

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Допускається до захисту:

завідувач кафедри

проф. Матвійчук В. А.

(Підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

“ ___ ” _____ 2023 р.

Бакалаврська кваліфікаційна робота
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему:

**«Аналіз конструктивних та експлуатаційних
особливостей вимірювальних трансформаторів
напруги»**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕІ-19-1 з

галузі знань 14 «Електрична інженерія»

Верхогляд Владислав Андрійович _____

Керівник: д.т.н., професор

Матвійчук В. А. _____

« ___ » _____ 2023 р.

Вінниця - 2023 р.

**Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет**

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕЕЕ, д.т.н., проф.

В. А. Матвійчук

« _____ » _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра**

студенту Верхогляду Владиславу Андрійовичу.

на тему Аналіз конструктивних та експлуатаційних особливостей вимірювальних трансформаторів напруги.

затверджену наказом _____.

Термін подання кваліфікаційної бакалаврської роботи на кафедру для попереднього захисту _____.

Вихідні дані для роботи: Стандартні трансформатори струму промислової частоти і частоти 1000, 2500 і 8000 Гц розраховані на включення приладів з номінальним значенням струму 5 А. Трансформатори напруги розраховані на прилади з номінальною напругою 100 В. Вимірювальні трансформатори п'яти класів точності напруги: 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 10. Конструктивні особливості будови вимірювальних трансформаторів напруги типу ЗНОЛ-9, ЗНОМ і ЗНОМП, НОМ, НКФ і НКФ-М, НКФА і ЕТН. Прилади підключені до ТН. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних бакалаврських робіт.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

Вступ.

1. Класифікація та характеристика вимірювальних трансформаторів напруги.

2. Конструктивні особливості вимірювальних трансформаторів напруги різних видів та схеми їх з'єднання.

3. Вибір та умови експлуатації вимірювальних трансформаторів напруги.

Висновки.

Список використаної літератури.

Додатки.

Перелік презентаційного матеріалу:

1. Мета і задачі дослідження.

2. Принципові схеми вимірювальних трансформаторів напруги .

3. Схеми увімкнення вимірювальних трансформаторів напруги .

4. Конструктивні особливості низки вимірювальних трансформаторів напруги.

5. Схеми з'єднання вимірювальних трансформаторів напруги.

6. Умови вибору вимірювальних трансформаторів напруги.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	4
ABSTRACT.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ.....	8
1.1. Призначення та класифікація вимірювальних трансформаторів напруги.....	8
1.2. Характеристики вимірювальних трансформаторів напруги.....	14
Висновки до розділу 1.....	20
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ РІЗНИХ ВИДІВ ТА СХЕМИ ЇХ З'ЄДНАННЯ.....	21
2.1. Конструктивні особливості будови вимірювального трансформатора напруги типу ЗНОЛ-9.....	21
2.2. Конструктивні особливості будови вимірювальних трансформаторів напруги типу ЗНОМ і ЗНОМП.....	22
2.3. Будова вимірювальних трансформаторів напруги типу НОМ.....	23
2.4. Будова вимірювальних трансформаторів напруги типу НКФ і НКФ-М.....	26
2.5. Конструктивні особливості вимірювальних трансформаторів напруги типу НКФА і ЕТН.....	27
2.6. Схеми з'єднання вимірювальних трансформаторів напруги.....	29
Висновки до розділу 2.....	36
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ.....	37
3.1. Вибір вимірювальних трансформаторів напруги.....	37
3.2. Експлуатація та обслуговування вимірювальних трансформаторів напруги.....	43

	3
Висновки до розділу 3.....	45
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47
ДОДАТКИ.....	50

АНОТАЦІЯ

Верхогляд В. А. «Аналіз конструктивних та експлуатаційних особливостей вимірювальних трансформаторів напруги». Кваліфікаційна робота бакалавра. – Вінниця : ВНАУ. 2023. – 50 с. Використаних літературних джерел 23, рисунків 20, таблиць 7.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з розрахунково-пояснювальної записки, яка виконана на 50 аркушах та складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаної літератури.

У першому розділі розглядається класифікація та характеристика вимірювальних трансформаторів напруги. Тут приведено їх призначення та сфера використання, умовні позначення, технічні характеристики, принципові схеми і схеми увімкнення. В другому розділі розглядаються конструктивні особливості вимірювальних трансформаторів напруги різних видів. Приведено схеми їх з'єднання, надана характеристика та сфери застосування схем з'єднання. В третьому розділі висвітлюються підходи щодо вибору вимірювальних трансформаторів напруги та виконуються відповідні розрахунки, розглянуто умови щодо їх експлуатації та обслуговування.

Ключові слова: вимірювальний трансформатор напруги, конструктивні особливості, номінальна потужність, схеми з'єднання, вибір і експлуатація вимірювальних трансформаторів напруги, первинна обмотка.

ABSTRACT

V. A. Verkhoglyad "Analysis of design and operational features of measuring voltage transformers." Bachelor's qualifying work. – Vinnytsia: VNAU. 2023. – 50 p. 23 literary sources, 20 figures, 7 tables are used.

The bachelor's qualification work consists of a calculation and explanatory note, which is made on 50 sheets and consists of an introduction, 3 sections, conclusions, a list of used literature.

The first chapter deals with the classification and characteristics of measuring voltage transformers. Their purpose and scope of use, conventional designations, technical characteristics, principle diagrams and switching diagrams are given here. In the second section, the design features of measuring voltage transformers of various types are considered. Their connection schemes are presented, the characteristics and areas of application of the connection schemes are given. In the third section, the approaches to the selection of measuring voltage transformers are highlighted and the corresponding calculations are performed, the conditions for their operation and maintenance are considered.

Key words: measuring voltage transformer, design features, rated power, connection schemes, selection and operation of measuring voltage transformers, primary winding.

ВСТУП

На сьогодні існує велика кількість трансформаторів напруги, проте їх принцип дії однаковий і базується на законі електромагнітної індукції. Вони призначені для перетворення електричної енергії з одними параметрами на електричну енергію з іншими параметрами.

Вимірювальний трансформатор напруги служить для пониження високої напруги, що подається в установках змінного струму на вимірювальні прилади і реле захисту та автоматики [1].

Вимірювальні трансформатори напруги – це трансформатори, що перетворюють високі напруги пропорційно і точно відповідно до фаз у величини, придатні для вимірювання. Даний трансформатор має єдиний магнітопровід і може бути виконаний з однією або декількома вторинними обмотками. Заземлюючі трансформатори напруги за бажанням, крім вимірювальної або захисної обмотки, можуть бути виконані з додатковою обмоткою для реєстрації замикання на землю.

Для безпосереднього включення на високу напругу необхідні були б дуже громіздкі прилади та реле, оскільки необхідне їх виконання з високовольтною ізоляцією. Виготовлення та застосування такої апаратури практично неможливе, особливо на напругу 35 кВ і вище [2].

Застосування трансформаторів напруги дозволяє:

- використовувати для вимірювання на високій напрузі стандартні вимірювальні прилади, розширюючи їх межі вимірювання;
- використовувати обмотки реле, що включаються через трансформатори напруги і можуть мати стандартні виконання.

Крім того, трансформатор напруги ізолює (відокремлює) вимірювальні прилади та реле від високої напруги, завдяки чому забезпечується безпека їх обслуговування та експлуатації.

Трансформатори напруги широко застосовуються в електроустановках високої напруги. Від їх роботи залежить точність електричних вимірювань та

обліку електроенергії, а також надійність дії релейного захисту та протиаварійної автоматики.

Отже, застосування вимірювальних трансформаторів напруги є **актуальною задачею** і має важливе практичне значення.

Метою даної роботи є аналіз конструктивних особливостей вимірювальних трансформаторів напруги та дослідження їх застосування і умов експлуатації.

Відповідно для досягнення поставленої мети в роботі розв'язуються такі **основні задачі**:

1. Розглянути класифікацію та призначення вимірювальних трансформаторів напруги;
2. Розглянути конструктивні особливості вимірювальних трансформаторів напруги;
3. Проаналізувати особливості маркування та схеми з'єднання вимірювальних трансформаторів напруги;
4. Висвітлити умови експлуатації вимірювальних трансформаторів напруги та особливості їх монтажу;
5. Розглянути умови вибору вимірювальних трансформаторів напруги.

Об'єктом дослідження в даній роботі є електроенергетична система в цілому, а **предметом дослідження** є вимірювальні трансформатори напруги.

РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ

1.1. Призначення та класифікація вимірювальних трансформаторів напруги

Вимірювальний трансформатор напруги — це понижувальний електричний трансформатор, що дає змогу вимірювати напругу в мережах зі значною напругою за допомогою електричних приладів з відносно невеликими границями вимірювань. Він служить для пониження високої напруги, що подається в установках змінного струму на вимірювальні прилади і реле захисту та автоматики [15].

Цей трансформатор зменшує величину напруги до безпечного рівня та ізолює електричну мережу, до якої приєднано первинну обмотку, від електричного кола, в яке ввімкнено вимірювальні прилади або їхні окремі кола (наприклад, кола напруги ватметрів, лічильників, фазометрів тощо) [2].

Вимірювальні трансформатори напруги служать для перетворення напруги установки або ділянки мережі в напругу (110 В), зручну для виміру стандартними приладами, живлення захисту, автоматики, телемеханіки й сигналізації, а також для ізоляції приладів та експлуатуючого їх персоналу від високої напруги [2].

Вимірювальні трансформатори напруги перетворюють високі напруги пропорційно і точно відповідно до фаз у величини, придатні для вимірювання. Даний трансформатор має єдиний магнітопровід і може бути виконаний з однією або декількома вторинними обмотками. Заземлюючі трансформатори напруги за бажанням, крім вимірювальної або захисної обмотки, можуть бути виконані з додатковою обмоткою для реєстрації замикання на землю.

Трансформатор напруги (англ. voltage transformer; VT) — вимірювальний трансформатор, у якому за нормальних умов використання вторинна напруга є пропорційною до первинної напруги та за умови правильного вмикання зміщена відносно неї за фазою на кут, близький до нуля [16].

Розрізняють наступні вимірювальні трансформатори напруги [17].

За типом установки:

- а) внутрішній - для установки в приміщенні;
- б) зовнішній - для установки поза приміщенням;
- в) вбудовані - для установки всередині КРПЕ.

За кількістю фаз:

- а) однофазний (О);
- б) трифазний (Т).

За наявністю або відсутністю заземлення виводу «Х» первинної обмотки:

- а) заземлювальний (З);
- б) незаземлювальний.

За принципом дії:

- а) електромагнітний;
- б) з ємнісним дільником;
- в) оптичний.

За кількістю ступенів трансформації:

- а) електромагнітний однокаскадний;
- б) електромагнітний каскадний (К).

За наявністю компенсаційної обмотки або обмотки для контролю ізоляції мережі:

- а) трьохфазний з додатковими обмотками для контролю ізоляції мережі (І);
- б) трьохфазний з компенсаційними обмотками (К).

За видом ізоляції:

- а) повітряно-паперова (С);

- б) лита (Л);
- в) залита бітумних компаундом (К);
- г) з порцеляною покриттям (Ф);
- д) масляна (М);
- г) газова (Г).

