

ТЕМА 3.2.
КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ
ПРИЛАДИ І ВИМІРЮВАЛЬНІ
ТРАНСФОРМАТОРИ

1. Вимірювальні прилади, що використовують на електростанціях і підстанціях

Щоб забезпечити високу надійність електропостачання в процесі експлуатації установки, треба постійно контролювати електричні параметри – напругу, струм, опір, потужність, енергію і частоту. Вимірювання цих величин дає змогу визначити якість і кількість електроенергії, урахувати її витрати, перевірити, чи дотримуються задані режими.

Вимірювати електричні величини можна за *прямого, посереднього і змішаного* (напівпосереднього) вмикання приладів у контрольоване коло. За прямого вмикання прилади в коло вмикаються безпосередньо, за посереднього – через спеціальні вимірювальні трансформатори струму й напруги, а за змішаного – частина обмоток вмикається в коло безпосередньо, а частина – через вимірювальні трансформатори.

На електростанціях і підстанціях найчастіше застосовують посереднє вмикання вимірювальних приладів, що забезпечує такі основні переваги:

- 1) можна використовувати прилади (що вмикаються до вторинної обмотки вимірювальних трансформаторів) із стандартними обмотками, розрахованими на напругу 100 В і струм 5 А;
- 2) вимірювальні прилади відокремлюються від напруги понад 380 В, завдяки чому підвищується безпека їх обслуговування;
- 3) значно полегшується контрольна проводка;
- 4) первинні кола захищені від замикання в контрольних проводках.

Безпосереднє вмикання приладів у вимірюване коло можливе лише за напруг, менших 380 В, і порівняно невеликих струмах.

Контрольно-вимірювальні прилади на електростанціях і підстанціях розміщують на головних щитах керування. Іноді частину цих приладів установлюють у приміщенні закритого розподільного пристрою або в машинному залі електростанції. На теплових електростанціях, крім головного щита керування, є місцеві щити з вимірювальними приладами для контролю за роботою електроустаткування окремих цехів.

Трансформатори струму й напруги здебільшого встановлюють у

закритих і відкритих розподільних пристроях. На електростанціях трансформатори струму іноді розміщують у машинному залі під генератором. З'єднують вторинні обмотки трансформаторів струму і напруги з вимірювальними приладами *контрольними кабелями*.

Номенклатуру і кількість контрольно-вимірювальних приладів для встановлення в окремих колах електричних станцій і підстанцій вибирають залежно від потужності, напруги і призначення цих кіл. Кількість приладів має забезпечувати достатню повноту інформації про роботу електроустановки і разом з тим бути наочною, не перевантажувати уваги.

На електричних станціях і підстанціях найчастіше використовують амперметри, вольтметри, ватметри, лічильники активної і реактивної енергії і частотоміри.

Навантаження в колах генераторів, силових трансформаторів, ліній контролюють за допомогою амперметрів. За показами ватметра, амперметра і вольтметра визначають коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}UI} \quad (3.2.1)$$

Вольтметри вимірюють напругу, а частотоміри – частоту змінного струму, тобто величин, які характеризують якість електроенергії, що відпускається споживачам.

Лічильники активної і реактивної енергії встановлюють у колах генераторів, підвищувальних і знижувальних трансформаторів, у мережах споживачів та ін. На електростанціях

малої потужності з напругою до 500 В у колі статора генератора встановлюють три амперметри, лічильник активної енергії і вольтметр. У колі збудження встановлюють лише амперметр.

За потужності генераторів понад 250 кВт на електростанціях, крім перелічених вище приладів, установлюють ватметри реактивної і активної потужності і лічильник реактивної енергії. Ватметром активної потужності контролюють навантаження первинного двигуна, а ватметром реактивної потужності – розподіл цієї потужності між паралельно ввімкнутими генераторами.

