

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Власюк Юрій Анатолійович

УДК 621.311.1

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ВИБІР СИЛОВИХ ТА
ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ДЛЯ ЗАКРИТОЇ
ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІ 110(10-10) КВ**

(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

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

Власюк Ю.А.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Денисюк Анатолій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Власюк Ю.А. Розрахунок електричних навантажень вибір силових та вимірювальних трансформаторів для закритої трансформаторної підстанції 110(10-10)кВ. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

У роботі розглянуті класифікація підстанцій та їх призначення, переваги закритої трансформаторної підстанції 110/10-10 кВ. Проведені розрахунки електричних навантажень та вибір силових та вимірювальних трансформаторів для закритої трансформаторної підстанції.

Ключові слова: трансформаторна підстанція закритого типу, силові та вимірювальні трансформатори, лінія електропередачі, заземлена нейтраль, аварійний режим.

ABSTRACT

Vlasyuk Yu. A. Calculation of electrical loads, selection of power and measuring transformers for a closed transformer substation of 110(10-10) kV. Qualifying work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The work considers the classification of substations and their purpose, the advantages of the closed transformer substation 110/10-10 kV. Calculations of electrical loads and selection of power and measuring transformers for a closed transformer substation were carried out.

Keywords: closed-type transformer substation, power and measuring transformers, power transmission line, grounded neutral, emergency mode.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	7
1.1 Класифікація підстанцій та їх призначення	7
1.2 Переваги закритої трансформаторної підстанції 110/10-10 кВ	8
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	13
3. ВИБІР ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	20
3.1. Вибір трансформаторів струму	21
3.1.1 Вибір трансформаторів струму на боці ВН	21
3.1.2 Вибір трансформаторів струму на стороні ПН	24
3.2. Вибір трансформаторів напруги	25
3.2.1 Вибір трансформаторів напруги на боці ВН	25
3.2.2 Вибір трансформаторів напруги на стороні ПН	26
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	29

ВСТУП

Електроенергетика України - на цей час це є проблемна галузь економіки, промисловості, сільського господарства країни. Всі ці проблеми створює війна, яку нав'язала нам РФ.

Зрозуміло, що загальна електрична та енергетична озброєність визначають продуктивність праці країни та її розвиток, оскільки енергетика – це одна з основних складових діяльності людини. Електроенергетика має бути конкурентоспроможною, цей параметр впливає на рівень розвитку будь-якої держави, і Україна не є винятком. Адже в Україні, як і в багатьох інших європейських державах, енергоємні галузі займають дуже значну частку в українській економіці.

На жаль, на сьогоднішній день Україна не може похвалитися хорошими показниками. Обсяг виробництва електричної енергії в нашій країні значно погіршився так, як на території нашої країни йде повномасштабна війна проти російських загарбників.

Кожна людина споживає п-е кількість електрики. Але якщо говорити про великі промислові масштаби України, то можемо побачити список таких споживачів електроенергії (відсотки споживання):

Структура споживання електроенергії в Україні за основними групами споживачів:

Промисловість – 41,7%

Населення – 30,9%

Комунально-побутове господарство – 12,0%

Транспорт – 4,9%

Сільське господарство – 2,9%

Будівництво – 0,8%

Інші непромислові споживачі – 6,8% [1]

Структура споживання електричної енергії постійно змінюється, у різних регіонах може бути різною. Але розрахунки фахівців говорять нам про такі цифри за останні роки.

В даний час загальний стан електроенергетичної галузі говорить про дефіцит генеруючих компаній, про нестачу у розвитку електричних мереж та малу кількість електричних станцій та підстанцій.

Електричні підстанції призначені для прийому електроенергії, її перетворення та вже наступного розподілу до споживачів.

Для того щоб зменшити втрати потужності та електричної енергії підстанції, а саме головні розподільчі пункти (ГРП), необхідно встановлювати в безпосередній близькості від споживачів. У підстанцію надходить висока напруга (зазвичай 6-35 кВ) і знижується до необхідних значень для споживача (6(10) або 0,4 кВ).

До складу підстанцій входять, як правило:

- Силові трансформатори;
- Пристрої введення з боку ВН (УВН);
- Відкриті та закриті розподільні пристрої з боку ПН (ГРП та ЗРУ ПН);
- Системи живлення власних потреб підстанції;
- Системи релейного захисту та автоматики (РЗіА);
- Системи заземлення та блискавкозахисту;
- Побутові приміщення, складські приміщення;
- Сполучні пристрої з боку ВН та ПН (СУВН та СУНН, відповідно);
- Допоміжні системи (системи освітлення, пожежогасіння, кондиціонування, обігріву, вентиляції тощо);
- Автоматичне введення резерву (АВР).

Трансформаторні підстанції за місцем розташування обладнання поділяють на 2 категорії:

- відкриті – розташування на відкритій території;
- закриті – знаходяться у закритому приміщенні.

Будівництво трансформаторних підстанцій, а особливо підстанцій закритого типу визначає **актуальність** теми кваліфікаційної роботи.

Відповідно до вище сказаного метою кваліфікаційної роботи являється розрахунок та вибір складових трансформаторної підстанції.

Об'єктом дослідження трансформаторна підстанція закритого типу а також пристрої, що використовуються в системах контролю режимів роботи.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Власюк Ю.А.. ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ НА БОЦІ ВН ДЛЯ ЗАКРИТОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ 110/10-10 КВ

Збірник тез науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ» 20 березня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 128-131.