За особливостями конструктивного виконання:

- а) захищене виконання (З);
- б) водозахищене виконання (В);
- в) герметичне виконання (Г);
- г) з вбудованим запобіжником (П);
- д) антирезонансна конструкція (А).

Застосування вимірювальних трансформатора напруги дозволяє ізолювати логічні кола захисту і кола вимірювання від кіл високої напруги.

Трансформатори напруги застосовуються в розподільних пристроях середньої та високої напруги і призначені для передачі інформаційних сигналів вимірювальним пристроям, лічильникам, а також пристроям захисту і керування, тому вони, як і трансформатори струму, мають декілька вторинних обмоток. Вимірювальні трансформатори напруги зазвичай є однофазними і застосовуються у розподільних пристроях комплектами з трьох трансформаторів, кожний з яких має тільки одну первинну обмотку з великою кількістю витків, набагато більшою, ніж кількість витків вторинних обмоток [17].

Вимірювальні трансформатори застосовуються в ланцюгах змінного струму для розширення меж вимірювання приладів. Крім того, застосування вимірювальних трансформаторів в установках високої напруги робить обслуговування приладів безпечним, так як трансформатори дозволяють відокремити прилади від ланцюгів високої напруги, в яких проводяться вимірювання. За допомогою трансформаторів великі значення електричних величин можна вимірювати приладами, що мають невеликі межі вимірювання

і порівняно невисоку міцність ізоляції. В цілому вимірювальні трансформатори поділяються на трансформатори напруги і струму.

Стандартні трансформатори струму промислової частоти і частоти 1000, 2500 і 8000 Гц розраховані на включення приладів з номінальним значенням струму 5 А. Трансформатори напруги розраховані на прилади з номінальною напругою 100 В. Можливе виготовлення вимірювальних трансформаторів і на частоти радіодіапазону.

Конструкція вимірювальних трансформаторів подібна до силових. Трансформатор складається з двох ізольованих одна від одної обмоток - первинної та вторинної, з числом витків відповідно W_1 і W_2 , намотаних на загальний замкнутий сердечник із листової електротехнічної сталі. Струм, що протікає по первинній обмотці, в осерді продукує змінний магнітний потік, який, пронизуючи обмотки, індукуює в них відповідні ЕРС. Так як вторинна обмотка замкнута на опір вимірювального приладу, то в його ланцюзі буде протікати пропорційний вимірюваній величині струм.

Вимірювальні трансформатори напруги за зовнішнім виглядом і внутрішньою будовою мало відрізняються від силових трансформаторів невеликої потужності. Первинна обмотка трансформатора напруги намотується тонким дротом і складається з великої кількості витків. Вторинна обмотка з меншим числом витків замкнута на вольтметр, що має великий опір. Тому нормальним режимом роботи вимірювального трансформатора напруги є режим холостого ходу. На відміну від вимірювальних трансформаторів струму, в трансформаторах напруги, струм первинної обмотки залежить від опору вторинної ланки, тому замикання вторинної обмотки вимірювального трансформатора на малий опір або накоротко веде до надмірного збільшення струму в обох обмотках і до їх руйнування. Для захисту вимірювальних трансформаторів напруги від коротких замикань приєднання тороїдального сердечника до мережі повинно здійснюватися через плавкі запобіжники. Основними характеристиками вимірювальних трансформаторів є номінальні значення первинних і вторинних величин, номінальна потужність,

клас точності і номінальна частота [17]. Відношення номінального значення первинної величини до номінального значення вторинної величини називається номінальним коефіцієнтом трансформації. Це відношення вказується заводом на щитку трансформатора у вигляді дробу. Наприклад, для трансформатора напруги 500/5 А. Дійсний коефіцієнт трансформації лише приблизно дорівнює номінальному. Він змінюється в деяких межах зі зміною режиму роботи трансформатора. Відносна різниця номінального і дійсного коефіцієнтів трансформації називається похибкою в коефіцієнті трансформації. Крім похибки в коефіцієнті трансформації, для вимірювальних трансформаторів властива кутова похибка, що враховує не лише величини, але і співвідношення фаз струму та напруги (ватметри, фазометри). Кутовою похибкою трансформатора називається кут між вектором первинної величини і поверненим на 180 вектором вторинної величини [16].





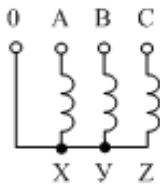
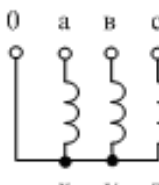
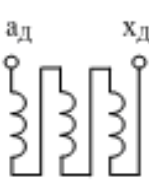
Під вторинні кола вимірювальних трансформаторів можна включати кілька приладів. До трансформатора напруги паралельно вольтметру підключаються також паралельні ланцюги ваттметра і фазометра. Крім того, у вторинні обмотки трансформатора напруги можуть включатися відповідні обмотки реле. Сумарна потужність споживання таких приладів не повинна перевищувати номінальної потужності вимірювального трансформатора. Номінальна потужність або номінальний опір навантаження вказується на щитку трансформатора заводом-виробником. Це потужність, яку можна отримати від трансформатора без втрати точності, що відповідає її класу. Використовується також вимірювальний трансформатор напруги нульової послідовності - це трифазний трансформатор напруги або група з трьох однофазних трансформаторів напруги, що мають вторинні обмотки, з'єднані у розімкнений трикутник так, аби поміж відповідними виводами отримати напругу, яка відповідає напрузі нульової послідовності, що має місце у прикладеній до первинних виводів трифазній напрузі.

Вимірювальні трансформатори є понижувальними і використовуються для вмикання вимірювальних приладів і реле в кола високої напруги. Вони

дозволяють використовувати звичайні прилади для вимірювання великих напруг, струмів, потужностей і при цьому підвищують безпеку обслуговуючого персоналу.

Первинну обмотку вимірювального трансформатора вмикають у високовольтне коло, а до вторинної приєднують прилади і реле. Позначення обмоток трансформаторів напруги представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Позначення обмоток трансформаторів напруги

Схеми з'єднання обмоток				Схеми з'єднань обмоток однофазних, чотирьох обмоточних трансформаторів з двома основними і додатковими вторинними обмотками
Первинна	Вторинна основна 1	Вторинна основна 2	Вторинна додаткова	
				
Схеми з'єднання обмоток				Схеми з'єднань обмоток трьохфазного, трьох обмоточних трансформатора з основною і додатковою вторинною обмоткою
Первинна	Вторинна основна	Вторинна додаткова		
				

Розрізняють п'ять класів точності вимірювальних трансформаторів напруги: 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 10. Трансформатори класів 0,5; 1,0; 3,0 використовують переважно в промислових установках, а класу точності 0,2 — лише для лабораторних вимірювань. Похибка трансформаторів перебуває в суворій залежності від їхньої номінальної потужності.

За конструктивними особливостями трансформатори поділяють на опорні, прохідні, шинні, вбудовані, роз'ємні, втулочні тощо. Вони бувають

одно і багатовиткові, з однією вторинною обмоткою або декількома, з литою і фарфоровою ізоляцією [17].

Лінійними виводами первинної обмотки є мідні пластини з отворами для болтових з'єднань. Початок і кінець вторинних обмоток з'єднують із зовнішніми колами спеціальними контактними пластинами та гвинтами.

У колах напругою до 500В для вимірювання струмів, потужності і обліку енергії використовують котушкові опорні трансформатори струму простої конструкції, які складаються із осердя, на яке намотано первинну і вторинну обмотку.

Вимірювальні трансформатори напруги розрізняють: за кількістю фаз (однофазні і трифазні); обмоток (дво- і триобмоточні); класом точності (1,0 і 3,0 - в мережах і підстанціях промислових підприємств; 0,5 - для обліку електроенергії); способом охолодження (з масляним і повітряним охолодженням); родом установки (внутрішні та зовнішні).

Вимірювальні трансформатори напруги знижують високу напругу до 100 В для живлення приладів, кіл вторинних пристроїв і релейного захисту.

1.2. Характеристики вимірювальних трансформаторів напруги

Вимірювальний трансформатор напруги являє собою магнітопровід з розташованими на ньому обмотками. Відношення числа витків первинної обмотки до числа витків вторинної обмотки, рівне відношенню номінальної напруги первинної обмотки до номінальної напруги вторинної обмотки, називають номінальним коефіцієнтом трансформації. Вимірювальні трансформатори напруги виконують однофазними і трифазними, двохобмоточними й трьохобмоточними, масляними і сухими. До числа сухих відносять і трансформатори із ізоляцією з епоксидних смол.

Масляні вимірювальні трансформатори напруги мають цілий ряд недоліків: необхідність постійного нагляду та періодичної заміни масла; непридатність до установки в приміщеннях з підвищеною пожежною

небезпекою і для пересувних установок в умовах бездоріжжя та тряски; більші масу та розміри. Трансформатори напруги з литою ізоляцією із епоксидних смол позбавлені зазначених недоліків.

Вимірювальні трансформатори напруги приєднують до точок електричного ланцюга, між якими необхідно виміряти напругу. Включення трансформаторів напруги 6-10 кВ здійснюють роз'єднувачами, а захист електроустановок від їхнього ушкодження – запобіжниками [2].

Застосовуються наступні позначення вимірювальних трансформаторів напруги:

НТС-6 - трансформатор напруги, трифазний, з сухою ізоляцією, з номінальною напругою 6 кВ.

НОМ - трансформатор напруги, однофазний, маслонаповнений.

ЗНОМ - трансформатор напруги, однофазний, маслонаповнений, один з виводів первинної обмотки заземлений.

НОЛ - трансформатор напруги, однофазний, з литою ізоляцією.

ЗНОЛ - трансформатор напруги, однофазний, з литою ізоляцією, один з виводів первинної обмотки заземлений.

НАМИ - трансформатор напруги, антирезонансний, маслонаповнений, для контролю ізоляції.

Параметри антирезонансних трансформаторів напруги НАМИ запобігають виникненню резонансних коливань в мережі. У цих вимірювальних трансформаторів напруги в 3-4 рази знижена номінальна індукція в магнітопроводі і, відповідно, збільшено число витків первинної обмотки. Це забезпечує стійкість трансформатора при підвищенні фазної напруги до (3-4) УНОМ, що виникає при ферорезонансі ємності мережі з індуктивністю трансформаторів. Антирезонансні властивості НАМИ в основному забезпечуються компенсаційною обмоткою, з'єднаною в трикутник і замкнутою накоротко. При однофазних замиканнях на землю напруга нульової послідовності на ємностях мережі розряджається через компенсаційну обмотку [15].

НДЕ - трансформатор напруги з ємнісним дільником напруги.

Ємнісний дільник напруги складається з конденсаторів $C1$ і $C2$, рис. 1.1.

