчої підстанції з двома трансформаторами, що приведена на рисунку 2. На рис. 2, від секцій збірних шин розподільного пристрою (РП) 10 кВ відходять кабельні приєднання споживачів. У відповідності до заданого варіанту з додатку 2 вибирається число приєднань споживачів (N_1 та N_2) та приєднані трансформатори власних потреб T_2

для кожної секції збірних шин. Потужність електричних навантажень приєднань N_1 та N_2 визначається за наступним алгоритмом. Для всіх приєднань, що є парними потужність навантаження складає $S_n = 0,75 \cdot S_{n,тр}$, для непарних - $S_n = 0,5 \cdot S_{n,тр}$. Номінальна потужність - $S_{n,тр}$ відповідає вибраному трансформатору T_3 .

Згідно таблиці 1, для розрахункової схеми на рис. 2 необхідно вибрати контрольно-вимірювальні прилади: для кіл ВН та НН трансформатора T_1 ; для приєднань кабельних ліній до споживачів T_3 ; для приєднань трансформаторів власних потреб T_2 . Розрахункові струми, для вибору ТС, визначаються за потужністю обраних трансформаторів з додатку 2 та даними таблиці Д1 з додатку 1.

Секція ЗРП 10 кВ, що має більшу кількість приєднань, а відповідно і контрольно-вимірювальних приладів, виступає розрахунковим навантаженням для вибору ТН. Приклади вибору ТС та ТН приведені на додатках 3,5. У випадку, якщо вибір трансформаторів струму буде не можливий без порушення вимог комерційного обліку, необхідно виконати обґрунтування умов виконання технічного завдання (з приведенням розрахунків і пояснень).

Звіт повинен містити:

1. Схему електропостачання з нанесеним реальним числом приєднань та вихідних даних.
2. Схему з переліком встановлених приладів контролю та обліку електроенергії.
3. Вибір трансформаторів струму, що вказані на розрахунковій схемі.
4. Висновки, щодо можливості використання ТС для комерційного обліку на стороні ВН або НН силового трансформатора.
5. Вибір трансформаторів напруги на стороні ВН та НН силового трансформатора
6. Висновки, щодо можливості використання ТН для комерційного обліку на стороні ВН або НН силового трансформатора.

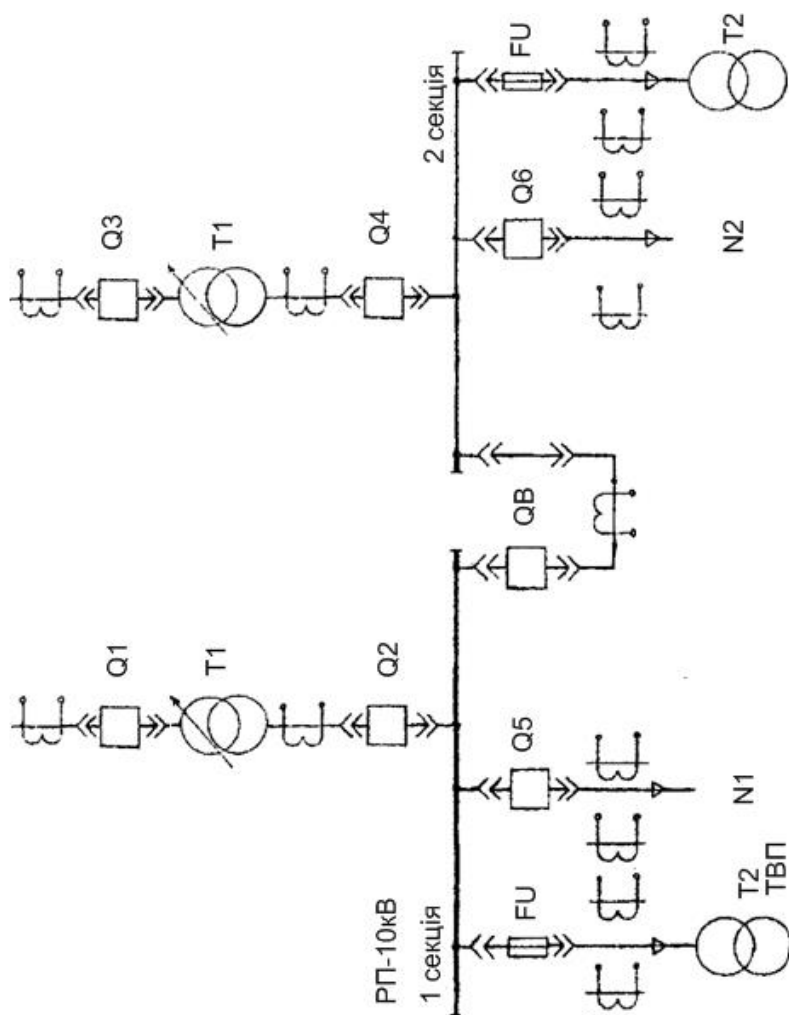


Рис. 2. Розрахункова схема

Таблиця Д1 – Струм короткого замикання на шинах підстанції

№ варіанту	Місце КЗ	Струм КЗ $I_{п,0}, \text{кА}$	Ударний струм КЗ $i_y, \text{кА}$	Аперіодична складова струму КЗ, $i_a, \text{кА}$	Термічний імпульс, $B_k, \text{кА}^2\text{с}$
1	На шинах 35 кВ	2,86	6,852	0,60	4,2
	На шинах 10 кВ	6,97	16,7	0,68	2,7
2	На шинах 35 кВ	1,86	4,452	0,73	6,1
	На шинах 10 кВ	4,16	10,0	0,51	4,0
3	На шинах 35 кВ	0,86	2,052	0,39	4,5
	На шинах 10 кВ	5,40	13,0	0,28	3,6
4	На шинах 35 кВ	2,86	6,852	0,70	5,2
	На шинах 10 кВ	4,15	10,0	0,70	5,0
5	На шинах 35 кВ	2,86	6,852	0,50	6,4
	На шинах 10 кВ	7,32	17,6	0,31	4,5
6	На шинах 110 кВ	6,83	16,392	0,53	4,2
	На шинах 10 кВ	8,49	20,4	0,71	5,0
7	На шинах 35 кВ	1,86	4,452	0,50	4,7
	На шинах 10 кВ	6,48	15,5	0,31	3,3
8	На шинах 35 кВ	2,86	6,852	0,34	2,7
	На шинах 10 кВ	6,68	16,0	0,40	6,2
9	На шинах 35 кВ	0,86	2,052	0,47	4,4
	На шинах 10 кВ	5,61	13,5	0,64	5,6
10	На шинах 110 кВ	6,83	16,392	0,36	3,7
	На шинах 10 кВ	7,81	18,7	0,72	5,2
11	На шинах 110 кВ	5,83	13,992	0,52	3,3
	На шинах 10 кВ	7,69	18,5	0,40	4,5
12	На шинах 110 кВ	6,83	16,392	0,39	5,2
	На шинах 10 кВ	4,12	9,9	0,56	6,6
13	На шинах 110 кВ	6,83	16,392	0,31	2,7
	На шинах 10 кВ	8,15	19,6	0,40	5,2