Гурський Р.Ц., Власюк Ю.А., ВИБІР ЛІНІЇ ЖИВЛЕННЯ ЛЕП 110 КВ ДЛЯ ЗАКРИТОЇ ТРАНСФОРМАТОНОЇ ПІДСТАЦІЇ 110(10-10) КВ

Збірник тез науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ» 20 березня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 124-127.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Класифікація підстанцій та їх призначення

Електрична підстанція - електроустановка, призначена для прийому, перетворення та розподілу електричної енергії, що складається з трансформаторів або інших перетворювачів електричної енергії, пристроїв керування, розподільних та допоміжних пристроїв [2].

Підстанції можна розділити на підвищуючі та знижувальні. У першому випадку підвищується електрична напруга (вихідна) за рахунок зниження відповідного значення сили струму, у другому ж, відповідно, електрична напруга (вихідна) зменшується зі збільшенням значення сили струму.

За своїм функціональним призначенням підстанції поділяються на:

- Трансформаторні підстанції – підстанції, які призначені для перетворення електроенергії однієї напруги на електроенергію іншої напруги, що використовують для цього трансформатори;
- Перетворювальні підстанції – підстанції, які призначені для перетворення роду струму чи його частоти.

Електричний розподільний пристрій, який не входить до складу підстанції, називається розподільчим пунктом (РП).

За своїм значенням у системі електропостачання підстанції поділяються на:

- Головні низькі підстанції (ГПП) - підстанції, які розраховані на вхідну напругу від 35 до 220 кВ, одержувані живлення безпосередньо від районної електричної мережі (РЕМ), та розподіляють електроенергію по підприємству, але вже за сильно зниженої напруги;
- Підстанції глибокого введення (ПГВ) - підстанції, що живляться напругою від 35 до 220 кВ (ними подається), зазвичай вони виконуються із застосуванням спрощених схем комутації за первинної напруги, і отримують харчування або від енергосистеми безпосередньо, або від ЦРП (центрального розподільчого пункту) цьому ж підприємстві. Тобто ПГВ живлять певні групи установок чи конкретний об'єкт підприємства;

- Тягові підстанції для потреб електричного транспорту – підстанції, призначені для перетворення (зниження напруги та випрямлення струму, якщо це необхідно) та розподілення електроенергії по контактній мережі з метою електропостачання трамваїв, тролейбусів та ін.;
- Комплектні трансформаторні підстанції 10(6)/0,4 кВ (КТП) - підстанції, що складаються з трансформаторів та блоків КРУ або КРУН, які поставляються у зібраному або повністю підготовленому для збирання вигляді. КТП 10(6)/0,4 кВ називають цеховими підстанціями в промислових мережах, міськими - в міських мережах.

За місцем та способом приєднання підстанції поділяються на:

- Тупикові – ті, що живляться електричною енергією по одній або декільком радіальним лініям;
- Відгалужені – приєднуються до однієї або двох ліній, що проходять на відгалуження;
- Прохідні – приєднання до мережі шляхом заходу однієї лінії з двостороннім харчуванням;
- Вузлові – підстанції з більш ніж двома приєднаними лініями мережі живлення, які, у свою чергу, приходять від двох або більше електричних установок.

За місцем розміщення підстанції поділяють на:

- Відкриті – обладнання підстанції розташоване на свіжому повітрі;
- Закриті – обладнання підстанції розташоване у будівлі на території самої підстанції.

1.2 Переваги закритої трансформаторної підстанції 110/10-10 кВ

Вагомі переваги цієї закритої трансформаторної підстанції:

- Застосування як силові трансформатори - трансформатори з розщепленою обмоткою нижчої напруги. Трансформатори з розщепленими обмотками - трансформатори, що мають розділені на

дві або більше гальванічне не пов'язаних частин. Загальна номінальна потужність трансформаторів з розщепленою обмоткою дорівнює номінальній потужності трансформатора такої ж потужності, а напруги та струми короткого замикання щодо іншої обмотки практично рівні, тому ці частини допускають незалежне навантаження або живлення. Такі обмотки, зазвичай обмотки низької напруги, називаються розщепленими. При короткому замиканні ланцюга однієї з частин розщепленої обмотки в інших обмотках трансформатора виникають струми і напруги суттєво менші, ніж у такому ж трансформаторі з нерозщепленою обмоткою низької напруги. Тобто застосування таких трансформаторів дозволяє збільшити кількість ліній (секцій), що підключаються, і значно знизити значення струмів короткого замикання в порівнянні зі звичайними трансформаторами без розщеплення обмоток.

— Компактність проекрованої підстанції. Проблемою сучасних міст є щільність міської забудови (багатоповерхові будинки, підприємства та інші види споруд). Проектована трансформаторна підстанція із зразковими розмірами 36x40 метрів буде відмінним вирішенням наявної проблеми.

— Вибір сучасної захисної та комутаційної апаратури:

- 1) Елегазові вимикачі. Це один із видів високовольтного вимикача, є комутаційним апаратом, який використовує електричний газ (елегаз SF₆, шестифтористу сірку), як середовище гасіння електричної дуги, через що і отримав таку назву. Елегазові вимикачі призначені для оперативних включень та відключень окремих електричних обладнання або частин ланцюга в енергетичній системі в будь-яких режимах (чи в нормальних або в аварійних режимах), управління може бути ручним, дистанційним, автоматичним.[3]

Переваги элегазових вимикачів:

— Чудові ізоляційні якості;