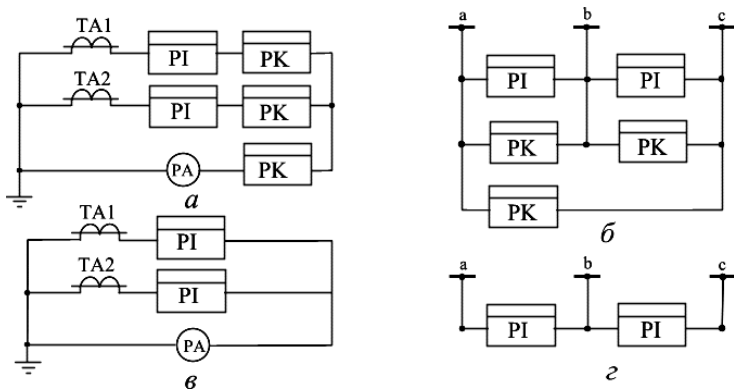


Рис. 3.2.1. Схеми вмикання електровимірювальних приладів:
а, б – у шафі вводу 10 кВ; в, з – в шафі відхідної лінії
напругою 10 кВ

Навантаження підвищувальних трансформаторів невеликої потужності контролюють одним амперметром, який установлюють з боку нижчої напруги.

У колах потужних підвищувальних трансформаторів додатково встановлюють лічильник активної енергії і ватметр.

На районних підстанціях, що живляться від енергосистем, у колах понижуючих трансформаторів установлюють амперметри, ватметр активної потужності і лічильник активної і реактивної енергії.

На лініях розподільних мереж 6–10 кВ встановлюють по одному амперметру і лічильнику активної енергії. Якщо, від лінії живиться велика кількість споживчих підстанцій, то лічильник енергії можна не встановлювати.

На рис. 3.2.1 а,б наведено схеми вмикання

електровимірювальних приладів, які містяться в шафі вводу 10 кВ на підстанції 35/10 кВ. Амперметр ввімкнений на суму струмів фаза А і С (показує струм фази В). Схеми вмикання електровимірювальних приладів, що розміщуються в шафі відхідної лінії напругою 10 кВ, показано на рис. 3.2.1в,г.

У колах трансформаторів власних потреб малопотужних електростанцій обмежуються одним амперметром, а на потужних електростанціях (особливо теплових) додатково встановлюють лічильник активної енергії. Якщо основна частина навантаження трансформаторів власних потреб припадає на освітлення, то бажано амперметри встановлювати в усіх трьох фазах.

Систематичний контроль за станом ізоляції є важливою умовою попередження аварій в електроустановках. Зменшення опору ізоляції внаслідок її старіння, пошкодження чи порушення правил експлуатації призводить до коротких за- микань.

Контрольні вимірювання опору ізоляції виконують під час оглядів і під час планових ремонтів електроустановок. Найчастіше для цього застосовують мегомметри. Мегомметри виготовляють на напругу 100, 500, 1000 і 2500 В постійного струму. Для вимірювання опорів заземлення використовують мегомметри або вимірювачі опору.

В електричних мережах високої напруги стан ізоляції контролюють безперервно. В установках із заземленою централлю у разі пошкоджень ізоляції спрацьовує релейний захист, а в установках з ізольованою нейтраллю у разі замикання однієї з фаз на землю діє сигналізація замикання. Сигналізація здійснюється вольтметром або реле, увімкненим до вторинних обмоток трансформаторів напруги. У мережах напругою понад 1000 В їх можна вмикати до трьох однофазних трансформаторів напруги або до додаткової обмотки трифазного трансформатора напруги з п'ятьма осердями (НТМИ).

Крім зазначених вимірювальних приладів, які встановлюють у колах окремих елементів на електростанціях і підстанціях, у колах збірних шин використовують деякі загальні прилади (вольтметри, частотоміри, синхроскопи, фазометри та ін.).

Крім приладів-показчиків, в електроустановках використовують реєструвальні (самописні), а також підсумовувальні ватметри і варметри, що показують відповідно повне, активне і реактивне навантаження в будь-який момент часу. Покази підсумовувальних ватметрів і варметрів, а також ватметрів окремих ліній за допомогою телемеханічних пристроїв автоматично передають на диспетчерський

пункт.

2. Трансформатори струму і схеми їх вмикання

Первинну обмотку трансформаторів струму вмикають у коло послідовно, а до вторинної приєднують послідовно з'єднані обмотки амперметрів, ватметра, лічильника, реле та ін. Режим роботи трансформатора струму значно відрізняється від режиму роботи звичайного силового трансформатора. Трансформатор струму нормально працює за сталого навантаження вторинного кола і змінного струму первинної обмотки, тобто за змінного магнітного потоку. Струм у первинній обмотці не залежить від навантаження вторинної обмотки, яка перебуває в режимі, близькому до режиму короткого замикання. Отже, перевантаження і короткі замикання в колі вторинної обмотки не створюють небезпеки для трансформатора, тому захищати його запобіжниками чи іншими елементами немає потреби.