№ варіанту	Місце КЗ	Струм КЗ $I_{п,0}$, кА	Ударний струм КЗ i_y , кА	Аперіодична складова струму КЗ, i_a , кА	Термічний імпульс, V_k , кА ² с
14	На шинах 110 кВ	7,83	18,792	0,31	4,3
	На шинах 10 кВ	4,19	10,1	0,51	5,7
15	На шинах 150 кВ	6,95	16,68	0,52	3,5
	На шинах 10 кВ	4,82	11,6	0,28	2,6
16	На шинах 150 кВ	9,95	23,88	0,37	3,0
	На шинах 10 кВ	5,32	12,8	0,36	5,8
17	На шинах 35 кВ	0,86	2,052	0,29	4,0
	На шинах 10 кВ	5,94	14,3	0,40	3,2
18	На шинах 35 кВ	3,86	9,252	0,69	6,3
	На шинах 10 кВ	6,13	14,7	0,33	6,6
19	На шинах 35 кВ	0,86	2,052	0,26	5,9
	На шинах 10 кВ	5,42	13,0	0,28	4,2
20	На шинах 35 кВ	0,86	2,052	0,28	5,3
	На шинах 10 кВ	8,49	20,4	0,44	4,1
21	На шинах 35 кВ	1,86	4,452	0,48	4,1
	На шинах 10 кВ	6,89	16,5	0,72	5,8
22	На шинах 35 кВ	3,86	9,252	0,64	2,8
	На шинах 10 кВ	7,14	17,1	0,62	5,1
23	На шинах 35 кВ	3,86	9,252	0,39	3,9
	На шинах 10 кВ	6,57	15,8	0,40	3,0
24	На шинах 35 кВ	3,86	9,252	0,44	3,1
	На шинах 10 кВ	7,05	16,9	0,67	3,1
25	На шинах 35 кВ	3,86	9,252	0,37	3,0
	На шинах 10 кВ	5,88	14,1	0,41	5,6
26	На шинах 110 кВ	4,83	11,592	0,59	4,9
	На шинах 10 кВ	4,44	10,6	0,68	5,3

Додаток 1

Продовження таблиці Д1

№ варіанту	Місце КЗ	Струм КЗ $I_{п,0}, \text{кА}$	Ударний струм КЗ $i_y, \text{кА}$	Аперіодична складова струму КЗ, $i_a, \text{кА}$	Термічний імпульс, $B_k, \text{кА}^2\text{с}$
27	На шинах 110 кВ	4,83	11,592	0,70	5,7
	На шинах 10 кВ	7,91	19,0	0,58	6,1
28	На шинах 110 кВ	6,83	16,392	0,40	6,3
	На шинах 10 кВ	4,45	10,7	0,30	5,6
29	На шинах 150 кВ	8,95	21,48	0,45	3,4
	На шинах 10 кВ	4,57	11,0	0,51	4,3
30	На шинах 150 кВ	7,95	19,08	0,61	3,2
	На шинах 10 кВ	6,29	15,1	0,70	6,4

Таблиця Д2. Вихідні дані до завдання

№ варіанту	Трансформатор			Кількість приєднань	
	T_1	T_2	T_3	N_1	N_2
1	ТМН-6300/35	ТМ-16	ТМ-400	7	5
2	ТМН-10000/35	ТМ-25	ТМ-630	10	6
3	ТМН-16000/35	ТМ-40	ТМ-1000	2	5
4	ТМН-25000/35	ТМ-63	ТМ-1600	4	3
5	ТД-6300/35	ТМ-16	ТСЗ-400	9	4
6	ТД-10000/35	ТМ-25	ТСЗ-630	4	3
7	ТДНС-16000/35	ТМ-40	ТСЗ-1000	9	5
8	ТДНС-25000/35	ТМ-63	ТСЗ-1600	5	4
9	ТД-40000/35	ТМ-16	ТМН-400	8	5
10	ТМН-6300/110	ТМ-25	ТМН-630	4	5
11	ТДН-10000/110	ТМ-40	ТМН-1000	5	3
12	ТДН-16000/110	ТМ-63	ТМН-1600	9	3
13	ТДН-25000/110	ТМ-16	ТМС-400	4	5
14	ТДН-40000/110	ТМ-25	ТМС-630	8	3
15	ТДГ-10000/150	ТМ-40	ТМС-1000	5	4
16	ТДН-16000/150	ТМ-63	ТМС-1600	7	4
17	ТМН-6300/35	ТМ-16	ТМ-400	8	3
18	ТМН-10000/35	ТМ-25	ТМ-630	3	5
19	ТМН-16000/35	ТМ-40	ТМ-1000	5	5
20	ТМН-25000/35	ТМ-63	ТМ-1600	6	6
21	ТД-6300/35	ТМ-16	ТМС-400	3	3
22	ТД-10000/35	ТМ-25	ТМС-630	8	6
23	ТДНС-16000/35	ТМ-40	ТМС-1000	4	6
24	ТДНС-25000/35	ТМ-63	ТМС-1600	4	6
25	ТД-40000/35	ТМ-16	ТМЗ-400	9	5
26	ТМН-6300/110	ТМ-25	ТМЗ-630	3	5
27	ТДН-10000/110	ТМ-40	ТМЗ-1000	5	5
28	ТДН-16000/110	ТМ-63	ТМЗ-1600	7	5
29	ТДГ-10000/150	ТМ-16	ТМ-400	8	4
30	ТДН-16000/150	ТМ-25	ТМ-630	9	4

Приклад Д1. Вибрати трансформатори струму для підключення електровимірювальних приладів знижувальної підстанції. Розрахунковий струм навантаження на стороні вищої напруги складає 184 А, на стороні нижчої напруги 1012 А, у колі ліній, що відходять від підстанції, – 173 А. Значення струмів короткого замикання відповідають наведеним в табл. Д1.

Оскільки в даній задачі релейний захист не розглядається, то перевірка трансформаторів за вторинним навантаженням виконується з урахуванням підключення тільки електровимірювальних приладів.