- Фізичні та хімічні властивості елегазу SF₆: він не займається, газ не вибухонебезпечний;
 - Застосовується на всіх класах напруги понад 1 кВ;
 - Безшумна робота;
 - Герметична конструкція, яка не забруднює довкілля: немає вихлопів в атмосферу. Завдяки такій конструкції сам елегаз не забруднюється пилом, вологою;
 - Надійне відключення індуктивних та ємнісних струмів. Гасіння дуги відбувається при природному нульовому струмі;
 - Дугогасні контакти не вимагають частої заміни, вони не сильно схильні до ерозії і взагалі не схильні до окислення, так як дуга, що утворилася, існує недовгий час завдяки гарному гасінню її елегазом;
 - Швидкість спрацьовування;
 - Мала маса та габарити;
 - Нечасте обслуговування (раз на 4-10 років).
- 2) Роз'єднувачів типу РЛК (Р - роз'єднувач, Л - лінійний, К - коливального типу), РГНП (Р - роз'єднувач, Г - горизонтально-поворотний тип, Н - рівень ізоляції за ГОСТ 1516.3-96. Електроустановки змінного струму на напругу від 1 до 750 кВ. Вимоги до електричної міцності ізоляції (70271), П - з полімерною ізоляцією) та інші передбачені для внутрішньої установки.

Роз'єднувач – комутаційний апарат, призначений для відключення-вмикання окремих знеструмлених ділянок мережі або обладнання, що знаходяться під напругою, для відключення ділянок мережі з незначними струмами, а також для створення видимого розриву електричного ланцюга під час робіт на лінії або устаткуванні. Роз'єднувачі внутрішньої установки також мають ряд переваг:

- Рама роз'єднувача виконується з цільного електроізоляційного матеріалу (моноліту), яка має високу електричну та механічну міцність, високу стійкість до навколишніх умов;

- Може експлуатуватися у різних кліматичних умовах;
- Вузли, що труться, не вимагають мастила протягом 10-15 років, так як вузли мають малі моменти тертя;
- Всі деталі та вузли покриті антикорозійним покриттям, яка виконана якісно і може експлуатуватися до 20-30 років, перш ніж буде потрібно відновлення цього антикорозійного шару;
- Струмопровідні частини ножів та заземлювачів (якщо вони передбачені) покриваються оловом або нікелем, інші частини та деталі – гальванічним цинком;
- Надійна робота головних ножів при сильному їх нагріванні та нагріванні навколишньої температури повітря до $+40\div 50$ °С;
- Висока заводська готовність за рахунок раціонального кінематичного з'єднання деталей.

3) ГНН (обмежувачі перенапруги) – електрична апаратура, головною метою якого є обмеження рівня перенапруги, що викликаються комутаційними процесами в електричних мережах або виникають при грозових перенапругах. Переваги обмежувачів напруги перед розрядниками:

- ГНН пристосований для обмеження широкого спектра перенапруги;
- Кількість спрацьовувань не обмежена, задані параметри постійні;
 - Відсутність іскрового проміжку;
 - Проста конструкція;
 - Невелика маса та габарити;
 - герметичність;
- Високе навантаження до механічних навантажень;
- Вартість.

4) Вимірювальні трансформатори напруги та струму – це трансформатори, призначені для зниження (зменшення) первинних значень напруги та струму до більш зручних значень для вимірювання іншими пристроями та приладами (пристрої РЗіА, лічильники тощо). На основі номенклатурного каталогу сучасних

компанії, які виробляють та постачають вимірювальні трансформатори, розглянемо плюси кожного з них:

- Вибухо- та пожежобезпечне виконання (наявність захисних пристроїв);
- Герметичність завдяки якісним ущільненням та ізоляції;
- Практичні не потребують обслуговування;
- Надійне довготривале покриття сталевих частин;
- Діапазон роботи від -60 до $+40$ °С.

5) Трансформатори власних потреб (ТВН) – це силовий понижувальний трансформатор, який живить групи електроспоживачів (обслуговуюче обладнання) власних потреб підстанції. Сумарна потужність електричних споживачів підстанції невелика. До цих споживачів електричної енергії підстанції відносяться: пристрої РЗіА, електричний підігрів приміщень ЗТП, вентиляція, освітлення (робоче, аварійне), резерв та інші електроспоживачі. Після розрахунків візьмемо ТВН типу ТСЗЛ (трифазний сухий з природним повітряним охолодженням при захищеному виконанні з литою ізоляцією)[4]

Переваги трансформаторів ТСЗЛ:

- Робота в діапазоні температур від -45 до $+40$ °С;
- Використовується всередині та зовні приміщень, тобто стійка до
- негативним погодним явищам;
- Екологічність, немає токсичних виділень в атмосферу;
- Обмотки трансформаторів вибухо- та пожежобезпечні;
- Сухий трансформатор практично не потребує обслуговування, нема
- необхідності заміни трансформаторного масла;
- Є можливість збільшення потужності трансформатора у разі реконструкції підстанції у майбутньому.

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вибір кількості трансформаторів та їх потужності здійснюється залежно від необхідного ступеня надійності електропостачання та категорії споживачів електричної енергії. ЗТП живитиме споживачів II та III категорій, що, природно, вимагатиме високої надійності їхнього живлення. Для досягнення цієї мети підстанція буде виконана з двома робочими трансформаторами з розщепленою обмоткою, що дозволить знизити значення струмів короткого замикання. Необхідний нормальний режим роботи цих трансформаторів - це їхня роздільна робота на час спрацювання АВР або на час оперативного перемикання ліній оперативним персоналом. Це дозволить застосувати більш легку, а найголовніше дешеву апаратуру на боці нижчої напруги трансформаторів.

Вибір числа та потужності трансформаторів проводиться також з урахуванням вимог характеру графіка навантаження та допустимих систематичних та аварійних перевантажень трансформаторів [5].

Висока надійність трансформаторів дозволяє обходитися їх мінімальним резервуванням і для заданих умов вибирають трансформатори граничної потужності.

Вибір номінальної потужності трансформаторів і оцінка допустимості режимів перевантажень, що виникають при експлуатації, здійснюється з урахуванням навантажувальної здатності трансформаторів.