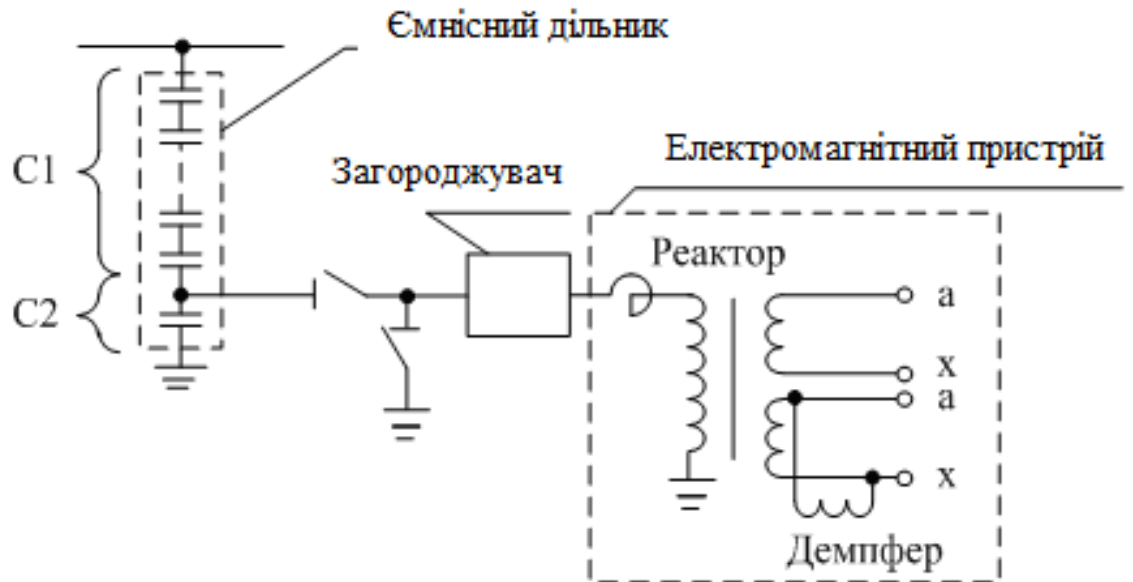


Рисунок 1.1 – Принципова схема вимірювального трансформатора напруги з ємнісним дільником напруги

Напруга на конденсаторі $C2$ близько 10-15 кВ. Загороджувач не пропускає струми високої частоти каналів зв'язку, телемеханіки і релейного захисту у вторинні ланцюги трансформатора напруги. Для зменшення кутової похибки, викликані наявністю в ланцюзі конденсаторів, застосовується індуктивний реактор. Для попередження ферорезонансу у вторинній обмотці встановлюється демпфуючий пристрій [17].

НКФ - трансформатор напруги, каскадний, у порцеляновій покритті. Первинна обмотка з метою зменшення ізоляції має кілька каскадів (частин) і стільки ж магнітопроводів, рис. 1.2. Число каскадів визначається класом напруги трансформатора. Кожен трансформатор каскаду має ізоляцію на $1/N$ частину напруги мережі, де N - число ступенів. Кінці первинних обмоток

кожного каскаду приєднані. Для рівномірного розподілу навантаження між первинними обмотками служать додаткові обмотки 2 [17].

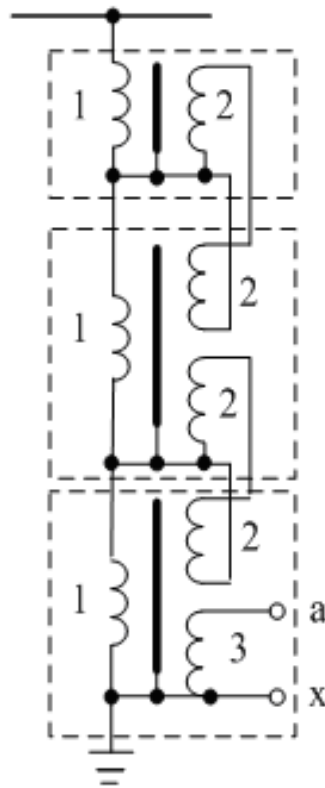


Рисунок 1.2 – Принципова схема каскадного трансформатора напруги

В оптичному трансформаторі напруги, представленому на рис. 1.3, електроннооптичний блок 5 посилає світлові сигнали через оптичне волокно 4 в поляризатор 2. Світловий сигнал, піднімаючись вгору, проходить через кристали (осередки Поккельса) 3, розташовані в трьох точках всередині високовольтної ізоляції. Коли світловий сигнал проходить через кристал, електричне поле в поляризаторі 2, розташованому навколо провідника 1, змінює його кругову поляризацію на еліптичну. У електроннооптичному блоці вимірюється відношення вихідних сигналів щодо кожної осі X і Y, тобто еліптичності світлового сигналу. Цим досягаються точні вимірювання електричного поля.

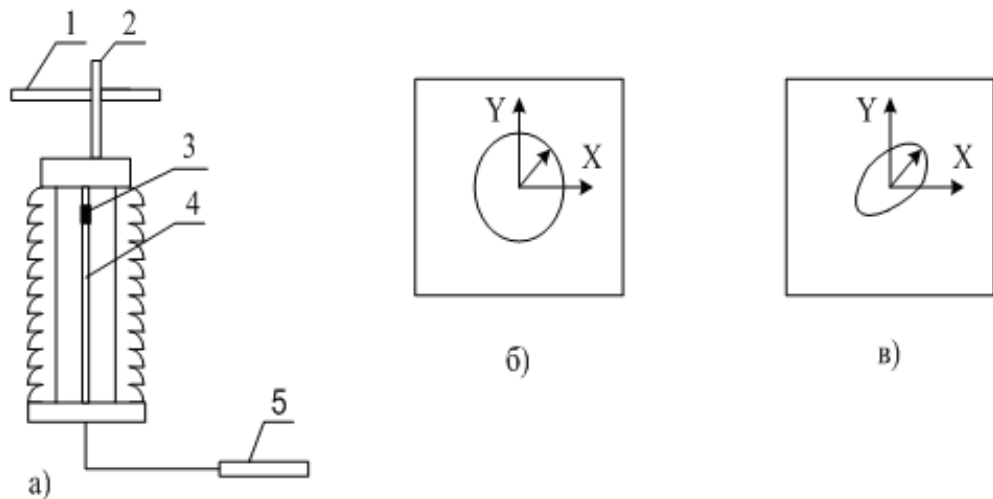


Рисунок 1.3 – Оптичний трансформатор напруги: а) конструкція; б) світлова поляризація сигналу при відсутності напруги; в) світлова поляризація при наявності напруги.

Технічна характеристика та основні розміри вимірювальних трансформаторів напруги приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічна характеристика та основні розміри вимірювальних трансформаторів напруги

Тип	Напруга, кВ		Маса, кг		Розміри, мм		
	первинна	вторинна	Т-ра з маслом	маса	висота	по поздовжній осі	по поперечній осі
НОС-0,5	0,38;	0,1	8	-	192	133	122
НТС-0,5	0,38;	0,1	20	-	282	340	132
НОМ-6	3; 6	0,1	23	5	355	275	275
НОЛ-11-605	6	0,1	16	-	225	250	185
ЗНОЛ-0,9-6	6	$\frac{0,1}{\sqrt{3}}$; $\frac{0,1}{3}$ або 0,1	30	-	308	335	190
НТМІ-6	3; 6	0,1	105	32	743	380	380
НОМ-10	10	0,1	36	7,3	495	315	315
ЗНОЛ-09-10	10	$\frac{0,1}{\sqrt{3}}$; $\frac{0,1}{3}$ або 0,1	33	-	308	335	190
НТМІ-10	10	0,1	190	70	914	472	472

Масляні вимірювальні трансформатори напруги виготовляють за ДСТ із первинними обмотками на всі стандартні напруги електричних мереж і вторинними на напруги 100; $100/\sqrt{3}$ і 100:3 В. У схемах електроустановок напругою 6-10 кВ використовують однофазні трансформатори НОЛ-11-06, ЗНОЛ-09, масляні НОМ-6 і НОМ-10, трифазні НТМК-6 і НТМК-10 і трифазні п'ятистержневі НТМІ-6, НТМІ-10, що мають спеціальну обмотку контролю ізоляції. У п'ятистержневому трансформаторі два додаткових стрижні магнітопровода дозволяють замикатися магнітному потоку нульової послідовності при однофазних замиканнях на землю в мережі. У пристроях до 1000 В застосовують трансформатори НІС-0,5 і НТС-0,5 [17].

На рис. 1.4 приведені схеми увімкнення вимірювальних трансформаторів напруги

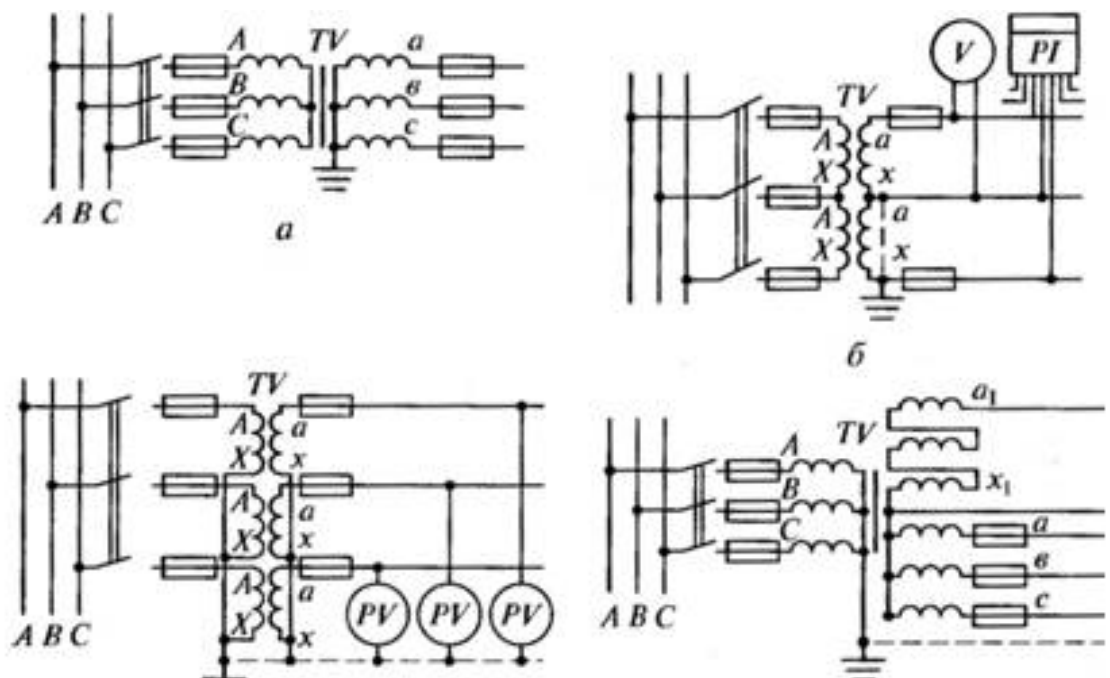


Рисунок 2.4 – Схеми увімкнення вимірювальних трансформаторів напруги: а - однофазного для виміру напруги, б - двох однофазних для живлення обмоток лічильників, ватметрів, в - трифазного двох обмоткового для живлення обмоток вольтметрів, лічильників, ватметрів, г - трифазного трьох обмоткового для живлення від основної обмотки різних приладів виміру й обліку, а від додаткових обмоток - приладів контролю ізоляції й реле захисту від замикань на землю; 1 - роз'єднувач, 2 - запобіжник ПКТ, 3, 4, 5 – трансформатори

Деякі типи вимірювальних трансформаторів напруги розглянуто нижче.