У колі силового трансформатора з боку нижчої напруги встановлюють амперметр, ватметр, варметр, лічильники активної і реактивної енергії; на шинах 110 кВ – вольтметр з перемикачем для виміру міжфазних напруг; на секційних вимикачах 10 кВ – амперметр, лічильники активної і реактивної енергії. Розрахунок вторинних навантажень трансформаторів струму наведений у табл. Д3. Для визначення потужності, що споживають прилади в колі ТС необхідно користуватися таблицею Д7.

Таблиця Д3 – Вторинне навантаження трансформаторів струму

Прилад	Тип	Клас точності	Навантаження кожної фази, ВА		
			А	В	С
Амперметр	Э-335	1,0	0,5	0,5	0,5
Ватметр	Д-350	1,5	0,5	–	0,5
Варметр	Д-345	1,5	0,5	–	0,5
Лічильник активної енергії	СА3У	1,0	2,5	–	2,5
Лічильник реактивної енергії	СР4У	1,5	2,5	–	2,5

Прилад	Тип	Клас точності	Навантаження кожної фази, ВА		
			А	В	С
Сумарне навантаження ТС в колі силового трансформатора з боку НН	—	—	6,5	0,5	6,5
Сумарне навантаження ТС в колі секційного вимикача	—	—	0,5	0,5	0,5
Сумарне навантаження ТС в колі силового трансформатора на стороні ВН	—	—	3,0	0,5	3,0
Сумарне навантаження ТС в колі відхідних ліній	—	—	5,5	0,5	5,5

На рис. Д1 зображено схему з'єднання приладів, в якій передбачена можливість приєднання приладів до ТС, встановлених на вторинній обмотці трансформатора, що допускається, коли ТС на ВН не задовольняє умовам його вибору. В останньому випадку втрати електроенергії у трансформаторі враховуватися не будуть.

Забезпечити роботу лічильників активної енергії з необхідною точністю на стороні ВН спроможні трансформатори струму ТФЗМ–110Б-1–ХЛ1, з номінальним струмом – 200 А, на стороні НН ТЛК–10–3–УЗ, ТПОЛ-10 з номінальним струмом $I_{\text{ном}} = 1500$ А.

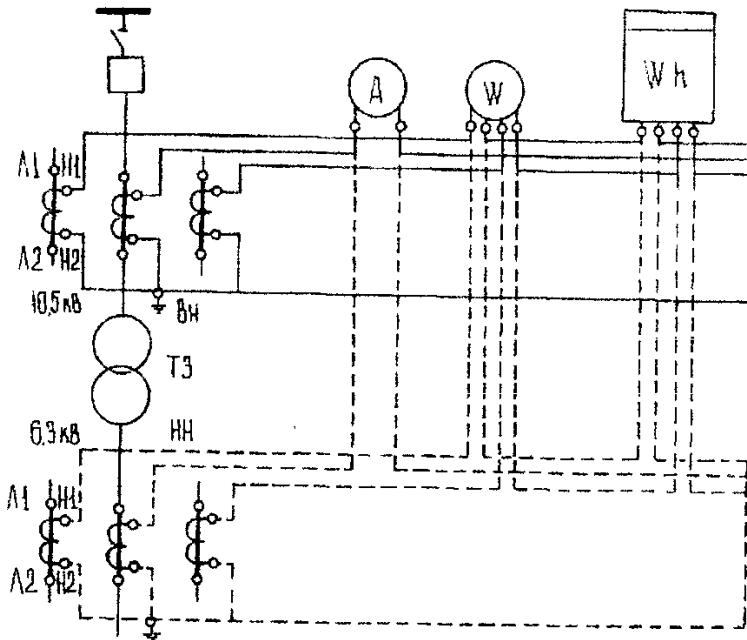


Рис. Д1. Схема підключення приладів до трансформатора струму

За даними табл. Д3 найбільш завантажені трансформатори струму в колі силового трансформатора на стороні НН у фазах А та С - по 6,5 ВА, на стороні ВН у фазах А та С - по 3,0 ВА.

Для перевірки за вторинним навантаженням на стороні ВН визначаємо опір приладів, підключених до даного трансформатора струму:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_2} = \frac{3,0}{5^2} = 0,12 \text{ Ом}$$

При цьому опір проводів може бути:

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

де $Z_{2ном}$ - номінальний опір навантаження, Ом; R_k – опір контактів, Ом,

$$R_{np} = 1,2 - 0,12 - 0,1 = 0,98$$

Переріз проводу, мм²:

$$F_{np} = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{R_{np}} = \frac{0,0283 \cdot 160}{0,98} = 4,6$$

де довжина сполучних кабелів $l_{розр} = 160 м$, $\rho = 0,0283$ - питомий опір алюмінію, Ом×мм²/м.

За умовами механічної міцності переріз з'єднувальних проводів повинен бути не менше 4 мм² (для алюмінію), вибираємо контрольний кабель типу АКВРГ-6.

Тоді, опір проводів, Ом:

$$R_{np.cm} = \frac{\rho \cdot l_{розр}}{F_{np.cm}} = \frac{0,0283 \cdot 160}{6} = 0,75$$

Загальний опір кола струму:

$$Z_2 = Z_{прил} + R_{np.cm} + R_k = 0,12 + 0,75 + 0,1 = 0,97 \text{ Ом} \leq 1,2 \text{ Ом}$$

отже, трансформатор струму буде працюватиме в класі точності 0,5.

Вибір трансформаторів струму наведений у табл.. Д4 – Д6.

Таблиця Д4 – Вибір трансформаторів струму в колі силового трансформатора на стороні вищої напруги

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{ном}$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	184 А	200 А
$i_y \leq i_{дин}$	14,02 кА	41 кА
$B_k \leq I_T^2 \times t_T$	2,89 кА ² с	3 ² ×3=27 кА ² с
$Z_2 \leq Z_{н ном}$	0,97 Ом	1,2 Ом

Трансформатор ТФЗМ–110Б-1–У1 відповідає умовам вибору ТС.

Перевірка трансформаторів струму за вторинним навантаженням на стороні НН за трансформатором T_1 та для приєднань виконується аналогічно. Результати розрахунку приведені в таблицях Д5-Д6.