Спочатку задаймо добовий графік навантажень ЗТП по низькій стороні, оскільки основне навантаження ЗТП посідає низьку сторону 10 кВ. Добовий графік навантажень показаний на Рисунку 2.1.

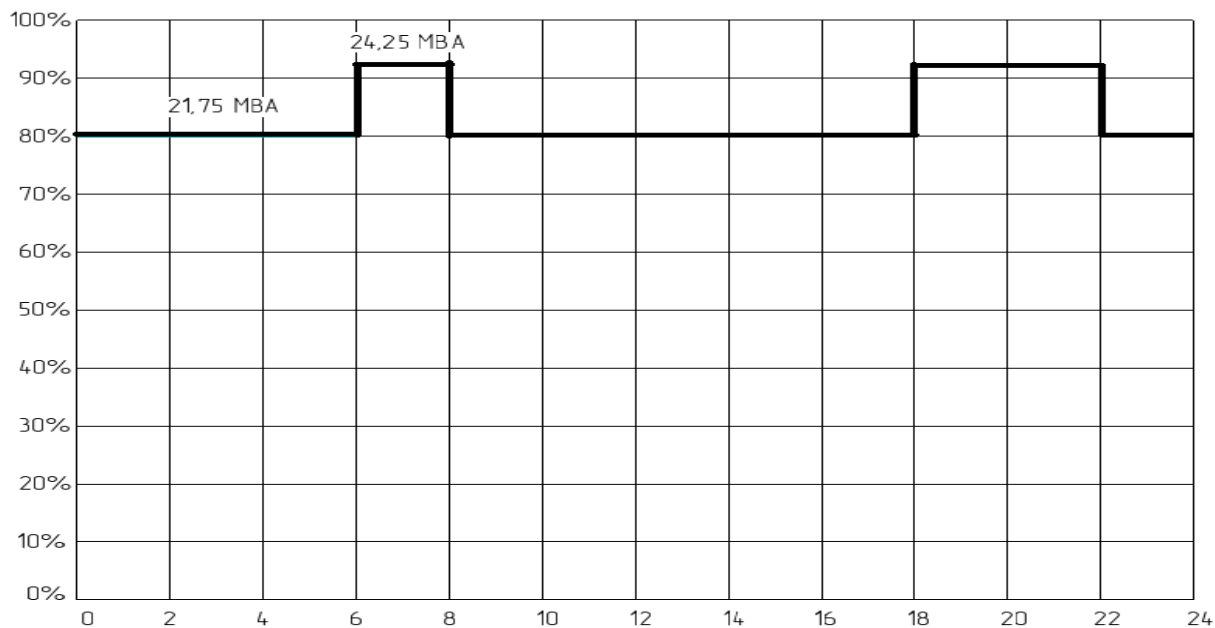


Рисунок 2.1. – Добовий графік навантажень

Формула вибору потужності трансформатора виглядає так:

$$S_{\text{розр}} \leq S_{\text{т.ном}} * k_{\text{п}}, \quad (2.1)$$

Де $S_{\text{розр}}$ – розрахункова потужність, яка передається через трансформатор, МВА;

$S_{\text{т.ном}}$ – номінальна потужність обраного трансформатора, МВА;

$k_{\text{п}}$ – допустимий коефіцієнт перевантаження.

Розрахункова потужність трансформатора $S_{\text{розр}}$ знаходиться підсумовуванням потужності навантажень низької напруги та власних потреб підстанції, тобто за формулою:

$$S_{\text{розр}} = S_{\text{нн}} + S_{\text{вл.п}},$$

Де

$S_{\text{нн}}$ – максимальна потужність навантаження по мережі низької напруги,

$S_{\text{вл.п}}$, – Потужність, що використовується на власні потреби підстанції,

Потужність, що передається через трансформатор, дорівнює:

$$S_{\text{розр}} = 24,25 + 0,25 = 24,5 \text{ МВА}$$

Перевантаження трансформатора має бути не більше 40%, тобто допустимий коефіцієнт перевантаження візьмемо: $k_{\text{п}}=1,4$.

Попередня потужність, що вибирається, трансформатора повинна задовольняти умові:

$$S_{\text{т.ном}} \geq \frac{24,5}{1,4} = 17,5 \text{ МВА}$$

Вибираємо трансформатор компанії ПП МТС «ЕЛЕКТРОЩИТ» типу ТРДН-25000/110-У1, потужністю 25000 кВА [6].



Рисунок 2.2 Трансформатор ТРДН-25000/110-У1.

Технічні дані трансформатора занесено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні дані трансформатора [5]

№ п/п	Тип трансформатора	ТРДН-25000/110-У1
1	2	3
1	Завод виробник	ПП МТС «ЕЛЕКТРОЩИТ»
2	Номінальна потужність обмоток, кВА: ВН/НН1/НН2	25000/12500/12500
3	Номінальна напруга обмоток, кВ: ВН/НН1/НН2	115/10,5/10,5
4	Номінальний струм, А: ВН/НН1/НН2	126/1376/1376
5	Тип та коефіцієнт трансформації вбудованих трансформаторів струму: ВН нейтраль	ТВТ-110-600/5 ТВТ-35-600/5
6	Число фаз	3
7	Схема та група з'єднання обмоток	УН/Д/Д-11-11
8	Напруга короткого замикання:	10,85%
9	Втрати холостого ходу, кВт	30,75

Тимчасові допустимі навантаження у системі не ведуть до скорочення терміну служби трансформаторів та його ізоляцій. Вони допустимі протягом великої тривалості часу, навіть за весь термін служби. Тобто їх можна зарахувати до нормального режиму роботи. Перевантаження мають місце бути особливо при нерівномірному добовому графіку навантаження трансформатора або в умовах температури, що змінюється (зима-літо) охолоджуючого середовища при постійному навантаженні.