Висновки до розділу 1

Вимірювальний трансформатор напруги зменшує її величину до безпечного рівня та ізолює електричну мережу, до якої приєднано первинну обмотку, від електричного кола, в яке ввімкнено вимірювальні прилади або їхні окремі кола. За допомогою вимірювальних трансформаторів великі значення електричних величин можна вимірювати приладами, що мають невеликі межі вимірювання і порівняно невисоку міцність ізоляції.

Номінальна потужність або номінальний опір навантаження вказується на щитку трансформатора. Це потужність, яку можна отримати від трансформатора без втрати точності, що відповідає її класу.

Вимірювальні трансформатори напруги бувають однофазними і трифазними, двохобмоточними й трьохобмоточними, масляними і сухими. Масляні мають цілий ряд недоліків: необхідність постійного нагляду та періодичної заміни масла; непридатність до установки в приміщеннях з підвищеною пожежною небезпекою і для пересувних установок в умовах бездоріжжя та тряски; більші масу та розміри. Трансформатори напруги з литою ізоляцією із епоксидних смол позбавлені зазначених недоліків.

В розділі приведено умовні позначення вимірювальних трансформаторів напруги, їх технічні характеристики, принципові схеми і схеми увімкнення.

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ РІЗНИХ ВИДІВ ТА СХЕМИ ЇХ З'ЄДНАННЯ

2.1. Конструктивні особливості будови вимірювального трансформатора напруги типу ЗНОЛ-9

Вимірювальний трансформатор напруги ЗНОЛ-9 на 3-10 кВ (рис. 2.1), на відміну від НОЛ, має один заземлений високовольний вивід і дві вторинні обмотки. Напряга основної вторинної обмотки 100:3, а додаткової у залежності від призначення 100/3; 100; 127 В.

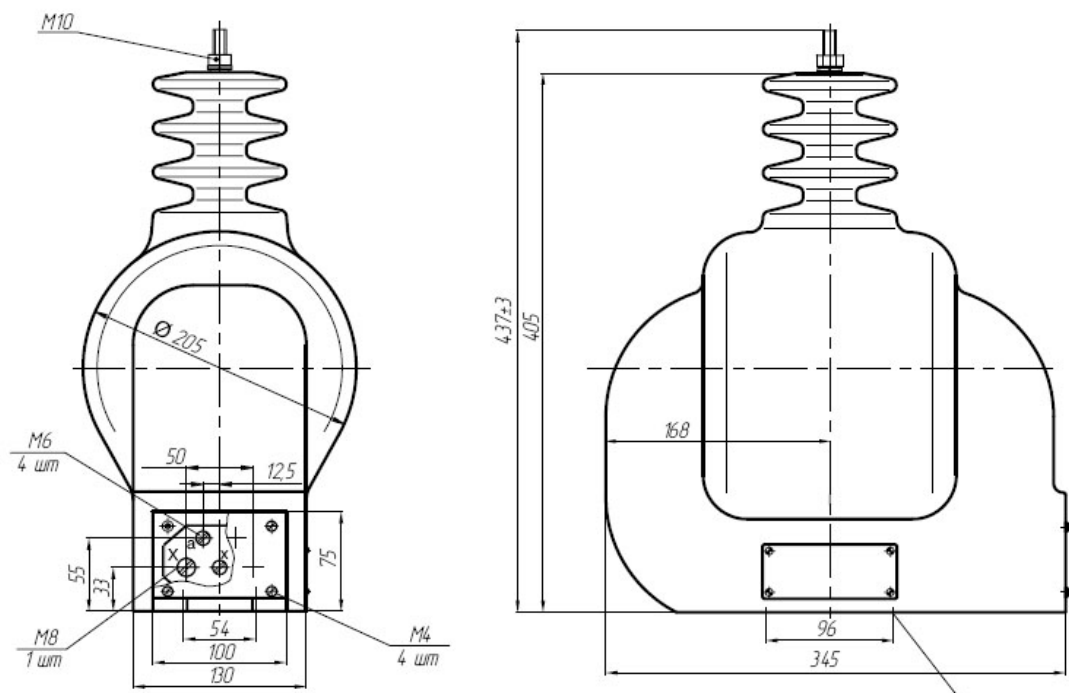


Рисунок 2.1 – Трансформатор ЗНОЛ - 9

Трансформатор являє собою магнітопровід стрижневого типу з холоднокатаної сталі з обмотками, розташованими на ньому концентрично. Магнітопровід і обмотки, залиті епоксидною смолою, утворюють єдиний

литий блок. Первинна обмотка екранована алюмінієвою фольгою. Один кінець первинної обмотки заземлений і виведений поруч із выводами вторинної обмотки в нижній частині блоку. Другий кінець первинної обмотки приєднаний до шпильки, що, виходячи через приплив у верхній частині блоку, утворюючи високовольтний вивід. Литий блок кріплять на сталевій підставі, електрично з'єднаний з магнітопроводом. На підставі розташований болт заземлення.

2.2. Конструктивні особливості будови вимірювальних трансформаторів напруги типу ЗНОМ і ЗНОМП

Вимірювальні трансформатори напруги ЗНОМ-27 і ЗНОМП-40,5 використовуються для включення в мережу напругою 27 і 35 кВ.

Трансформатори напруги типу ЗНОМ-27 і ЗНОМП-40,5 (ЗНОМП-35) є однофазними масляними трансформаторами зовнішньої установки. Вони мають шихтований сердечник з електротехнічної сталі, на який намотані вторинна і первинна багат шарова циліндрична обмотка з тонкого мідного дроту круглого перетину. Вимірювальний трансформатор напруги типу ЗНОМ і ЗНОМП показано на рис. 2.2.

Активна частина трансформатора поміщена в корпус, на якому розташована коробка вторинних виводів, бобишка заземлення, табличка з технічними даними, отвори для монтажу на фундамент або опору. Ізоляція вимірювального трансформатора напруги виконана з ізоляційного трансформаторного паперу, висушеного під вакуумом і просоченого трансформаторним маслом. Високовольтний вивід обмотки проходить через порцелянову покрішку, заповнену трансформаторним маслом. Зверху порцелянаної покрішки розташований маслорозширювач з вузлом герметизації. Конструкція трансформатора напруги і наявність вузла герметизації виключає необхідність перевірки характеристик трансформаторного масла протягом всього терміну експлуатації при

збереженні його високих технічних характеристик. Вимірювальний трансформатор напруги ЗНОМП-40,5 (ЗНОМП-35) забезпечує облік електроенергії в класі точності 0,2 [2].



Рисунок 2.2 – Вимірювальний трансформатор напруги типу ЗНОМ і ЗНОМП

Трансформатори напруги ЗНОМ-27 і ЗНОМП-40,5 (ЗНОМП-35) мають надійну і стабільну працездатність у всьому допустимому діапазоні робочих температур, кліматичних і механічних навантажень, а також при забрудненні навколишнього середовища, маючи питому довжину шляху витоку 2,95 і 2,25 см / кВ відповідно.

2.3. Будова вимірювальних трансформаторів напруги типу НОМ

Вимірювальний трансформатор напруги НОМ показаний на рис. 2.3. Він є однофазним масляним трансформатором у вигляді сердечника з листової сталі, на якому розташовані первинна і вторинна обмотки. Сердечник поміщений у сталевий бак 1 зі знімною кришкою. У неї

вмонтовані прохідні ізолятори 2 й 3, через які первинна обмотка з'єднується з мережею напругою 6-10 кВ, а вторинна - з різними приладами [2].

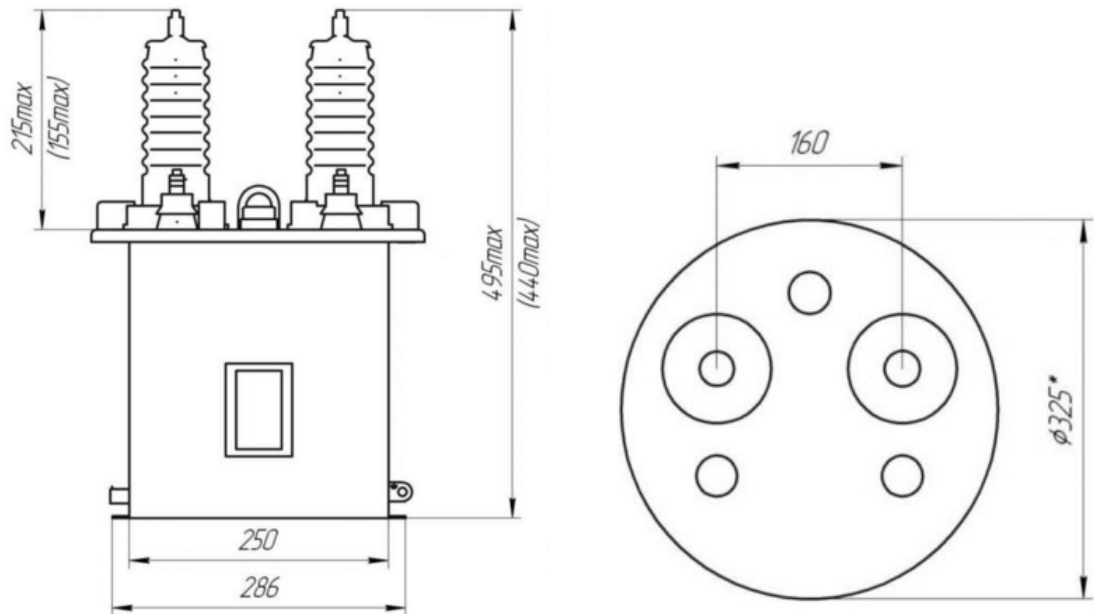


Рисунок 2.3 – Вимірювальний масляний однофазний трансформатор напруги НОМ

Для ізоляції обмоток від стінок бака і створення кращих умов охолодження бак заповнюють трансформаторним маслом через отвір у кришці, нормально закритим гвинтовою пробкою. У нижній частині бака знаходиться зливальна пробка. Для заземлення на баці трансформатора є болт заземлення 4.

Трансформатор напруги НОМ-11-06 - однофазний з литою ізоляцією (рис. 2.4). Він має магнітопровід броньового типу з холоднокатаної сталі, на середньому стрижні якого розташовані обмотки. Вторинна обмотка трансформатора є внутрішньою, первинна - зовнішньою. Кінці А і Х первинної обмотки з'єднуються з високовольтними виводами, що закінчуються контактним пристроєм на верхній частині трансформатора. Кінці вторинних обмоток а.1, а2 і х підведені до контактних затисків у нижній частині трансформатора. Ізоляція первинної і вторинної обмоток

просочена епоксидним компаундом, що має гарну адгезію (зчеплення). Епоксидним компаундом заливають магнітопровід і обмотки, утворюючи литий блок [2].