Таблиця Д5 – Вибір трансформаторів струму в колі силового трансформатора на стороні НН

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	1012 А	1500 А
$i_y \leq i_{дин}$	16,49 кА	52 кА
$B_k \leq I_T^2 \times t_T$	6,36 кА ² с	31,52 × 3 = 2977 кА ² с
$Z_2 \leq Z_{н ном}$	0,4 Ом	0,4 Ом

Приймаємо трансформатор струму ТЛК–10–3–У3 1500/5

Таблиця Д6 – Вибір трансформаторів струму на відхідних лініях

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	173 А	200 А
$i_y \leq i_{дин}$	16,49 кА	52 кА
$B_k \leq I_T^2 \times t_T$	6,36 кА ² с	20 ² × 3 = 400 кА ² с
$Z_2 \leq Z_{н ном}$	0,38 Ом	0,4 Ом

На інших лініях, які відходять від підстанції, також приймаємо трансформатори струму ТЛК–10–3–У3 200/5

У випадку, якщо трансформатори струму на стороні ВН не проходять за умовами динамічної та термічної стійкості. Для живлення лічильників комерційного обліку і вимірювальних приладів вибираються трансформатори струму, які встановлені на стороні нижчої напруги трансформатора (див. рис. 1(б). Робочі струми визначаються за потужністю трансформатора T_1 приведені до сторони НН. Для цього можна користуватися прикладом на рис. Д1, на якому навантаження ТС по фазах на стороні НН виконується пунктирними лініями).

Таблиця Д7. Повна потужність електроенергії, що споживається контрольно-вимірювальними приладами від ТС.

Прилад	Тип приладу	Кількість обмоток	Потужність однієї обмотки, ВА
Амперметр	Э-335	1	0,5
Ватметр	Д-350	2	0,5
Варметр	Д-345	2	0,5
Лічильник активної енергії	Nik 2301	3	0,05
Лічильник реактивної енергії	Nik 2303	3	0,05

Таблиця Д8. Повна потужність електроенергії, що споживається контрольно-вимірювальними приладами від ТН.

Прилад	$\cos\varphi$	Тип приладу	Кількість обмоток	Потужність однієї обмотки, ВА
Вольтметр відображаючий	1	Э-378	1	2,0
Вольтметр реєструючий	1	Н-346	1	10,0
Ватметр відображаючий	1	Д-305	2	2,0
Ватметр реєструючий	1	Н-348	2	10,0
Варметр відображаючий	1	Д-305	2	2,0
Варметр реєструючий	1	Н-348	2	10,0
Лічильник активної енергії	0,2	Nik 2301	2	10
Лічильник реактивної енергії	0,2	Nik 2303	3	10
Частотомір	1	Э-371	1	3,0
Давач активної енергії	1	Е-829	2	5,0
Давач реактивної енергії	1	Е-830	2	5,0

Приклад Д2. Вибрати трансформатор напруги на збірних шинах 10 кВ знижувальної двохтрансформаторної підстанції з трансформаторами типу ТДН-40000/110 на рис. Д2. Від однієї секції збірних шин закритого розподільного пристрою відходить десять кабельних ліній до споживачів, від другої - дев'ять. До секцій збірних шин приєднані трансформатори власних потреб ТМ-63/10.

Згідно а даними табл. Д8, на рис. Д2 показані контрольно-вимірювальні прилади в колах ВН та НН трансформаторів знижувальної підстанції, в приєднаннях кабельних ліній до сторонніх споживачів і в колі трансформаторів власних потреб. Через те що секція I розподільного пристрою 10 кВ має більшу кількість приєднань, а відповідно і контрольно-вимірювальних приладів, то розрахунковим навантаженням для вибору ТН буде навантаження даної секції.

Наявність розрахункових лічильників обумовлює роботу трансформаторів напруги у класі точності 0,5 зі схемою їх з'єднання - неповний трикутник. Для цього можна прийняти трансформатори напруги НОМ-10 відповідно для шаф комплектних розподільних пристроїв внутрішньої установки. У шафах зовнішньої установки рекомендується ТН типів: НАМИ, ЗНОЛ.09, НАМИТ.

Використовуючи дані табл. Д8 щодо споживання контрольно-вимірювальними приладами електроенергії, визначимо сумарне трифазне навантаження від паралельних котушок усіх приладів першої секції збірних шин.

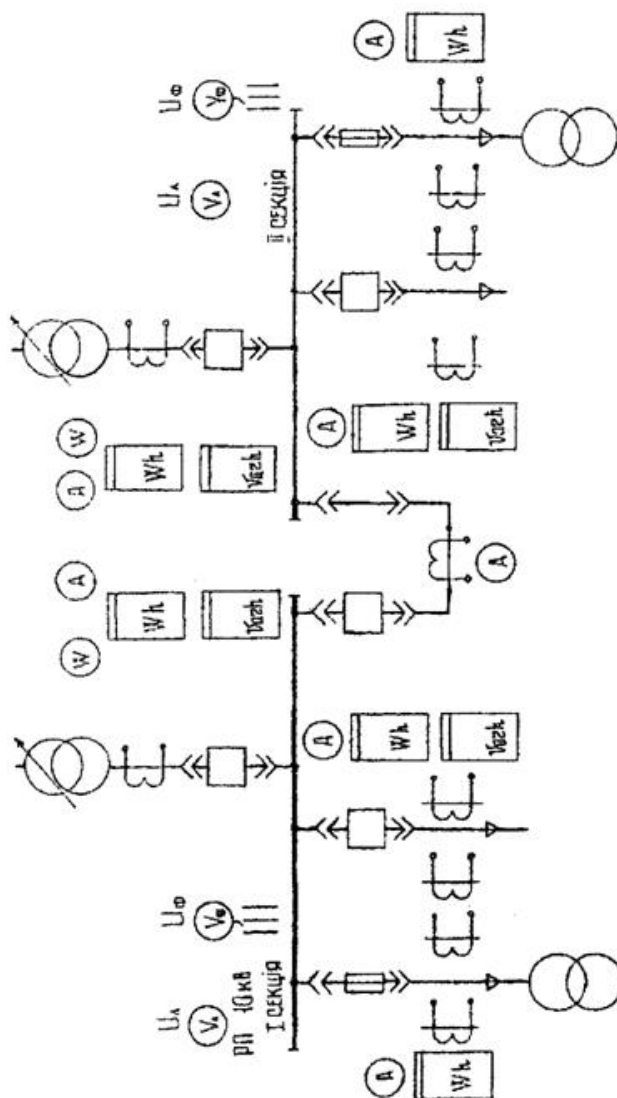


Рис. Д2. Схема розподільного пристрою 10 кВ двотрансформаторної підстанції

Таблиця Д9. Розрахунок навантаження для вибору трансформаторів напруги

Найменування обладнання	Прилад	Тип приладів	$S_{\text{кот}}, \text{ВА}$	$n_{\text{кот}}, \text{шт}$	$\cos\phi$	Число приладів	Загальна потужність	
							$P_{\Sigma}, \text{Вт}$	$Q_{\Sigma}, \text{вар}$
Збірні шини	Вольтметр	Э- 378	2	1	1	1	2	
Приєднання трансформаторів до шин 10 кВ	Ватметр	Д-305	2	2	1	1	1	
	Лічильник активної енергії	САЗУ-И672 М	8	2	0,25	1	4	15,5
	Лічильник реактивної енергії	СР4У-673М	8	2	0,25	1	4	15,5
Лінії 10 кВ	Лічильник активної енергії	САЗУ-И672М	8	2	0,25	10	40	155
	Лічильник реактивної енергії	СР4У-673М	8	2	0,25	10	40	155
Приєднання ТВП	Лічильник активної енергії	САЗУ-И672 М	8	2	0,25	1	4	15,5
Всього							98	356,5