Коефіцієнт трансформації трансформаторів струму наближено дорівнює оберненому відношенню числа витків обмоток:

$$n_1 = I_1/I_2 = \omega_2/\omega_1 \quad (3.2.2)$$

а практиці:

$$I_1 > I_2 \omega_2$$

□

ω_1

—

(3.2.3)

Таким чином, для трансформатора струму характерна *похибка за струмом* (за коефіцієнтом трансформації), її оцінюють за рівнянням (%):

$$\Delta = \frac{n_1 I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100, \quad (3.2.4)$$

I_1

де I_1 – струм в первинній обмотці;
 I_2 – струм у вторинній обмотці;

$n_1=I_1/I_2$ – номінальний коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Від значення цієї похибки залежить точність показів приладів, приєднаних до вторинної обмотки.

Крім похибки за струмом, у трансформаторах струму виникає *кутова похибка*, що показує кут зсуву між вектором первинного струму і повернутим на 180° вектором вторинного струму. Ця похибка впливає на покази приладів ватметрового типу (ватметри, фазометри, лічильники, реле потужності тощо).

Похибка трансформаторів струму буде мінімальною за номінального навантаження вторинної обмотки:

$$S_{ном} = I_{ном}^2 z_{2ном} \quad (3.2.5)$$

де $Z_{2ном}$ – номінальне значення опору послідовно з'єднаних

обмоток приладів і проводів, за якого забезпечується робота трансформатора струму в заданому класі точності.

Трансформатори струму виготовляють таких класів точності 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Трансформатори з класом точності 0,2 використовують для лабораторних вимірювань, 0,5 і 1 – для вимірювальних приладів, 3 – для приладів релейного захисту і простих вимірювальних приладів (щитових амперметрів).

Слід зазначити, що режим розімкнутої вторинної обмотки небезпечний для трансформатора струму. При цьому не виявлятиметься розмагнічувальна дія вторинної обмотки, у магнітопроводі різко зросте магнітний потік і на затискачах розімкнутої обмотки, кількість витків якої в багато разів більша, ніж первинної, виникне велика е.р.с., що створює небезпеку для обслуговуючого персоналу. Тому вторинна обмотка трансформаторів струму має бути завжди замкнутою або закороченою. Вторинну обмотка трансформаторів струму завжди заземлюють.

Трансформатори струму часто виготовляють з двома осерддями і двома вторинними обмотками. До однієї вторинної обмотки (з вищим класом точності) приєднують обмотки вимірювальних приладів, до іншої – обмотки реле. Ізоляція трансформаторів струму розрахована на напругу від 0,5 до 750 кВ включно.

Залежно від кількості витків первинної обмотки трансформатори струму бувають *одно-* і *багатовиткові* (петлеві). Одновиткові (стержневі) трансформатори струму виготовляють на первинні струми 150, 200 А і більше, а багатовиткові (петльові) – на струми від 5 до 600 А. Номінальний вторинний струм майже завжди дорівнює 5 А.

Схеми вмикання повною зіркою (рис. 3.2.2 а) і трикутником використовують тоді, коли виникає потреба контролювати силу струму в усіх трьох фазах. Вмикання неповною зіркою і схему на різницю двох фаз (рис. 3.2.2 б,в) використовують у системах з ізольованою централлю, а схему суми трьох струмів (рис. 3.2.2г) – в релейному захисті від замикання на землю.

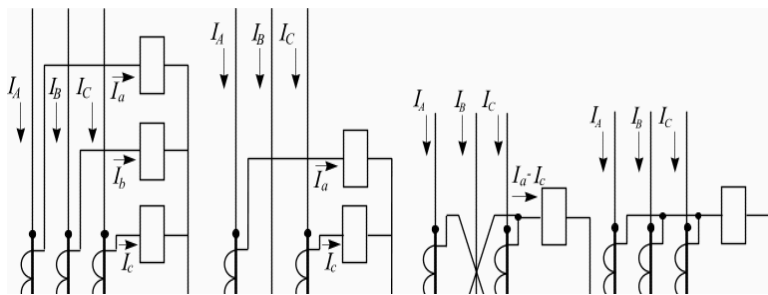


Рис. 3.2.2 Схеми з'єднання трансформаторів струму

Щоб мати від двох вторинних обмоток якнайбільшу потужність, їх з'єднують послідовно. У разі паралельного з'єднання цих обмоток збільшується струм вторинного кола. За схемами а і б, показаними на рис. 3.2.2, вмикають контрольно-вимірювальні прилади і реле, за схемами в і г з послідовним з'єднанням обмоток трансформаторів – лише реле захисту.