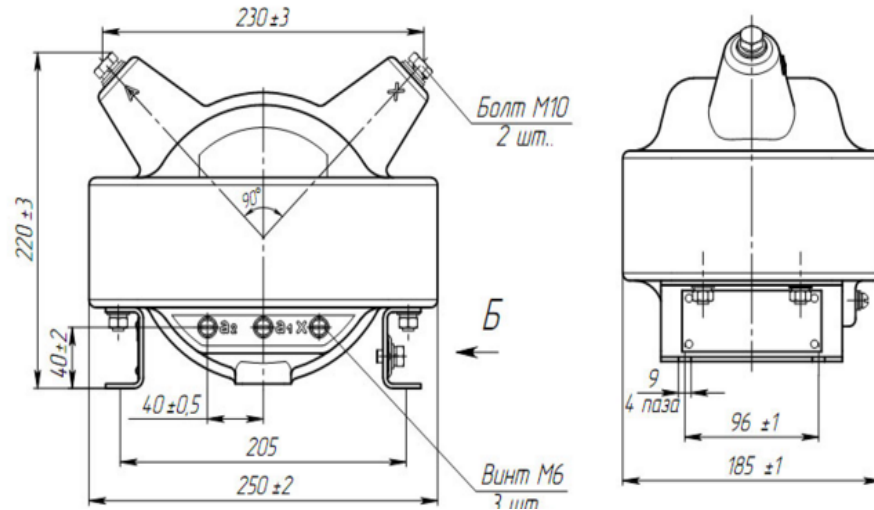


Рисунок 2.4 – Трансформатор НОМ-11-06

Литий блок за допомогою кронштейнів, електрично з'єднаних з магнітопроводом, може кріпитися до конструкцій у будь-якому положенні. На одному із кронштейнів є болт заземлення.

Трансформатори НІС-0,5 і НТС-6,5 на напругу 500/100 В виготовляють сухими, без масла. Магнітопровід зовні стягується за допомогою шпильок і пластинок зі смугового або кутового заліза, що закінчуються лапками для кріплення трансформатора на конструкціях.

Обмотки трансформатора із зовнішніми ланцюгами з'єднують на двох текстолітових планках затисків, укріплених над магнітопроводом. Обмотки трансформатора надійно ізолюють пресшпаном, а їхні виводи між планкою затисків і котушкою обмотки розміщують у трубку з ізоляційного матеріалу. У нижній частині магнітопровода є болт заземлення.

2.4. Будова вимірювальних трансформаторів напруги типу НКФ і НКФ-М

Вимірювальні трансформатори напруги серії НКФ і НКФ-М однофазні, індуктивні, масляні, зовнішньої установки, в порцеляновій покривці для включення в мережі з номінальною напругою від 66 до 500 кВ.

Зовнішній вигляд вимірювальних трансформаторів напруги НКФ і НКФ-М приведений на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 –Зовнішній вигляд вимірювального трансформатора напруги серії НКФ і НКФ-М

Вимірювальні трансформатори напруги виконані за каскадною схемою: на клас напруги 66, 110 і 132 кВ - одноблокові, на 150, 220 і 330 кВ - двохблокові, а на 400 і 500 кВ - трьохблокові. Кожен блок трансформатора має свою активну частину і обмотки з електростатичними екранами. Активна частина поміщена в порцелянову покривку, заповнену трансформаторним маслом.

Опорою трансформатора (блоку) є цоколь, на який монтується активна частина і порцелянова покривка. Цоколь має зливний пристрій, коробку вторинних виводів, кабельну муфту, бобишки заземлення і табличку з технічними даними.

Магнітопровід виготовлений з пластин анізотропної, холоднокатаної електротехнічної сталі.

Конструкція обмоток - циліндрична, багат шарова.

Ізоляція трансформатора напруги виконана з ізоляційного трансформаторного паперу, висушеного під вакуумом і просоченого трансформаторним маслом.

Електропровідні екрани на обмотках і магнітопроводах покращують стійкість трансформаторів напруги проти ударних атмосферних перенапруг і знижують рівень часткових розрядів [2].

2.5. Конструктивні особливості вимірювальних трансформаторів напруги типу НКФА і ЕТН

Вимірювальні трансформатори напруги серії НКФА - однофазні, електромагнітні, масляні, чотирьохобмоткові, антирезонансні, зовнішньої установки. Вони призначені для перетворення електричної напруги змінного струму частотою 50 Гц або 60 Гц з метою його подальшого вимірювання та подачі на входи засобів вимірювальної техніки, пристроїв захисту і сигналізації .

Трансформатори напруги серії НКФА виготовляються на класи напруги від 110 кВ до 500 кВ.

Основними відмінностями трансформаторів напруги НКФА, від трансформаторів напруги серій НКФ і НКФ-М, є стійкість до ферорезонансних явищ та наявність 3-х вторинних обмоток (НКФ і НКФ-М мають 2-і вторинні обмотки).

Трансформатори напруги серії НКФА виготовляються як негерметичні, так і герметичні. Герметизація здійснюється за допомогою компенсатора. Трансформатор напруги типу НКФА показано на рис. 2.6.



Рисунок 2.6 – Вимірювальний трансформатор напруги серії НКФА

Вимірювальні трансформатори напруги серії ЕТН - ємнісні, однофазні, масляні, чотирьохобмоткові, антирезонансні, зовнішньої установки. Вони призначені для застосування в електричних ланцюгах змінного струму частотою 50 Гц із заземленою нейтраллю, з метою передачі сигналу вимірювальної інформації приладам вимірювання, захисту, автоматики, сигналізації і керування, а також для забезпечення високочастотного зв'язку.

Трансформатори напруги серії ЕТН мають антиферрорезонансні властивості, представляють собою єдину конструкцію ємнісного модуля і електромагнітного пристрою [2].

Трансформатори серії ЕТН виготовляються на класи напруги від 110 кВ до 500 кВ. Трансформатори ЕТН мають герметичну конструкцію. На рис. 2.7 зображено трансформатор напруги типу ЕТН.

Основною відмінністю трансформаторів напруги ЕТН від трансформаторів напруги серій НКФ, НКФ-М, НКФА є наявність виводу для підключення апаратури високочастотного зв'язку.



Рисунок 2.7 – Вимірювальний трансформатор напруги типу ЕТН

2.6. Схеми з'єднання вимірювальних трансформаторів напруги

Наведемо літерні позначення трансформаторів: перша літера вказує на кількість фаз (О — однофазний, Т — трифазний). Наступна (одна або дві літери) розшифровують вид охолодження. Літерами С, СЗ, СТ, СД позначають — сухі трансформатори (природне повітряне, захищене, герметичне виконання і з повітряним дуттям), для масляних трансформаторів — М, МУ, МВ (з природною циркуляцією повітря і масла, з примусовою циркуляцією масла, води і природною циркуляцією масла) [2].

Буквою Т позначають триобмоткові трансформатори (двообмоткові позначення не мають), буквою Н — трансформатори з пристроєм РПН.

Номінальну потужність і клас напруги позначають через тире після букв у вигляді дробу (чисельник — номінальна потужність у кіловольт-амперах, знаменник — величина напруги трансформатора в кіловольтах).

Виконання трансформаторів, призначених для роботи в певних кліматичних районах, позначають буквами У, ХЛ, Т (з помірним, холодним, тропічним кліматом).

За категорією розміщення при експлуатації розрізняють такі виконання трансформаторів: 1 і 2 (встановлення на відкритому повітрі і в приміщенні); 3 і 4 (закриті приміщення з природною вентиляцією і з штучно регульованими кліматичними умовами); 5 (приміщення з підвищеною вологістю) [2].

Трансформатори напруги розрізняють: за числом фаз - однофазні і трифазні; за числом обмоток - двообмоточні й трьохобмоточні; за класом точності; за способом охолодження – з масляним охолодженням і природним повітряним (сухі); за родом установки – внутрішня і зовнішня. У мережах, підстанціях і РУ промислових підприємств застосовують трансформатори напруги класів точності 1 і 3, а для обліку електроенергії - класу 0,5.

Букви в умовній позначці трансформаторів напруги означають наступне: Н - трансформатор напруги, О - однофазний, М - масляний, З - сухий, К - залитого компаундом (у позначенні НОСК) або з компенсаційною обмоткою (у позначенні НТМК), И – п'ятистержневий, Т - трифазний (у позначенні НТМІ). Цифри після букв указують номінальну напругу обмотки ВН. Виводи первинної обмотки ВН трифазних трансформаторів маркують буквами А, В, С, а вторинної НН - а, б, з і цифрою 0. В однофазних трансформаторів виводи мають відповідно позначення А-Х, а-х.

Схема включення однофазного вимірювального трансформатора напруги представлена на (рис. 2.8). Запобіжники FV1 і FV2 захищають мережу високої напруги від пошкоджень первинної обмотки TV. Запобіжники FV3 і FV4 (або автоматичні вимикачі) захищають TV від пошкоджень в навантаженні.

Схема з'єднання двох однофазних трансформаторів напруги TV1 і TV2 у відкритий трикутник (рис. 2.9). Трансформатори включені на дві міжфазні напруги, наприклад UAB і UBC. Напруга на затискачах вторинних обмоток

TV завжди пропорційна міжфазним напругам, підведеним з первинної обмотки. Між проводами вторинного ланцюгу включається навантаження (реле).

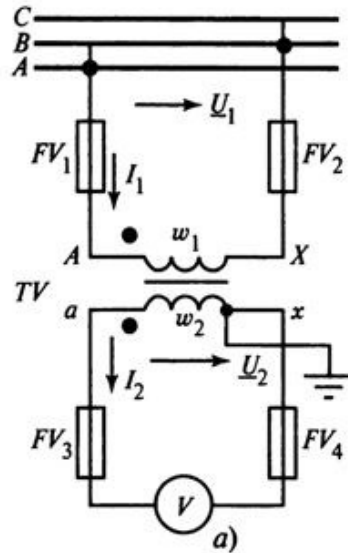


Рисунок 2.8 – Схема включення вимірювального трансформатора напруги

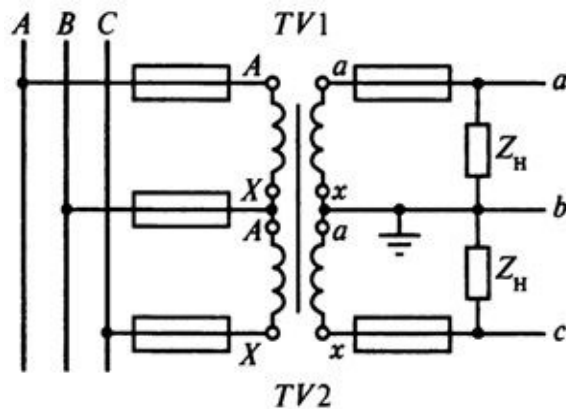


Рисунок 2.9 – Схема з'єднання двох однофазних трансформаторів напруги у відкритий трикутник

Схема дозволяє отримувати всі три міжфазні напруги U_{AB} , U_{BC} та U_{CA} (не рекомендується приєднувати навантаження між точками a і c , так як

через трансформатори буде протікати додатковий струм навантаження, що викликає підвищення похибки).