Розрахункове навантаження трансформатора напруги згідно (12) :

$$S_{2\theta} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{98^2 + 356^2} = 369,7 \text{ ВА}$$

Номінальне навантаження ЗНОЛ-06 в у класі точності 0,5 складає по 75 ВА, трифазних трансформаторів НАМИ-10 та НАМИТ-10 - 120 ВА, навантаження групи з 2хНОМ-10 складає 150 ВА. Використання 3хЗНОЛ-06 - 225 ВА не може задовільними потребу

вторинному навантаженні $369,7 > 225$ ВА. Отже для забезпечення вторинного навантаження приймемо дві групи із трансформаторів напруг типу 2хНОМ-10 з номінальним навантаженням 150 ВА:

$$S_{2\text{ТН}} = 150 \times 2 = 300 \text{ ВА.}$$

Решту навантаження $\Delta S_{\text{ТН}} = S_{2p} - S_{2\text{ТН}} = 369,7 - 300 = 69,7$ ВА приєднаємо до ТН 3хЗНОМ-06. Оскільки навантаження $\Delta S_{\text{ТН}} = 69,7$ ВА розподіляється в основному за винятком вольтметра між двома фазами АВ та ВС, :

$$S'_{2p} = \Delta S_{\text{ТН}} / 2 = 69,7 / 2 = 34,85 \text{ ВА} < 75 \text{ ВА} = S_{2\text{ТН}}.$$

Номінальне навантаження одного ЗНОМ-06 ($S_{2\text{ТН}} = 75$ ВА) значно більше і тому він має резерв і працюватиме у класі точності 0,5.

Відповідно отриманих результатів встановлюємо на кожній секції збірних шин розподільного пристрою 10 кВ одну шафу з двома групами трансформаторів напруги 2хНОМ-10 - 10ХЛЗ та одну шафу з ТН 3хЗНОЛ-06 - 10УЗ.

Для з'єднання трансформаторів напруг з приладами приймаємо контрольний кабель АКРВГ з перерізом жил $2,5 \text{ мм}^2$ за умовою механічної стійкості.

Трансформатори напруги НОМ-10 з'єднуються за схемою неповного трикутника і застосовуються для до них приєднання лічильників, а ЗНОЛ-06 з'єднується за схемою зірка - зірка - розімкнений трикутник, який застосовуються для контролю стану ізоляції.

Таблица 31.9. Трансформаторы тока для внутренней установки

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А, в классе точности				Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость		Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1		3	кратность	I _{дин.} , кА	кратность/допустимое время, отн. ед/с	допустимый ток/допустимое время, кА/с	
							1	15						
ТВЛМ-6-1	6	10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400	5	—	—	—	1	15	—	—	—	3,5; 7; 10,6; 17,6; 26,6; 35,2; 52; 52; 52	0,64; 1,32; 1,96; 3,6; 4,9; 6,9; 9,7; 13,8; 17,5; 20,5	5,3
	10	20; 30; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500	5	—	—	—	—	15; 10	—	—	—	7; 10,6; 17,6; 35,2; 52; 52; 52	0,94/4; 1,45/4; 2,45/4; 4,85/4; 6,25/4; 8,75/4; 12,5/4; 15/4	20; 20,5
ТОЛК-6,05	6	20; 30; 40; 50; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 500	5	—	—	—	1	30	—	—	—	7; 10,5; 14; 17,6; 25; 25; 25	0,66/4; 0,98/4; 1,4/4; 1,8/4	11
ТЛМ-6УТ3	6	300; 400	5	1/Р	1	—	10/15	—	—	—	125	—	25/4	27
	6	600; 800	5	0,5/Р	0,5	—	10/15	—	—	—	125	—	25/4	27
	6	1000; 1500	5	0,5/Р	0,5	—	10/15	—	—	—	125	—	25/4	27
ТПЛК-10	10	10; 15; 30; 50	5	—	—	—	—	—	—	—	2,47; 3,7; 7,4	—	0,45/4; 0,675/4; 1,35/4	47
	10	100—400	5	0,5/10Р; 10Р/10Р	0,5	—	10	—	—	—	74,5	—	2,25/4; 14,5/4	—
	10	600; 800	5	—	—	—	15	—	—	—	14,8	—	19/4	—
10	10	1500	5	—	—	—	—	—	—	—	74,5	—	27/4	—
ТЛМ-10-1 ТЛМ-10-2	10	50	5	—	10Р	—	10	—	—	—	17,6	—	2,8(3)	—
	10	100	5	—	—	—	—	—	—	—	35,2	—	6,3(3)	—
	10	150	5	—	—	—	—	—	—	—	52	—	7,2(3)	—
	10	200	5	0,5/10Р; 10Р/10Р	0,5	—	10	—	—	—	52,0	—	10,1(3)	—
	10	300; 400	5	—	0,5-10Р	—	15	—	—	—	100,0	—	18,4(3)	—