За добовими графіками навантажень, тобто графіками споживання повної потужності, мережі ПН визначається сумарний добовий графік споживання повної сумарної потужності. Нижче наведена формула для знаходження точок графіка та її наступної побудови:

$$S_{\Sigma} = \frac{S_{\text{нн}} * X}{100} + S_{\text{влас.н}}$$

Де S_{Σ} – загальна сумарна потужності, що передається у вторинні ланцюги по мережі низької напруги.

$S_{\text{нн}}$ – повна потужність, що передається в мережу низької напруги,

X – відсоткове значення, споживаної потужності мережею;

$S_{\text{влас.н}}$ – потужність, що використовується на власні потреби підстанції.

Знаходимо значення сумарної потужності для кожного з часових проміжків:

$$0-6: S_{\Sigma} = \frac{25*80}{100} + 0,25 = 22 \text{ МВА};$$

$$6-8: S_{\Sigma} = \frac{25*95}{100} + 0,25 = 24,5 \text{ МВА};$$

$$8-18: S_{\Sigma} = \frac{25*80}{100} + 0,25 = 22 \text{ МВА};$$

$$18-22: S_{\Sigma} = \frac{25*80}{100} + 0,25 = 24,5 \text{ МВА};$$

$$22-24: S_{\Sigma} = \frac{25*80}{100} + 0,25 = 22 \text{ МВА};$$

Розраховані дані зводимо до таблиці 2.2. За отриманими значеннями будемо добовий графік повної сумарної потужності (рисунок 2.2) по таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Сумарна потужність, що передається по мережі ПН у певні інтервали часу

Проміжки часу, год.	0 - 6	6 - 8	8 - 18	18 - 22	22 - 24
Сумарна споживана потужність, МВА	22	24,5	22	24,5	22

Виділимо за графіком ділянку з найменшим навантаженням (початковим) загальною тривалістю 18 годин і за наявними значеннями потужності визначимо значення потужності за наведеною нижче формулою.

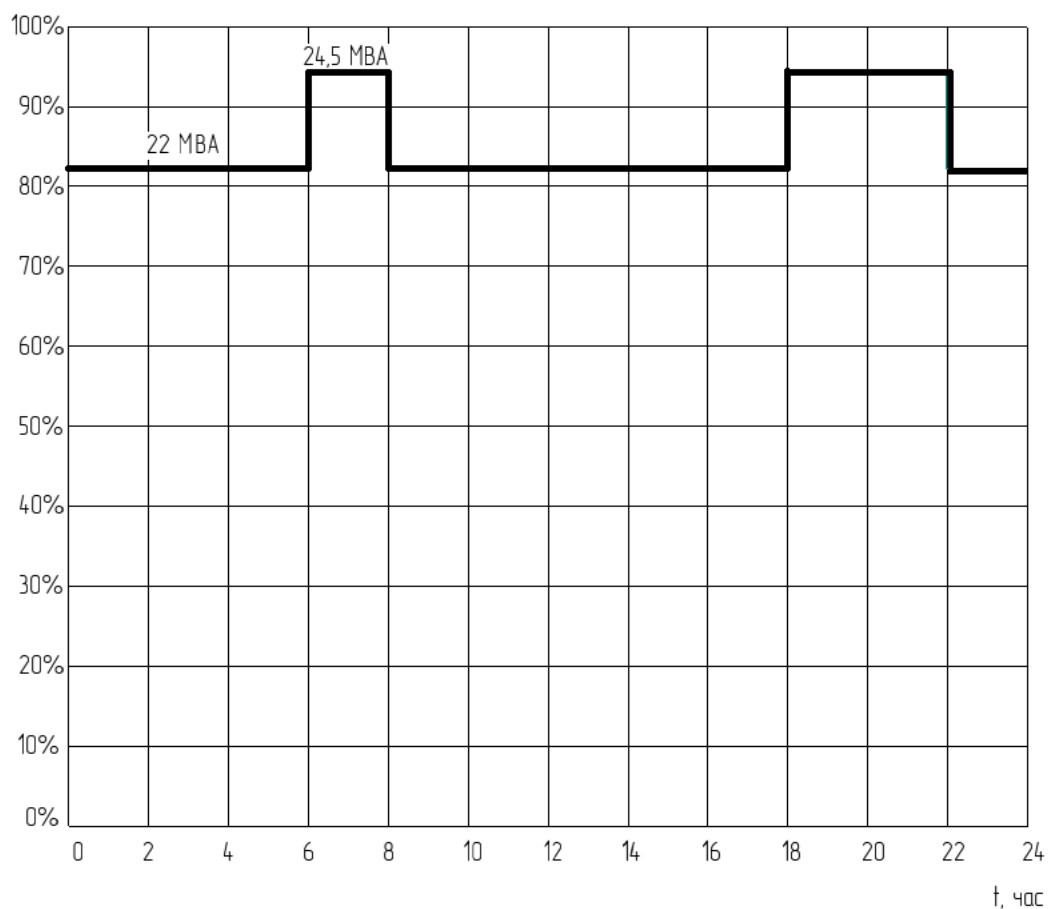


Рисунок 2.2 - Добовий графік повної сумарної потужності, що споживається.

У формулу підставляємо наявні значення таблиці 2.2.

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum S_i^2 * \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}$$

Де S_1 – початкове навантаження на трансформатор, МВА;

S_i – потужність навантаження певного і-го інтервалу, МВА;

Δt_i - тривалість певного n-го інтервалу, год.