Вмикати вимірювальні прилади і реле на загальну вторинну обмотку трансформатора струму не рекомендується, щоб не створювати труднощів під час експлуатаційної перевірки реле.

За способом встановлення трансформатори струму бувають *прохідні, опорні і вмонтовані, для зовнішнього і внутрішнього встановлення.*

Прохідні трансформатори встановлюють лише в закритих розподільних пристроях.

Прохідний трансформатор струму ТПЛ (рис. 3.2.3) має литий епоксидний корпус 1, в якому розміщені обмотки. Корпус через магнітопровід закріплений на лапі 2. Шина первинної обмотки з обох боків має гвинтові затискачі 3, а кінці вторинних обмоток виводяться до затискачів 4. Позначають затискач відповідно *Л1, Л2 і И1, И2*. Без первинної обмотки виготовляють трансформатор струму ТПШЛ. Функції первинної обмотки в ньому виконує шина, яку пропускають через нього під час монтажу.

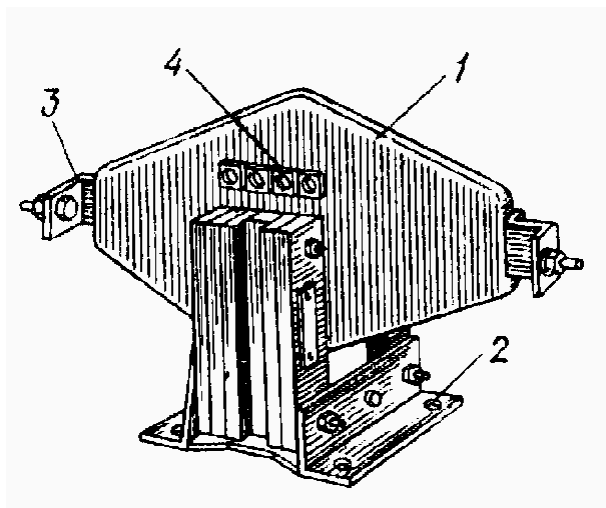


Рис. 3.2.3. Трансформатор струму ТПЛ:

1 – корпус; 2 – лапа; 3 – гвинтові затискачі; 4 – затискачі

Для маркування трансформаторів струму використовують позначення: Т – трансформатор струму, П – прохідний, О – одновитковий, К – котушковий, Ф – з фарфоровою ізоляцією, Л – з литою смоляною ізоляцією, У – посилений, М – модернізований, Н – для зовнішнього встановлення, Д – для диференційного захисту, З – для захисту від замикань на землю. Перша після букв цифра показує напругу в кіловольтах, друга позначає осердя і клас точності. Наприклад, ТПЛ-10-0,5/Р – трансформатор струму прохідний з литою епоксидною ізоляцією, розрахований на напругу 10 кВ, клас точності 0,5.

3. Трансформатори напруги і схеми їх вмикання

Трансформатори напруги використовують для зниження напруги на приладах і реле до 100 В.

Коефіцієнт трансформації такого трансформатора пропорційний відношенню кількості витків його первинної і вторинної обмоток:

$$n = \frac{U_{\text{ном}1}}{U_{\text{ном}2}} \cong \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (3.2.6)$$

Як і трансформаторам струму, трансформаторам напруги властиві похибка за коефіцієнтом трансформації (за напругою) і кутова похибка δ .

Похибка за коефіцієнтом трансформації (%):

$$\Delta = \frac{n_U U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100, \quad (3.2.7)$$

U_1

де n_U – номінальний коефіцієнт трансформації трансформатора напруги.

Кутова похибка визначається кутом між вектором U_1 і повернутим на 180° вектором U_2 . Під час вимірювання напруги кутова похибка не впливає на результат вимірювання, але у разі вимірювання потужності, енергії, фази та деяких інших параметрів відіграє певну роль. Похибка за коефіцієнтом трансформації впливає на точність показів усіх приладів, що приєднуються до вторинної обмотки.

До вторинної обмотки трансформатора напруги приєднують паралельно всі обмотки напруги приладів і реле. Крім того, від них іноді живляться сигнальні, оперативні кола і кола автоматики.