Таблица 31.9. Трансформаторы тока для внутренней установки

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость			Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	I _{дин} , кА	кратность/допустимое время, отн. ед/с	допустимый ток/допустимое время, кА/с		
ТЛ-10УЗ; ТЛ-10ТЗ	10	600; 800	5		0,5-10P	-			-	-			23,3(3)	-
	10	1000; 1500	5								100,0		26,3(3)	-
	10	50	5								51		2,5/4	-
	10	100	5								51		5,0/4	-
	10	150	5								51		7,5/4	-
	10	200	5	0,5/P	- 0,5 P	10	-	15			51		10,0/4	-
	10	300	5								51		15,0/4	-
	10	400	5								51		20,0/4	-
	10	600; 800	5								81		31,5/4	-
	10	1000	5	0,5/P	0,5 P	2,0	-	30	-	-	81		31,5	-
	10	1500	5											-
	10	2000	5	0,5/P	P	-	30	-	-	-	81		31,5/4	-
ТЛ-10УЗ; ТЛ-10ТЗ	10	2000	2,5	P/P	P	-	-	15	-	-	81		31,5/4	-
	10	3000	5	0,5/0,5	0,5 P	14	-	-	-	-	81		31,5/4	-
	10	3000	2,5	P/P	P			15	-	-	81		31,5/4	-
	10	50;	5	-	0,5	10	-	-	-	-	25		8/1	20
	10	75; 100	5	-	10P	10	-	-	-	-	52		20/1	-
	10	150; 200	5								52		31,5/1	16,5
ТПК-10	10	300; 400	5								81		31,5/3	-
	10	600; 800	5										-	-
	10	1000; 1500	5										-	-
	10	600; 800	5	10P; 10P/10P; 0,5/10P	0,5	10	-	-	-	81; 81		32(3)	-	18
	10	1000; 1500	5		10P	0,6	-	-	-	69		27(3)	-	-
	10		5		0,5/10P	1,5	-	-	-	45		15(3)	-	-
ТПОЛ-10УЗ	10	600	5	10P; 10P/10P	0,5	10	-	-	-	81		32(3)	-	18
	10	800	5	10P; 10P/10P	10P			-	-	81		32(3)	-	-
	10	1000	5	0,5/10P		0,6	-	-	-	69		27(3)	-	-
	10	1500	5			1,5	-	-	-	45		18(3)	-	-
	10	400; 600; 800	5	0,5/P; P/P	0,5 P	1,5	-	-	-	160		65/1	-	-
	10	1000; 1500	5			1,5	-	-	-	155		65/1	-	-
ТПОЛМ-10*	10	400; 600	5	0,5/P; P/P	0,5 P	15	-	-	-	160		65/1	-	-
	10	800	5			15	-	-	-	155		65/1	-	-
	10	1000; 1500	5			15	-	-	-	155		65/1	-	-
	10	400; 600	5	0,5/P; P/P	0,5 P	15	-	-	-	160		65/1	-	-
	10	800	5			15	-	-	-	155		65/1	-	-
	10	1000; 1500	5			15	-	-	-	155		65/1	-	-

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость		Масса, кг	
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	I _{дин} , кА	кратность/допустимое время, отн. ед./с	допустимый ток/допустимое время, кА/с		
ТПШЛ-10У3	10	4000	5	10Р; 0,5/10Р	0,5	—	—	—	20	—	35/3	—	43	
	10	5000		Р/10Р	10Р	—	—	—	30	—	—	—	—	
ТПШЛ-10Т3	10	4000; 5000	5	10Р; 0,5/10Р; Р/10Р	0,5	—	—	—	20	—	35(3)	—	43	
				Р/10Р	10Р	—	—	—	30	—	—	—	—	
ТОЛ-10У3 ТОЛ-10Т3	10	50	5	И/Р	0,5 3	10	—	15	—	17,6	—	—	2,45/4	25
	10	100	5						—	52	—	—	4,85/4	25
	10	150	5						—	52	—	—	6,25/4	25
	10	200	5						—	52	—	—	8,75/4	25
	10	300; 400	5						—	100	—	—	16/4	25
	10	600; 800	5						—	100	—	—	20/4	25
	10	1000; 1500	5						—	100	—	—	31,5/4	25
	10	1000; 1500	5						—	100	—	—	31,5/4	25
ТШЛП-10УТ3	10; 11	1000; 200	5	Р/Р	3	—	—	—	—	—	—	—	—	
	10; 11	1000; 200	5	0,5/Р; Р/Р	0,5 Р	20 30	— —	— —	35/4 35/4	— —	— —	— —	— —	
ТШЛК-10УТ3	10; 11	2000; 3000	5	0,5/Р; Р/Р	0,5 Р	20 30	— —	— —	— —	35/4 35/4	— —	— —	— —	— —
	10; 11	4000; 5000	5											
ТШЛ-6Т*	6	8000	5	0,5/Р	0,5	1,2	—	—	—	—	—	20/4	—	—
ТПЛ-10У3	10	5—200	5	10Р; 0,5/10Р; 10Р/10Р	0,5 10Р	10 15	—	—	—	—	250	34/3	10	
	10	300	5						—	—	175	34/3	16	
	10	400	5						—	—	165	34/3		
ТПЛУ-10У3	10	10—100	5	10Р; 0,5/10Р; 10Р/10Р	0,5 10Р	10 15	—	—	—	—	250	34/3	10 16	
ТПЛ-10Т3	10	50—200	5	10Р; 0,5/10Р; 10Р/10Р	0,5; 10Р	10 15	—	—	—	—	250	34/3	10	
	10	300	5						—	—	175	—	16	
	10	400	5						—	—	165	—	—	
ТПЛУ-10Т3	10	50—100	5	10Р; 0,5/10Р; 10Р/10Р	0,5; 10Р	10; 15	—	—	—	250	34/3	10; 16		

Таблица 31.10. Трансформаторы тока для наружной установки

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А/Ом, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость		Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	$I_{дин}$, кА	кратность допускаемого тока отн. ед/с	допустимый ток/ допустимое время, кА/с	
ТКЛН-10	10	10-200	5	0,5/Р; Р/Р	0,5 Р	—/0,4	—	—	100	—	50/1	—	20 20
	33; 35 33; 35	100—400 600; 1200	5	Р/Р/0,5	0,5 Р	30/1,2 30/1,2	60/2,4 60/2,4	—	—	14, 21 28 42; 56; 84; 169	—	4/4; 6/4 8/4; 12/4 16/4; 24/4 48/4	420 420
ТФН-35М (ТФЗМ-35А-У1; ТФЗМ-35А-ХЛП)	35	15—800 1000	5	0,5/Р	0,5 Р	—/2 —/0,8	—/4 —/4	—	150 100	—	65/1 65/1	—	—
	35 35 35	15—600 800; 1000 1000; 2000	5	0,5/Р/Р	0,5 Р	—/1,2 —/1,2	—/2,4 —/2,4	—	150 100 50	—	65/4 32; 5/4 32; 5/4	—	— — —
ТФЗМ-35А-ХЛП	35	15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000	5	0,5 10Р	0,5 10Р	50 20	—	—	—	—	—	—	200 —
ТФЗМ-35М-У1	35	15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600	5	—	0,5 10Р	50 20	100	—	—	3; 4; 6; 8; 10; 15; 21; 31; 42; 63; 84; 127	—	0,6/3; 0,7/3; 1,1/3; 1,5/3; 1,9/3; 2,3/3; 3,5/3; 5,8/3; 7,3; 11,6/3; 15/3; 22/3	240
ТФЗМ-35Б-IV1	35	15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150;	5	—	0,5 10Р	30 30	60	—	—	3; 4; 6; 8; 10; 15; 21; 31; 42; 63;	—	0,7/3; 1/3; 1,5/3; 2,1/3; 2,3/3; 3,5/3;	420