Підставивши значення отримаємо:

$$S_1 = \sqrt{\frac{22^2 * 18}{18}} = 22 \text{ МВА}$$

Визначаємо початкове навантаження початкової ділянки графіка за формулою:

$$K_1 = \frac{S_1}{S_{T.\text{ном}}},$$

Де S_1 – початкове навантаження на трансформатор, МВА;

$S_{T.\text{ном}}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА.

$$K_1 = \frac{22}{25} = 0,88$$

Виділимо за графіком ділянку з найбільшим навантаженням загальною тривалістю 6 годин і за наявними значеннями потужності визначимо значення потужності за наведеною нижче формулою. У формулу підставляємо наявні значення таблиці 2.2.

$$S_2 = \sqrt{\frac{\sum S_i^2 * \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}$$

Де S_1 – найбільше навантаження на трансформатор, МВА;

S_i – потужність навантаження певного і-го інтервалу, МВА;

Δt_i - тривалість певного n-го інтервалу, год.

Підставивши значення отримаємо:

$$S_1 = \sqrt{\frac{24,5^2 * 6}{6}} = 24,5 \text{ МВА}$$

Визначаємо найбільше навантаження наступної ділянки графіка за формулою:

$$K_2 = \frac{S_2}{S_{T.\text{ном}}},$$

Де S_2 – найбільше навантаження на трансформатор, МВА;

$S_{T,ном}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА.

$$K_2 = \frac{24,5}{25} = 0,98$$

Визначаємо максимальне значення перевантаження K_{max} вихідного графіка навантаження за формулою:

$$K_{max} = \frac{S_{max}}{S_{ном}}$$

Де S_{max} – максимальне значення потужності, взяте за таблицею 2.2, МВА;

$S_{ном}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА.

$$K_{max} = \frac{24,5}{25} = 0,98$$

Порівнюємо раніше отримані значення навантажень K_2 і K_{max} :

$$K_2 \geq 0,9 * K_{max} = 0,88$$

Умова $K_2 \geq 0,9 * K_{max}$ виконується, тоді приймаємо $K_2 = K'_2$ та $h = h'$

Розрахункове перевантаження K_2 тривалістю h може бути оцінена розрахунком за одними і тими самими формулами для систематичних та аварійних перевантажень.

Необхідно перевірити допустимість цього розрахункового навантаження трансформатора. Для цього мають виконуватися такі умови: $K_2 \leq K_{доп}$,

$$K_2 \leq K_{авар}.$$

Еквівалентна температура навколишнього середовища для міста Житомир становить $\theta_{охл} = -10$ за час дії еквівалентної двоступінчастого графіка навантаження. Параметри K_1, K_2 і h розраховані, для максимально допустимих систематичних аварійних перевантажень трансформаторів вибрано значення:

$$K_{доп} = 1,38 \text{ і } K_{авар} = 1,6.$$

Вимоги $K_2 \leq K_{доп}$, $K_2 \leq K_{авар}$ виконуються, тобто розрахункове значення менше допустимого значення систематичних та аварійних перевантажень:

$$0,98 \leq 1,38$$

$$0,98 \leq 1,6$$

Для двообмотувального трансформатора необхідне виконання наступних додаткових умов:

$$S_{\text{НОМ}} \geq \frac{S_2}{K_{\text{авар}}}$$

$$S_{\text{НОМ}} \geq \frac{S_2}{K_{\text{дол}}}$$

Здійснюємо перевірку за додатковими умовами:

$$25 \geq \frac{24,5}{1,6} = 15,3$$

$$25 \geq \frac{24,5}{1,38} = 17,75.$$

Усі необхідні умови виконуються. Двообмотувальний трансформатор з розщепленою обмоткою типу ТРДН-25000/110-У1 приймаємо до встановленн



Рисунок 2.3 Двообмотувальний трансформатор з розщепленою обмоткою типу ТРДН-25000/110-У1

3.ВИБІР ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Основною метою вимірювальних трансформаторів (це трансформатори струму та напруги) є зменшення наявних значень первинних струмів та напруги до необхідних (зручних) значень для підключення до мережі інших вимірювальних приладів, таких як пристрої автоматики, високочастотні тестери, захисні реле, випробувальні прилади та інші. Надійна робота

вимірювальних трансформаторів впливає на електричні вимірювання, їх точність, точність обліку електричної енергії та надійну роботу релейного захисту та інших автоматичних приладів, пристроїв, захистів.

3.1. Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму – це трансформатори, призначені для перетворення первинного струму до зручних вимірювань значень. Первинна обмотка такого трансформатора включається в ланцюг послідовно з вимірюваним змінним струмом, а в другу ж обмотку підключаються необхідні нам вимірювальні прилади (амперметри, ватметри, лічильники). Необхідні для роботи трансформатори струму, що запитують вимірювальні прилади вибирають по номінальному первинному струму та номінальному вторинному струму, а також трансформатор струму повинен бути перевірений на динамічну та термічну стійкість у режимі короткого замикання.

Критерії вибору трансформаторів струму:

- 1) номінальна напруга:

$$U_{уст} \leq U_{ном}$$

- 2) номінальний первинний струм:

$$I_{макс.роб} \leq I_{ном}$$

- 3) за вторинним навантаженням:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}$$

- 4) за динамічною стійкістю:

$$I_{уд} \leq I_{дим}$$

- 5) за термічною стійкістю:

$$B_K \leq I_T^2 * t_T$$

3.1.1 Вибір трансформаторів струму на боці ВН

Наявні дані:

- 6) максимальний робочий струм $I_{макс.роб} = 131,2$ А

- 7) ударний струм $I_{уд} = 30,3$ кА

8) тепловий імпульс $B_K = 8,5 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

Вибираємо трансформатор струму типу ТОГФ-110-III-250/5 виробництва компанії ЗАТ «Завод електротехнічного обладнання» (скорочено ЗАТ «ЗЕТО»)[7].