Схема з'єднання трьох однофазних трансформаторів напруги в зірку, наведена на (рис. 2.10). Вона призначена для отримання напруг фаз відносно землі і міжфазних (лінійних) напруг. Три первинні обмотки ТН з'єднуються в зірку. Початок кожної обмотки Л приєднуються до відповідних фаз лінії, а кінці Х об'єднуються в загальну точку (нейтраль N1) і заземлюються [17].

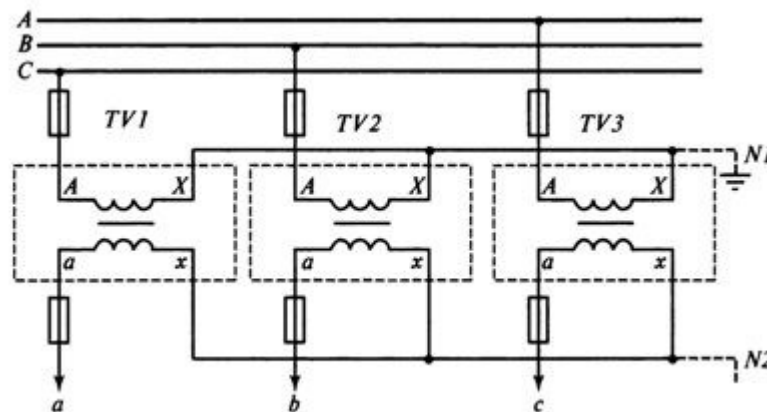


Рисунок 2.10 – Схема з'єднання трьох однофазних трансформаторів напруги в зірку

При такому включенні до кожної первинної обмотки трансформатора напруги (ТН) підводиться напруга фази ЛЕП відносно землі. Кінці вторинних обмоток ТН (x) також з'єднують в зірку, нейтраль якої N2 з'єднується з нульовою точкою навантаження. У наведеній схемі нейтраль первинної обмотки (точка N1) жорстко пов'язана із землею і має потенціал, рівний нулю, такий же потенціал матимуть нейтраль N2 і пов'язана з нею нейтраль навантаження.

При такій схемі фазні напруги на вторинній стороні відповідають фазним напруженням щодо землі первинної сторони. Заземлення нейтралі первинної обмотки трансформатора напруги і наявність нульового проводу у

вторинному ланцюзі є обов'язковою умовою для отримання фазних напруг щодо землі.

Схема з'єднання однофазних трансформаторів напруги в фільтр напруги нульової послідовності приведена на рис. 2.11.

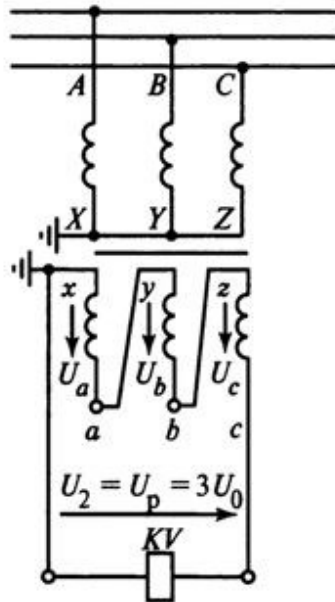


Рисунок 2.11 – Схема з'єднання трьох однофазних трансформаторів напруги в фільтр напруг нульової послідовності

Первинні обмотки з'єднані в зірку із заземленою нейтраллю, а вторинні - послідовно, утворюючи незамкнений трикутник. До зажимів розімкнутих вершин трикутника приєднуються реле напруги KV. Напруга U_2 на затискачах розімкнутого трикутника дорівнює геометричній сумі напруг вторинних обмоток:

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_a + \underline{U}_b + \underline{U}_c = 3U_0$$

Розглянута схема є фільтром нульової послідовності (НП). Необхідною умовою роботи схеми в якості фільтра НП є заземлення нейтралі первинної обмотки ТН. Застосовуючи однофазні ТН з двома вторинними обмотками,

можна з'єднати одну з них за схемою зірки, а другу - за схемою розімкнутого трикутника, як показано на рис. 2.12.

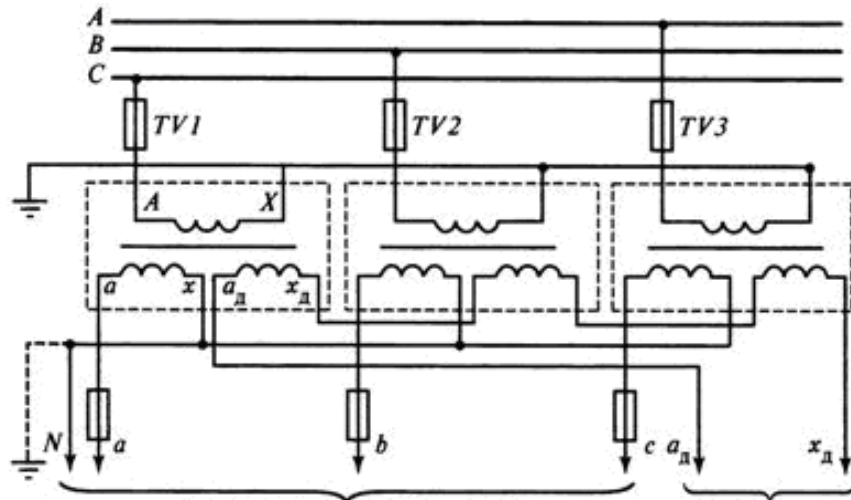


Рисунок 2.12 – Схема включення трьох однофазних трансформаторів напруги для контролю ізоляції

Номінальна вторинна напруга у обмотки, призначеної для з'єднання в розімкнутий трикутник, приймається рівною для мереж із заземленою нейтраллю 100 В, а для мереж з ізольованою нейтраллю 100/3 В.

Схема включення трифазного трьохстержневого трансформатора напруги показана на рис. 2.13. Нейтраль ТН заземлена.

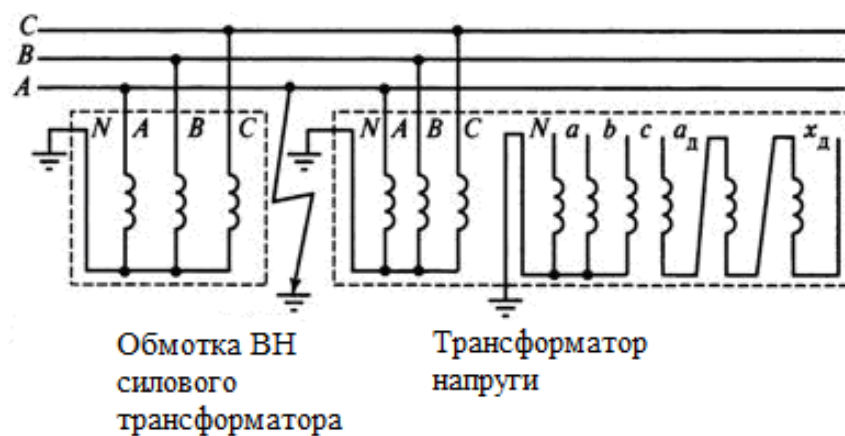


Рисунок 2.13 – Схема включення трифазного трьохстержневого трансформатора напруги в системі із заземленою нейтраллю

У п'яти стержневих трансформаторах, схема яких приведена на рис. 2.14, для замикання потоків Φ_0 служать четвертий і п'ятий стрижень.

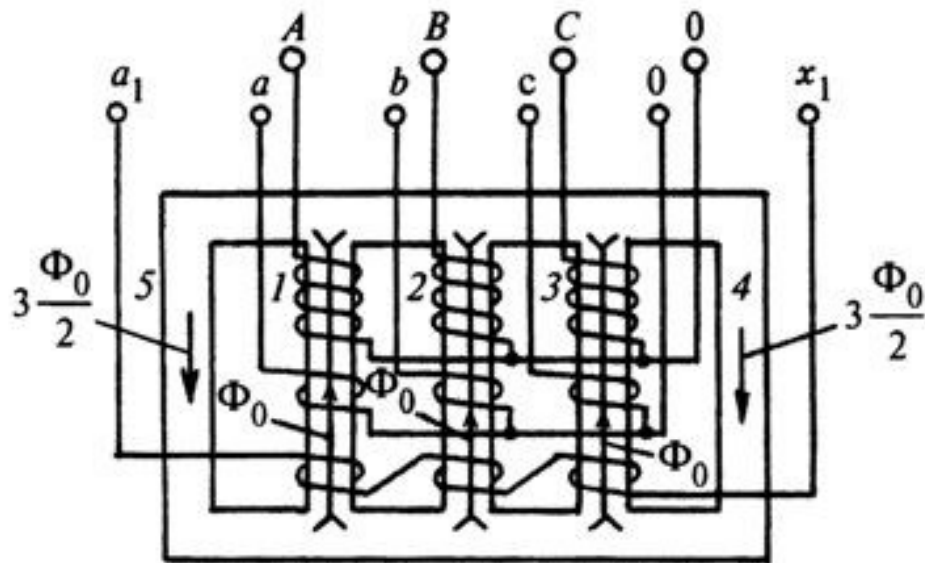


Рисунок 2.14 – Шляхи замикання магнітних потоків нульової послідовності в трифазному п'яти стержневому трансформаторі напруги

Для отримання $3U_0$ від трифазного п'яти стержневого трансформатора напруги на кожному з його основних стрижнів 1, 2 і 3 виконується додаткова (третья) обмотка, з'єднана за схемою розімкнутого трикутника.

Напруга на виводах цієї обмотки з'являється лише при КЗ на землю, коли виникають магнітні потоки НП, замикаються 4 і 5 стрижні магнітопровода. Схеми з п'яти стержневим ТН дозволяють отримувати одночасно з напругою НП фазні і міжфазні напруги. Застосовуються для вимірювання тиску і контролю ізоляції в мережах з ізольованою нейтраллю.

При вимірюванні потужності або енергії трифазної системи застосовується схема включення трансформатора напруги, наведена на рис. 2.15.

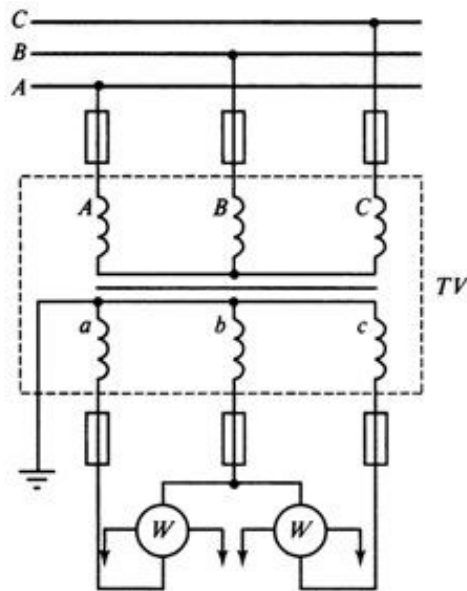


Рисунок 2.15 – Схема включення трифазного трьохстержневого трансформатора напруги для вимірювання потужності за допомогою методу двох ватметрів

Висновки до розділу 2

Розділ присвячений висвітленню конструктивних особливостей вимірювальних трансформаторів напруги різних типів: ЗНОЛ-9 на 3-10 кВ, ЗНОМ-27 і ЗНОМП-40,5 на 27 і 35 кВ, НОМ-11-06 на 6-10 кВ, НКФ і НКФ-М на 66 - 500 кВ, НКФА на 110 - 500 кВ.