Таблица 31.10. Трансформаторы тока для наружной установки

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение второй обмотки	Номинальная нагрузка, В·А/Ом, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость		Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	I _{дин.} , кА	кратность допустимого времени отн. ед/с	допустимый ток/допустимая температура, кА/°C	
ТОЭМ-35Б-IIУ-I	35	200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000		—	0,5 10P	30 50	— —	— —	125 125 145 145 125 145 145	— — — — — — —	3; 4; 6; 8; 10; 15; 21; 31; 42; 63; 84; 127; 105/3; 15/3; 107; 134; 106; 141	0,7/3; 1/3; 1,5/3; 2,1/3; 2,3/3; 3,5/3; 4,7/3; 7/3; 10,5/3; 15/3; 21,3; 31/3; 31/3; 37/3; 41/3	420
ТОЭМ-33А-TI	33	100; 150; 200; 300; 400; 600; 1200		—	0,5 10P	30 20	60 —	— —	14; 21; 7; 28; 42; 56; 84; 169	—	4,6/3; 7/3; 9/3; 14/3; 18/3; 28/3; 56/3	420	
ТОЭМ-66В-TI	66	200—400 600—1200		—	0,5 10P	30 30	— —	— —	24—48 48—96	—	9/3—18/3 18/3—36/3	830 830	
ТОФР-35 (ТОЭМ-35Б-IIУ-I)	35	500; 1000; 2000; 3200; 35 1000; 35 2000; 3200	0,5 P/P 0,5 P/P	0,5 P	—/1,2 —/2 30/— 50/—	— — — —	— — — —	125 145 125 145	49/4 57/4 49/4 57/4	— — — —	— — — —		
ТОФН-66СТ	66	200—400	P/P/0,5	0,5 P	—/1,2 —/1,2	— —	— —	120	—	50/3	—	—	
ТОФНУ-66СТ	66	200—400 600—1200	P/P/0,5	0,5 P	—/1,2 —/1,2	— —	— —	— —	24—48 48—96	—	9,4—18,8/4 —	— —	
ТОФНД-L-110М (ТОЭМ-110Б-Y/I)	110	50—600 400—800	0,5 P/P 0,5 P/P	0,5 P	—/1,2 —/1,2	— —	— —	150 110	— —	43,3/3 34,6/3	— —	— —	
ТОФНД-L-110М-X/L	110	50—600 110 400—800	0,5 P/P 0,5 P/P	0,5 P	—/1,2 —/1,2	— —	— —	150 110	— —	43,3/3 34,6/3	— —	— —	
ТОФНД-L-110М-II	110	750—1500 1000—2000	0,5 P/P 0,5 P/P	0,5 P	—/0,8 —/0,8	— —	— —	75 75	— —	60/1 60/1	— —	— —	

Продолжение табл. 31.10

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А		Варианты исполнения вторичных обмоток	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка, В·А/Ом, в классе точности			Электродинамическая стойкость		Термическая стойкость			Масса, кг
		первичный	вторичный			0,5	1	3	кратность	$I_{дин}$, кА	кратность, отн. ед/с	допустимая продолжительность, мин	допустимый ток/допустимое время, кА/с	
ТФЗМ-110Б-ПУ1	110	750—1500	1	0,5/Р/Р	0,5	20/—	—	—	75	—	60/1	—	—	—
	110	1000—2000	1	—	0	20/—	—	—	75	—	60/1	—	—	—
ТФНД-110М-П-ХЛ	110	750—1500	5	0,5/Р/Р	0,5	—/0,8	2,0/—	—	75	—	34,6/3	—	—	—
	110	1000—2000	5	—	Р	—/0,8	2,0/—	—	75	—	34,6/3	—	—	—
	110	750—1500	1	0,5/Р/Р	0,5	20/—	50	—	75	—	34,6/3	—	—	—
	110	1000—2000	1	—	Р	20/—	50	—	75	—	34,6/3	—	—	—
ТФЗМ-110Б-1У1	110	50—100	5	—	0,5	30	100	—	—	10—20	—	—	2/3—4/3	540
	110	75—150	5	—	10Р	30	—	—	—	15—30	—	—	3/3—6/3	540
	110	100—200	5	—	—	—	—	—	—	21—42	—	—	4/3—8/3	540
	110	150—300	5	—	—	—	—	—	—	31—62	—	—	6/3—12/3	540
	110	200—400	5	—	—	—	—	—	—	42—84	—	—	8/3—16/3	540
	110	300—600	5	—	—	—	—	—	—	63—126	—	—	13/3—26/3	540
ТФЗМ-100Б-ПУ1	110	400—800	5	—	—	—	—	—	—	62—124	—	—	14/3—28/3	540
	110	750—1500	5	—	0,5	20/—	—	—	—	79—158	—	—	26/3—52/3	1120
	110	1000—2000	—	—	10Р	20/—	—	—	—	106—212	—	—	34/3—68/3	—
	110	750—1500	1	—	0,5	20/—	—	—	—	79—158	—	—	26/3—52/3	1120
ТФНУ-132СТ	132	1000—1200	—	—	10Р	20/—	—	—	—	106—212	—	—	34/3—68/3	—
	132	200—400	5	—	0,5	30/—	—	—	—	49—90	—	—	11—22	1645
	132	300—600	5	0,5/Р/Р	Р	30/—	—	—	—	49—90	—	—	17—34	1645
	132	500—1000	5	—	—	30/—	—	—	—	49—90	—	—	17—34	1645
	132	600—1200	5	—	—	30/—	—	—	—	49—90	—	—	17—34	1645
	132	750—1500	5	—	0,5	30/—	—	—	—	49—90	—	—	17—34	1645
	132	200—400	1	—	Р	30/—	—	—	—	49—90	—	—	11—22	1645
	132	200—400	1	—	—	30/—	—	—	—	49—90	—	—	17—34	1645
	132	200—400	1	—	—	30/—	—	—	—	49—90	—	—	17—34	1645
	132	200—400	1	—	—	30/—	—	—	—	49—90	—	—	17—34	1645
ТФНД-150-1	150	600—1200	5	0,5/Р/Р/Р	0,5	—/1,6	—	—	—	62	24,6/3	—	—	—