Рисунок 3.1 Трансформатор струму ТОГФ-110

Номінальні параметри:

- Номінальний первинний струм $I_1 = 250 \text{ А}$;
- Номінальний вторинний струм $I_2 = 5 \text{ А}$;
- Номінальний опір вторинного ланцюга $Z_{\text{ном}} = 2 \text{ Ом}$;
- Струм динамічної стійкості $I_{\text{дин}} = 102 \text{ кА}$;
- Струм термічної стійкості $I_T = 40 \text{ кА}$;
- Час термічної стійкості $t_T = 3 \text{ с}$.

Трансформатори струму встановлюються в ланцюги ВН силових трансформаторів та в ланцюзі секційного вимикача. До вторинної обмотки трансформаторів струму приєднуються амперметри.

Здійснюємо перевірку трансформаторів струму:

- за номінальною напругою:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$110 \text{кВ} \leq 110 \text{кВ}$$

- за номінальним первинним струмом:

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

$$131,2 \text{ A} \leq 250 \text{ A}$$

— за вторинним навантаженням:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}$$

$$2 \text{ Ом} \leq 2 \text{ Ом}$$

— за динамічною стійкістю:

$$I_{\text{уд}} \leq I_{\text{дим}}$$

$$30,3 \text{ кА} \leq 102 \text{ кА}$$

— за термічною стійкістю:

$$W_K \leq I_T^2 * t_T$$

$$8,5 \text{ кА}^2 * \text{с} \leq 40^2 * 3 = 4800 \text{ кА}^2 * \text{с}$$

Приймаємо до встановлення такі прилади: амперметр типу: Е-365

($S = 0,1 \text{ ВА}$), ватметр Д-335 ($S = 0,5 \text{ ВА}$), лічильник СЕТ-4ТМ ($S = 0,15 \text{ ВА}$).

Вибрані прилади високої напруги наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Вимірювальні прилади на боці ВН

Прилад	Серія (тип)	Повна потужність кожної з фаз, ВА		
		А	У	З
Амперметр (що показує)	Е-365	0,1	0,1	0,1
Ватметр (реєструючий)	Д-335	0,5	0,5	0,5
Лічильник активної та реактивної потужностей	СЕТ-4ТМ	0,15	0,15	0,15
Разом		0,75	0,75	0,75

Загальний опір приладів:

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_2^2} = \frac{0,75}{5^2} = 0,03 \text{ Ом}$$

Знаходимо опір проводів за формулою:

$$r_{\text{пр}} = Z_{\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_k$$

Де $Z_{\text{ном}}$ – номінальне навантаження трансформатора струму під час роботи, Ом;

$r_{\text{прил}}$ – опір приладів, Ом;

r_k - опір контактів, Ом (в діапазоні, що дорівнює $0,05 \div 0,1 \text{ Ом}$).

Тоді:

$$r_{\text{пр}} = 2 - 0,03 - 0,1 = 1,87 \text{ Ом}$$

За наступною формулою знаходимо площу поперечного перерізу проводів:

$$S_{\text{min}} = \frac{\rho * l_{\text{роз}}}{r_{\text{пр}}}$$

Де ρ – питомий опір дроту, що дорівнює: для мідних - $0,0175 \frac{\text{Ом*мм}^2}{\text{м}}$, для алюмінієвих – $0,0281 \frac{\text{Ом*мм}^2}{\text{м}}$;

$l_{\text{роз}}$ – розрахункова довжина дроту, м;

$r_{\text{пр}}$ – опір дроту, Ом.

$$S_{\text{min}} = \frac{\rho * l_{\text{роз}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 * 100}{1,87} = 0,936 \text{ мм}^2$$

Вибираємо як дроти для живлення вимірювальних приладів кабель марки КВВГ, що має перетин 1,0.

Таким чином, вибраний нами трансформатор струму ТОГФ-110-III-250/5 можна прийняти до встановлення.

3.1.2 Вибір трансформаторів струму на стороні ПН

Наявні дані:

- максимальний робочий струм $I_{\text{макс.роб}} = 1441,4 \text{ А}$;
- ударний струм $I_{\text{уд}} = 29,5 \text{ А}$;
- тепловий імпульс. $В_{\text{к}} = 24 \text{ кА}^2 * \text{с}$.

Спочатку виберемо трансформатор струму типу GIF36 компанії РЕЛЕЭКСПОРТ. <https://relayexport.com.ua/>

Характеристики трансформатору GIF36:

- найбільші робочі напруги, кВ 40,5
- клас напруги, кВ 35
- номінальна напруга $U_{\text{ном}}$, кВ 35
- номінальна частота, Гц 50
- номінальні первинні струми, А до 4000
- номінальні вторинні струми, А 1; 5



Рисунок 3.2 Трансформатор струму типу G1F36

- номінальні вторинні навантаги, В·А від 0,5 до 60
- номінальна гранична кратність обмоток для захисту від 5 до 30
- номінальний коефіцієнт безпеки обмоток для вимірювань від 5 до 15
- маса, кг від 65 до 220
- діапазон робочих температур від -60°C до $+50^{\circ}\text{C}$

Конкретні параметри трансформатора струму зазначені в паспорті.

Таким чином, вибраний нами трансформатор струму G1F36 можна прийняти до встановлення.[9]

3.2. Вибір трансформаторів напруги

Вимірювальні трансформатори напруги – це трансформатори, призначені для зниження (зменшення) первинних значень напруги до зручніших значень для вимірювання іншими пристроями та приладами (пристрої РЗіА, лічильники тощо).