Приведено схеми з'єднання вимірювальних трансформаторів напруги (у відкритий трикутник, в зірку, в фільтр напруг нульової послідовності). Надана характеристика та сфери застосування тієї чи іншої схеми з'єднання або включення вимірювальних трансформаторів напруги.

РОЗДІЛ 3. ВИБІР ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ

3.1. Вибір вимірювальних трансформаторів напруги

При виборі вимірювальних трансформаторів напруги враховують то, що первинна обмотка включена на напругу мережі, а до вторинної обмотки приєднані паралельно котушки вимірювальних приладів і реле. Для безпеки обслуговування один вихід вторинної обмотки заземлений.

Номінальний коефіцієнт трансформації визначається за допомогою наступного виразу:

$$K_U = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}, \quad (3.1)$$

Розсіювання магнітного потоку і втрати в осерді приводять до похибки вимірювань:

$$\Delta U\% = \frac{K_U U_2 - U_1}{U_1} 100. \quad (3.2)$$

Аналогічно трансформаторам струму, вектор вторинної напруги тут зсунутий щодо вектора первинної напруги не точно на кут 180° . Це визначає кутову похибку. У залежності від номінальної похибки розрізняють класи точності 0,2; 0,5; 1; 3. Конструкцією трансформаторів напруги передбачається компенсація похибки за напругою шляхом зменшення числа витків первинної обмотки, а також компенсація кутової похибки за рахунок спеціальних 37абл.37суючи обмоток.

Сумарне споживання обмоток вимірювальних приладів і реле, підключених до вторинної обмотки трансформатора напруги, не повинне перевищувати номінальну потужність трансформатора напруги, інакше це приведе до збільшення похибок.

Трансформатори напруги вибираються за наступними умовами:

- за напругою установки:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (3.3)$$

- за конструкцією та схемою з'єднання обмоток;
- за класом точності;
- за вторинним навантаженням:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (3.4)$$

де $S_{ном}$ – номінальна потужність в обраному класі точності (для однофазних трансформаторів, з'єднаних у зірку, слід взяти сумарну потужність усіх фаз);

$S_{2\Sigma}$ - навантаження всіх вимірювальних приладів і реле, приєднаних до трансформатора напруги.

Для прикладу розглянемо умови вибору вимірювального трансформатора напруги, встановленого біля генератора, $U_{уст} = 20$ кВ.

Схема включення вимірювальних приладів до ТН приведена на рис. 3.1.

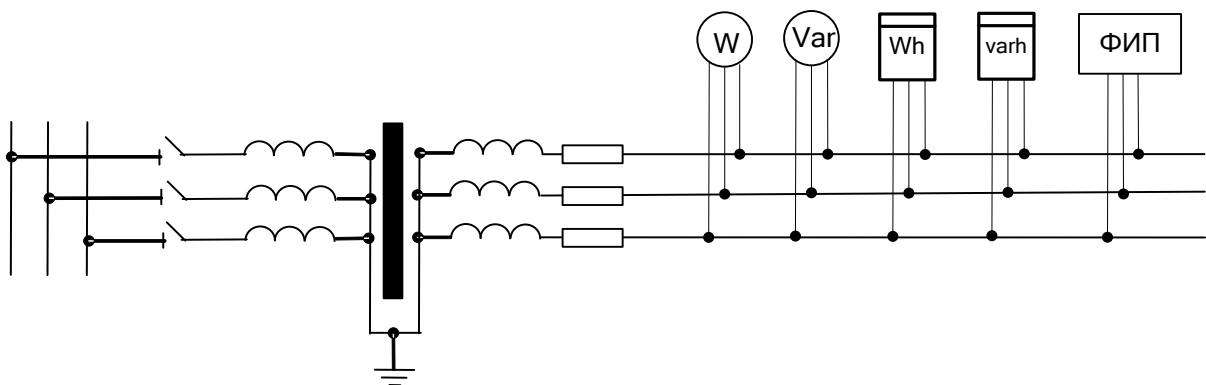


Рисунок 3.1 – Схема включення вимірювальних приладів до ТН

Трансформатор напруги типу ЗНОМ-20-63У2, вбудований в КЕС:

$$U_{н1} = 20 \text{ кВ.}$$

Перевіримо цей трансформатор по вторинному навантаженню:

$$S_{2н} \geq S_{2розр.}, \quad (3.5)$$

де $S_{2H} = 75 \cdot 3 = 225$ (В·А) (в класі точності 0,5) – вторинна номінальна потужність трансформатора напруги; $S_{2розр.}$ – розрахункове навантаження трансформатора напруги.

Для визначення $S_{2розр.}$ Складемо таблицю навантаження трансформатора напруги (39абл.. 3.1).

Таблиця 3.1 – Параметри трансформаторів напруги

Назва приладу	Тип	S однієї катуш ки	К-ть катушо к	cos φ	sin φ	P, Вт	Q, В·Ар
Вольтметр	Е-335	2	1	1	0	2	—
Ватметр	Д-335	1,5	2	1	0	3	—
Ватметр (щит турбіни)	Д-335	1,5	2	1	0	3	—
Ватметр	Д-335	1,5	2	1	0	3	—
Датчик активної потужності	Е-829	10	—	1	0	10	—
Датчик реактивної потужності	Е-830	10	—	1	0	10	—
Лічильник активної енергії	И680	2 Вт	2	0,38	0,925	4	9,7
Ватметр реєструючий	Н-348	10	2	1	0	20	—
Вольтметр реєструючий	Н-344	10	1	1	0	10	—
Частотомір	Е-372	3	1	1	0	3	—
Частотомір (щит турбіни)	Е-372	3	1	1	0	3	—
Сумарне значення						71	9,7

Розрахункове навантаження:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}; \quad (3.6)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{71^2 + 9,7^2} = 71,65 \text{ (В·А)};$$

$$S_{2розр} = 71,65 \text{ В·А} < S_{2H} = 225 \text{ В·А.}$$

Отже умова виконується і трансформатор буде працювати в обраному класі точності [17].

Вибір інших трансформаторів напруги проводимо аналогічно.

Вибрана контрольно-вимірювальна апаратура буде працювати в класі точності, визначеному технічними вимогами, що забезпечує точний облік електроенергії і контроль за режимом роботи станції.

На ЛЕП – 35 кВ встановлюємо трансформатор напруги ЗНОМ-35-65У1.

Перевіримо цей трансформатор по вторинному навантаженню:

$$S_{2н} \geq S_{2розр.}, \quad (3.7)$$

де $S_{2н} = 150 \cdot 3 = 450$ (В·А) (в класі точності 0,5 [2]) вторинна номінальна потужність трансформатора напруги;

$S_{2розр.}$ – розрахункове навантаження трансформатора напруги.

Для визначення $S_{2розр.}$ Використовуємо дані 40абл.. 3.2. Схема підключення приладів до трансформатора напруги наведена на рис. 3.1.

Таблиця 3.2 – Прилади підключенні до ТН

Прилад	Тип	$S_{обм},$ В·А	$n_{обм},$ шт	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{прил},$ шт	Загальна потужність	
							P, Вт	Q, Вар
Ватметр	Д-335	1,5	1	1	0	1	3,0	-
Варметр	Д-335	1,5	1	1	0	1	3,0	-
Фіксуючий прилад	ФІП	3	-	1	0	1	3,0	-
Лічильник активної енергії	И-680	2,0 Вт	2	0,925	0,38	1	4,0	9,7
Лічильник реактивної енергії	И-676	3,0 Вт	2	0,925	0,38	1	6,0	14,5
Разом							19	24,2

Розрахункове навантаження:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2};$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{19^2 + 24,2^2} = 30,8 \text{ (В}\cdot\text{А)};$$

$$S_{2н} = 150 \cdot 3 = 450 \text{ (В}\cdot\text{А)};$$

$$S_{2\Sigma} = 30,8 \text{ (В}\cdot\text{А)} < S_{2н} = 450 \text{ (В}\cdot\text{А)},$$

Отже, умова виконується, трансформатор буде працювати в обраному класі точності. Вся обрана контрольно-вимірювальна апаратура буде працювати в класі точності, встановленому технічними вимогами, що забезпечує точний контроль електроенергії і контроль за режимом роботи станції.

Розглянемо умови вибору трансформатора напруги для ЛЕП – 220 кВ. Вибираємо трансформатор напруги НКФ-330-58.

Перевіримо цей трансформатор по вторинному навантаженню. Відповідно до (3.7) $S_{2н} = 400 \cdot 3 = 1200 \text{ (В}\cdot\text{А)}$ (в класі точності 0,5 [2]) вторинна номінальна потужність трансформатора напруги.

Для визначення розрахункового навантаження трансформатора напруги $S_{2розр}$. Складемо таблицю навантаження трансформатора напруги (табл. 3.3). Схема підключення приладів до трансформатора напруги наведена на рис. 3.1.

Розрахункове навантаження:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2};$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{29^2 + 24,2^2} = 37,8 \text{ (В}\cdot\text{А)};$$

$$S_{2\Sigma} = 37,8 \text{ (В}\cdot\text{А)} < S_{2н} = 1200 \text{ (В}\cdot\text{А)},$$

умова виконується, трансформатор буде працювати в обраному класі точності.

Таблиця 3.3 – Прилади підключені до ТН

Прилад	Тип	$S_{обм}$ В·А	$n_{обм}$ шт	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{прил}$ шт	Загальна потужність	
							P, Вт	Q, Вар
Ватметр	Д-335	1,5	1	1	0	1	3,0	-
Варметр	Д-335	1,5	1	1	0	1	3,0	-
Фіксуєчий прилад	ФІП	3	-	1	0	1	3,0	-
Лічильник активної енергії	И-680	2,0 Вт	2	0,925	0,38	1	4,0	9,7
Лічильник реактивної енергії	И-676	3,0 Вт	2	0,925	0,38	1	6,0	14,5
Разом							19	24,2

Розглянемо для прикладу також вимірювальний трансформатор напруги в колі ЛЕП-330 кВ. Дані для розрахунків беремо з таблиці 3.4. Встановлюємо ТН типу НКФ-330-73У1.

Таблиця 3.4 – Вторинне навантаження ТН

Прилад	Тип	$S_{обм}$ ВА	$n_{обм}$ шт	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{прил}$ шт	Загальна потужність	
							P, Вт	Q, ВА
Ватметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Варметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Датчик активної потужності	Е-829	10	-	1	0	1	10	-
Датчик реактивної потужності	Е-830	10	-	1	0	1	10	-
Фіксуєчий прилад	ФІП	3	-	1	0	1	3	-
Разом:							29	-

$$U_{1ном} = 330000 / \sqrt{3}B;$$

$$U_{2ном} = 100 / \sqrt{3}B;$$

$$U_{2дод} = 100B;$$

$$S_{2ном} = 400B \cdot A.$$

Перевіряємо ТН на табл. точності.