Таблица 31.13. Характеристики трансформаторов напряжения

Тип	Напря- жение, кВ	Номинальное напряжение обмотки, В			Номинальная мощность В·А, в классе тонности				Номинальная мощность дополни- тельной вторичной обмотки	Предель- ная мощность В·А	Группа соединения	Мас- са, кг
		первичной	основной вторичной	дополнительной вторичной	0,2	0,5	1	3				
НОС-0,5-У4	0,5	380 500	100	—	—	25	50	100	—	200	1/1-0	9
НОСК-3-У5	3	3000	100	—	—	25	50	100	—	200	1/1-0	14
НОСК-6-66-У5(Т5)	6	6000	127—100	—	—	30	50	150	—	240	1/1-0	13
НОМ-6-У4(Т4)	6	3000	100	—	—	50	75	200	—	400	1/1-0	24
НОМЭ-6-У2(Т2)	6	6000	100	—	—	30	50	150	—	240	1/1-0	22
НОМ-10-66-У2(Т2)	10	10000	100	—	—	50	75	200	—	400	1/1-0	24
НОМ-15-У4(Т4)	15	13800	100	—	—	50	75	200	—	400	1/1-0	35
		15750	100	—	—	75	150	300	—	630	—	23
		18000	100	—	—	75	150	300	—	640	1/1-0	23
НОМ-35-66У1(Т1)	35	35000	100	—	—	75	150	300	—	640	1/1-0	23
ЗНОМ-15-63У2(Т2)	15	6000: $\sqrt{3}$ 10000: $\sqrt{3}$ 13800: $\sqrt{3}$ 15750: $\sqrt{3}$	100: $\sqrt{3}/100: 3$ 100: $\sqrt{3}/100: 3$ 100: $\sqrt{3}/100: 3$ 100: $\sqrt{3}/100: 3$	—	—	150	250	600	—	1200	1/1-0	86
ЗНОМ-20-63У2(Т2)	20	18000: $\sqrt{3}$ 20000: $\sqrt{3}$ 24000: $\sqrt{3}$	100: $\sqrt{3}/100: 3$ 100: $\sqrt{3}/100: 3$ 100: $\sqrt{3}/100: 3$	—	—	50	75	200	—	400	1/1/1-0-0	64
ЗНОМ-24-69У1	24	24000: $\sqrt{3}$	100: $\sqrt{3}/100: 3$	—	—	75	150	300	—	640	1/1/1-0-0	63
ЗНОМ-35-65У1	35	35000: $\sqrt{3}$	100: $\sqrt{3}/100: 3$	—	—	75	150	300	—	640	1/1/1-0-0	63
ЗНОМ-35-65У1(Т1)	35	3000: $\sqrt{3}$ 3300: $\sqrt{3}$ 6000: $\sqrt{3}$ 6300: $\sqrt{3}$ 6600: $\sqrt{3}$ 6900: $\sqrt{3}$	100: $\sqrt{3}/100: 3$ 100: $\sqrt{3}/100: 3$ 100: $\sqrt{3}/100: 3$ 100: $\sqrt{3}/100: 3$ 100: $\sqrt{3}/100: 3$ 100: $\sqrt{3}/100: 3$	—	—	75	150	300	—	640	1/1/1-0-0	85
ЗНОЛ-06-6У3(Т3)	6	100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$	127-100 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$	—	—	150	250	600	—	980	1/1/1-0-0	108
		100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$	100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$	100/3 или 100 100/3 или 100 100/3 или 100 100/3 или 100 100/3 или 100 100/3 или 100	15	30	50	150	—	250	—	26,5
		100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$	100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$ 100: $\sqrt{3}$	100/3 или 100 100/3 или 100 100/3 или 100 100/3 или 100 100/3 или 100 100/3 или 100	30	50	75	200	—	400	—	26,5

Таблица 31.13. Характеристики трансформаторов напряжения

Тип	Напря- жение, кВ	Номинальное напряжение обмотки, В				Номинальная мощность В·А, в классе точности				Номинальная мощность дополни- тельной вторичной обмотки	Предел- ная мощ- ность В·А, В·А	Группа соединения	Мас- са, кг
		первичной	основной вторичной	дополнительной вторичной	точности								
					0,2	0,5	1	3					
ЗНОЛ.06-20УЗ(ТЗ)	20	18 000/√3 20 000/√3	100/√3	100/3 или 100	50	75	150	300	300	630	—	32,5	
	24	24 000/√3	100/√3	100/3 или 100	50	75	150	300	300	630	—	40,5	
	6	3000/√3 3300/√3 6000/√3	100/√3	100/3 или 100	15	30	50	150	150	250	—	28,5	
ЗНОЛ.09-6.02		6300/√3 6600/√3 6900/√3	100/√3	100/3 или 100	30	50	75	200	200	400	—	28,5	
	10	10 000/√3 11 000/√3	100/√3	100/3 или 100	50	175	150	300	300	630	—	31,5	
	6	6000 6000 6300; 6600 6900; 10 000; 11 000	100—127 100; 100; 100 или 110 100; 100; 100 или 110	— — — 100 : 3 —	— 30 50 75	— 250 200	—	—	—	— 400 —	1/1-0 1/1-0	— 28,5	
НОЛ.08-10УТ2	10	10 000 10 000 13 800; 15 750; 18 000	100 100 100/100 : 3 или 110	100 : 3 —	— 120 200 200 200	500 500 500	—	—	—	960 960	У _м /Y _н -0 300	81 94	
НТМИ-10-66УЗ НТМИ-18*	110	110 000 : √3 110 000 : √3 66 000 : √3 66 000 : √3 132 000 : √3 200 000 : √3	100 : √3/100 100 : √3/100 : 3 100 : √3/100 : 3 100 : √3/100 : 3 100 : √3/100 : 3 100 : √3/100 : 3	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	
	110	110 000 : √3 110 000 : √3 66 000 : √3 66 000 : √3 132 000 : √3 200 000 : √3	100 : √3/100 100 : √3/100 : 3 100 : √3/100 : 3 100 : √3/100 : 3 100 : √3/100 : 3 100 : √3/100 : 3	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — —	
	66	66 000 : √3 66 000 : √3 132 000 : √3 200 000 : √3	100 : √3/100 100 : √3/100 : 3 100 : √3/100 : 3 100 : √3/100 : 3	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —
НДФ-132-73Т1 НДФ-220-65Т1	132	132 000 : √3 200 000 : √3	100 : √3/100 100 : √3/100	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	
	220	200 000 : √3	100 : √3/100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	220	200 000 : √3	100 : √3/100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Список літератури

1. ІЕС 60044-1:2008 Вимірювальні трансформатори. Частина 1. Трансформатори струму.
2. ДСТУ ІЕС 61038:2002 Вимірювання електричні. Тарифікація і контроль навантаження. Особливі вимоги до реле часу.
3. ДСТУ ІЕС 60687:2004 Лічильники активної електроенергії змінного струму. Класи точності 0,2S та 0,5S
4. Методичні вказівки для виконання курсового проекту для напрямку 6.050701 „Електротехніка та електротехнології” зі спеціальностей 7.000008 „Енергетичний менеджмент”, 7.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання”/Плешков П.Г., Савеленко І.В., Котиш А.І.- Кіровоград: КНТУ, 2009 – 112 с.