3.2.1 Вибір трансформаторів напруги на боці ВН

На стороні високої напруги встановлюємо 1 вольтметр з перемиканням, основне завдання якого це вимірювання фазної напруги, а також встановимо 3

вольтметри, мета яких - це вимірювання міжфазної напруги. Разом, 4 вольтметри типу EB2259M, $S_{ном} = 2 \text{ ВА}$.

Вибираємо 2 трансформатори напруги НАМІ-110 на високій стороні, його номінальна потужність $S_{ном} = 1000 \text{ ВА}$ [10]

Для вибору перерізу з'єднувальних проводів дотримуємось умов механічної міцності.

Вибираємо як дроти для живлення вимірювальних приладів кабель марки КВВГ, що має переріз $2,5 \text{ мм}^2$.

Вибрані прилади на боці високої напруги наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Вимірювальні прилади на боці ВН

Прилад	Серія (тип)	Потужність, ВА	Число приладів	Сумарна потужність, ВА
Вольтметр	EB2259M	2	4	8
Ваттметр (реєструючий)	Д-335	1,8	1	1,8
Лічильник активної та реактивної потужностей	СЕТ-4ТМ	0,2	1	0,2
Разом			6	10

3.2.2 Вибір трансформаторів напруги на стороні ПН

На стороні низької напруги до обмотки трансформатора напруги (вторинному) будуть підключені: 1 вольтметр з перемиканням, основне завдання якого це вимірювання фазної напруги, а також встановимо 3 вольтметри, мета яких це вимірювання міжфазної напруги.

Вибираємо 4 трансформатори напруги НТМІ-10 на низькій стороні, його номінальна потужність $S_{min} = 159 \text{ ВА}$ Для вибору перерізу з'єднувальних проводів дотримуємось умов механічної міцності.

Вибираємо як дроти для живлення вимірювальних приладів кабель марки КВВГ, що має переріз $2,5 \text{ мм}^2$. [11]

Вибрані прилади на боці низької напруги наведено у таблиці 3.3.



Рисунок 3.3 трансформатор напруги НТМІ-10

Таблиця 3.3 - Вимірювальні прилади на боці ПН

Прилад	Серія (тип)	Потужність, ВА	Число приладів	Сумарна потужність, ВА
1	2	3	4	5
Вольтметр	ЕВ2259М	2	4	8
Ваттметр (реєструючий)	Д5066М	1,8	1	1,8
Лічильник активної та реактивної потужностей	СЕТ-4ТМ	0,2	1	0,2
Разом			6	10

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Незважаючи на великі втрати, руйнування та постійні обстріли, Україна продовжує залишатися символом непокори, прикладом справжньої свободи та мужності, важливим актором на міжнародній арені, надійним партнером для своїх союзників та центром уваги серед геополітичних експертів та медійних кіл.

Але в умовах жахливих подій, які відбуваються в Україні, ми повинні взятися за обіцянку майбутнього. Зараз Україна має можливість повністю перебудувати енергосистему та країну в цілому, вивести на новий рівень енергетичну та ядерну безпеку, започаткувати процес зміцнення міжнародних гарантій безпеки. Я впевнений, що досвід України у відбудові на принципах формули миру стане цінним надбанням для європейської та світової енергетичної політики.

У кваліфікаційній роботі, в світі вище сказаного, розглянуто розрахунок та вибір електричних навантажень вибір силових та вимірювальних трансформаторів для закритої трансформаторної підстанції 110(10-10)кВ.

У першому розділі показана класифікація підстанцій та їх призначення, вагомими перевагами закритої трансформаторної підстанції.

Другий розділ присвячений моделі енергетичного забезпечення об'єкта на основі якого розраховуються основні характеристики силового трансформатора та визначається його тип та можливі постачальники цього обладнання.

Для забезпечення якісного контролю та своєчасного прийняття рішення щодо ліквідації не штатної ситуації, яка може створитися з обладнанням підстанції в третьому розділі проведено розрахунок вимірювальних трансформаторів та пропонувані конкретні типи трансформатори струму та напруги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хто в Україні споживає найбільше електроенергії Автор Валерій Моїсєєв <https://thepage.ua/ua/economy/spozhivannya-elektroenergiyi-v-ukrayini-ta-yak-formuyutsya-grafiki-vidklyuchen>
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D1%96%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%8F
3. Елегазові вимикачі: Переваги та недоліки застосування <https://elektroatlas.com.ua/blog-ua/elegazovie-viklychateli-perevagi-ta-nedoliki-ua>
4. Трансформатори власних потреб <https://ae.fea.kpi.ua/ae-files/doc/diplom/TablRys.pdf>
5. ГОСТ 14209-97. ОСТ 14209-97. Посібник з навантаження силових масляних трансформаторів
6. ПП МТС «ЕЛЕКТРОЩИТ» <http://mart.dp.ua/>
7. «Завод електротехнічного обладнання» (скорочено ЗАТ «ЗЕТО»). <http://zeo.net.ua/>
8. РЕЛЕЭКСПОРТ. <https://relayexport.com.ua/>
9. Трансформатор GIF 36 <https://relayexport.com.ua/ritz-gif-36>
10. Трансформатор НАМІ-110 <http://energosfera.org.ua/transformatory/izmeritelnye-transformatory-napryazheniya/odnofaznye-maslyanye-izmeritelnye-transformatory-napryazheniya-110kv/transformator-nami-110.html>
11. <https://profmaster.com.ua/ua/p98818718-ntmi-transformator-ntmi.html>