Вторинне навантаження:

$$S_{2\Sigma} = 29BA < S_{2ном} = 3 \cdot 400 = 1200BA;$$

Для з'єднання ТН з приладами використовуємо контрольний кабель марки АКРВГ з жилами перерізом $2,5\text{мм}^2$.

3.2. Експлуатація та обслуговування вимірювальних трансформаторів напруги

Вимірювання опору ізоляції первинних і вторинних обмоток проводиться згідно з місцевим графіком, але не рідше одного разу за три роки мегомметром на напругу 2500В. В 43табл. 3.5 приведені значення випробувальної напруги промислової частоти.

Згідно з місцевим графіком вимірюють тангенс кута діелектричних втрат ізоляції обмоток; випробовують підвищеною напругою ізоляцію первинних та вторинних обмоток, а також ізоляцію доступних стяжних болтів протягом 1 хв. В 43табл. 3.5 наведено випробувальну напругу промислової частоти для трансформаторного масла та ізоляторів, апаратів, трансформаторів напруги [14].

Трансформатори прийнято вважати найнадійнішими елементами в енергетичних системах. Дійсно, у порівнянні з іншими видами енергетичного обладнання (котлами, турбінами, генераторами) трансформатор відрізняється високою надійністю в експлуатації. Однак ця надійність досягається лише при дотриманні всіх технічних правил.

Таблиця 3.5 – Випробувальна напруга промислової частоти

Номіналь-на напруга	Заводська випробувальна напруга, кВ					
	Для обладнання з нормальною ізоляцією				Для обладнання з полегшеною ізоляцією	
	Ізолятори, випробовувані окремо	Апарат и	Т-ри струму	Т-ри напруги	Ізолятори, випробовувані окремо	Апарати, т-ри струму та напруги
3	25	24	24	24	4	13
6	32	32	32	32	21	21
10	42	42	42	42	32	32
15	57	55	55	55	48	48
20	68	65	65	65	—	—
35	100	95	95	95	—	—
60	150	140	140	105	—	—
100	265	250	250	200	—	—
150	340	320	320	275	—	—
220	490	470	470	400	—	—

У випадках будь-яких відхилень або порушень правил експлуатації, а також технологічної дисципліни виробництва трансформаторів або порушень діючих правил монтажу та транспортування трансформаторів виникає спочатку ненормальна їх робота, а потім, якщо заходи по виявленню та усуненню причин не приймаються, трансформатори виходять з ладу і відновити їх можна тільки за допомогою ремонту. Це технологічна причина необхідності ремонту трансформаторів [7].

Вимірювальні трансформатори напруги за своєю конструкцією і принципом роботи нагадують звичайні силові трансформатори, але відрізняються від них малою потужністю (максимальна потужність трансформатора напруги НОМ-10 становить $720 \text{ В} * \text{А}$) і виготовляються зі стороною високої напруги на всі напруги по ГОСТу від 0,38 до 500 кВ [14].

У розподільчих пристроях підстанції на 10 кВ застосовують переважно вимірювальні трансформатори напруги НОМ-10, НТМК-10 або НТМИ-10.

При ревізії вимірювального трансформатора напруги з виїмкою активної частини перевіряють стан обмоток в тих же обсягах, що й у силових трансформаторів.

Виявлені під час ревізії несправності усувають, а зниження опору ізоляції, внаслідок її зволоження, відновлюють шляхом сушіння активної частини трансформатора напруги. Вимірювальні трансформатори напруги при монтажі встановлюють на металевій рамі висотою 20 – 25 см, прикріпленій до підлоги камери.

Перед включенням в мережу маслонаповненого трансформатора напруги з-під верхньої трубки виймають герметизуючу шайбу для забезпечення вільного входу і виходу повітря [17].

Технологія ремонту вимірювального трансформатора напруги, правила розбирання, зняття і ремонт котушок, виконання намотувальних робіт при виготовленні котушок, ремонт пластин тощо дуже схожі з подібними роботами стосовно силового трансформатора. На весь час ремонту або монтажу первинні і вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів напруги в цілях безпеки повинні бути закорочені, так як випадкові зіткнення з тимчасовими провідниками, призначеними для освітлення, зварювання та вимірювань, можуть викликати зворотну трансформацію і напругу, небезпечну для людей.

Висновки до розділу 3

Вимірювальні трансформатори напруги вибираються за: напругою установки, конструкцією та схемою з'єднання обмоток, класом точності, вторинним навантаженням. В розділі на конкретних прикладах розглянуто їх вибір.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній бакалаврській роботі були розглянуті конструктивні особливості та застосування вимірювальних трансформаторів напруги. Було розглянуто класифікацію вимірювальних трансформаторів напруги та їх призначення. Зокрема вони можуть бути однофазними і трифазними, двообмоточними й трьохобмоточними, масляними і сухими. Досліджено принцип дії вимірювальних трансформаторів напруги та особливості їх маркування.

Було проаналізовано вимірювальні трансформатори напруги різних типів та їх конструктивні особливості, а саме: ЗНОЛ-9 на 3-10 кВ, ЗНОМ-27 і ЗНОМП-40,5 на 27 і 35 кВ, НОМ-11-06 на 6-10 кВ, НКФ і НКФ-М на 66 - 500 кВ, НКФА на 110 - 500 кВ. Приведено їх технічні характеристики, принципові схеми і схеми увімкнення. Приведено схеми з'єднання вимірювальних трансформаторів напруги (у відкритий трикутник, в зірку, в фільтр напруг нульової послідовності). Надана характеристика та сфери застосування тієї чи іншої схеми з'єднання або включення вимірювальних трансформаторів напруги.

Значна увага приділена вибору вимірювальних трансформаторів напруги, які вибираються за: напругою установки, конструкцією та схемою з'єднання обмоток, класом точності, вторинним навантаженням. В роботі на конкретних прикладах розглянуто їх вибір.

В ході виконання роботи було розглянуто умови експлуатації та обслуговування вимірювальних трансформаторів напруги. Вимірювання опору ізоляції первинних і вторинних обмоток трансформатора проводиться згідно з місцевим графіком, але не рідше одного разу за три роки мегомметром на напругу 2500В. Виявлені під час ревізії несправності усувають, а зниження опору ізоляції, внаслідок її зволоження, відновлюють шляхом сушіння активної частини трансформатора напруги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Матвійчук В.А., Штуць А.А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заочної форм навчання. Вінниця: ВНАУ, 2022. 103 с.
2. Види вимірювальних трансформаторів напруги. <http://www.etk-oniks.ru/Klass-napryazheniya-TN-110kV-i-vyshe.html>
3. Водяников В.Т. Економічна оцінка проектних рішень в енергетиці АПК. - М.: Колос, 2008. - 263 с.
4. Експлуатація силових трансформаторів [Електронний ресурс] // Електроенергетика - Режим доступу: http://forca.com.ua/instrukcii/pidstancii/ekspluataciya-silovyh-transformatorov_5.html.
5. Електропривод і автоматизація: Навчальний посібник / О.Ю.Синявський, П.І Савченко, Ю.М. Лавріненко та ін.; За ред. О.Ю.Синявського. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 586 с.
6. Лежнюк П.Д., Комар В.О. Регулювання напруги в електричних системах. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008.–171с.
7. Матвійчук В. А. Діагностування електрообладнання: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько. ВНАУ – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 140 с.
8. Матвійчук В.А. Технології наукових досліджень. Навч. посібник / Матвійчук В.А., Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є. - Вінниця: ВНАУ, Л 49 2015. - 190 с.
9. Матвійчук В. А. Електротехнології в АПК: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. П. Стаднійчук. ВНАУ – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 272 с.

10. Методичні рекомендації до розділу «Охорона праці» в дипломних роботах (для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Укл. – Бондаренко Є.А. – Вінниця, 2016.

11. Норми випробовувань електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. – К. ГРІФРЕ, М-во палива та енергетики України Об'єднання енергетичних підприємств, ДП МОУ «Воєнне видавництво України «Варта», 2007 – 262 с.

12. Обсяг і норми випробувань електрообладнання: / Під заг. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. РД 34.45- 51.300-00.М.: Вид-во НЦ ЕНАС, 2002. - 256 с.

13. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042– [Чинний від 01 грудня 1999 р.]. – К.: Міністерство охорони здоров'я України, 1999.

14. Технічне діагностування електрообладнання та контактних з'єднань електроустановок і повітряних ліній електропередачі засобами інфрачервоної техніки: СОУ-Н ЕЕ 20.577:2007. – Офіц. Вид. – К. М-во палива та енергетики України, ДП НЕК «Укренерго», Видавництво ДП «НТУКЦ АсЕлЕнерго», КВІЦ, 2007. – 122 с. – (Нормативний документ мінпаливенерго України. Методичні вказівки).

15. Трансформатори струму і напруги. <http://electric-tolk.ru/transformatory-toka-i-napryazheniya/>

16. Трансформатори напруги. http://raschet.info/view_sub_art.php?subart=1

17. Трансформатори напруги вимірювальні. Устройство, класифікація, принцип роботи <http://pue8.ru/relejnaya-zashchita/810-transformatory-napryazheniya-ustrojstvo-klassifikatsiya-printsip-raboty.html>

18. Гуменюк О.І. Технологія ремонту і експлуатація високовольтних вводів та їх конструктивні особливості. (Посібник): Довідково методичний посібник / Гуменюк О.І., Рубаненко О.Є., Остапчук О.М., Таловера В.Л., Шаповалов Ю.О. - К.: ДП «Науково-технічний учбово-консультаційний центр». - 2012. - 552 с. з іл.

19. Калетнік Г.М. Екологічна енергетика – основа розвитку економіки держави / Г.М.Калетнік, О.В.Климчук // Збалансоване природокористування. – 2013. – №2-3. – С. 14 – 17.

20. Лабзун М.П. Методи та засоби діагностування опорно-стрижневих ізоляторів: монографія / М.П. Лабзун, О.Є. Рубаненко, В.М. Кутін - Вінниця: ВНТУ, 2010. - 323 с.

21. Матвійчук В.А. Визначення якості функціонування ділянки із зниженим опором ізоляції мережі оперативного постійного струму за допомогою нейро-нечіткого моделювання / В.А. Матвійчук, О.Є. Рубаненко, О.О. Рубаненко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015 – №3. – С. 187-195.

22. Рубаненко О.Є. Вдосконалення методів і засобів діагностування високовольтних вимикачів: монографія / О.Є. Рубаненко. - Вінниця: ВНТУ, 2012. - 188 с.

23. Rubanenko O. E. Determination of optimal transformation ratios of EES transformers in conditions of incomplete information regarding the values of diagnostic parameters / O.E. Rubanenko, O. Kazmiruk, V. Bandura, V. Matvijchuk O. Rubanenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technology. – 2017. – №4. – P. 66 – 79.

ДОДАТКИ