Точність роботи трансформатора напруги залежить від навантаження. Максимальне навантаження, за якого трансформатор напруги не виходить за межі зазначеної в паспорті точності, називається його *номінальним навантаженням*. Наша промисловість виготовляє трансформатори напруги чотирьох класів точності – 0,2; 0,5; 1 і 3.

Крім номінальної, трансформатори напруги характеризуються, ще й *максимальною потужністю*, яка визначає межу навантаження трансформатора напруги за допустимим нагріванням його обмоток. У разі навантаження в межах від номінального до максимального трансформатор може працювати без пошкодження, але виходить із свого класу точності. У цьому діапазоні він використовується як силовий для живлення освітлення, кіл сигналізації тощо.

Для вмикання обмоток лічильників трансформатор напруги має працювати в класі точності не нижче 0,5. Інші вимірювальні прилади (вольтметри, ватметри) і ватметрові обмотки реле можуть жити від трансформаторів напруги класу 1. Реле напруги і вольтметри, які не використовують для вимірювання потужності і $\cos \varphi$, можна живити від трансформаторів напруги класу 3. Трансформатори напруги класу 0,2 використовують для лабораторних вимірювань.

Трансформатори напруги виготовляють одно- і трифазними з сухою або масляною ізоляцією. Обмотки сухих трансформаторів відкриті і вільно обтікаються повітрям, обмотки масляних трансформаторів розміщують у баках (або корпусах), наповнених

трансформаторним маслом, яке водночас є ізоляцією і охолоджувальним середовищем.

Схеми вмикання однофазних трансформаторів напруги і приєднання до них вимірювальних приладів показано на рис. 3.2.4.

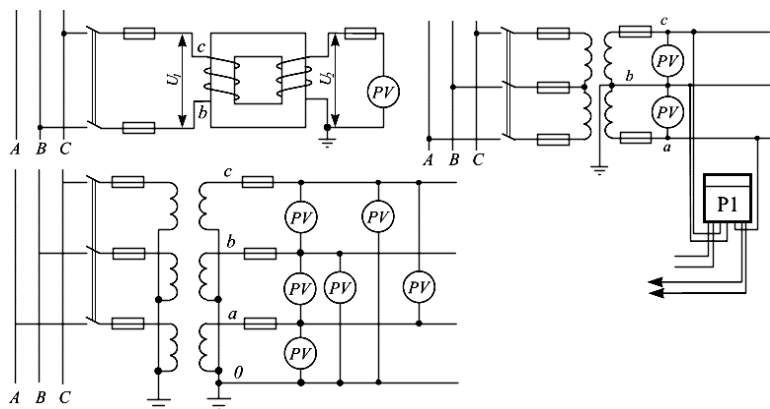


Рис. 3.2.4. Схеми вмикання однофазних трансформаторів напруги

Якщо треба вимірювати лише лінійну (міжфазну) напругу, то трансформатор вмикають за схемою (рис. 3.2.4а); два трансформатори напруги вмикають за схемою відкритого трикутника (рис. 3.2.4б). Три однофазні трансформатори напруги, з'єднані зіркою з глухим заземленням нейтралі (рис. 3.2.4в), дають можливість вмикати вимірювальні прилади й інші елементи як на фазну, так і на лінійну напругу. Глухе заземлення нейтралі з боку вищої напруги дає змогу контролювати ізоляцію первинної мережі. У нормальному режимі всі вольтметри контролю ізоляції покажуть фазну напругу, у разі замикання однієї з фаз на землю вольтметр пошкодженної фази показуватиме нуль, а інші – лінійну напругу.

Задля безпеки обслуговування вимірювальних приладів і реле одну з точок вторинного кола трансформатора напруги обов'язково заземлюють.

Трифазні трансформатори НТМК і НТМИ використовують для внутрішнього встановлення на напругу до 18 кВ. Трифазні трансформатори НТМК виготовляють із трьома осерддями; вони відзначаються високою точністю роботи і призначені для приєднання

обмоток лічильників, фазометрів, реле потужності й інших ватметрових обмоток. Ці трансформатори непридатні для контролю ізоляції в трифазних мережах з ізолюваною нейтраллю. У разі замикання однієї фази на землю на всіх трьох осердях магнітопроводу виникають потоки нульової послідовності, які замикаються через кожух трансформатора, спричиняють надмірне нагрівання і призводять до виходу трансформатора з ладу.

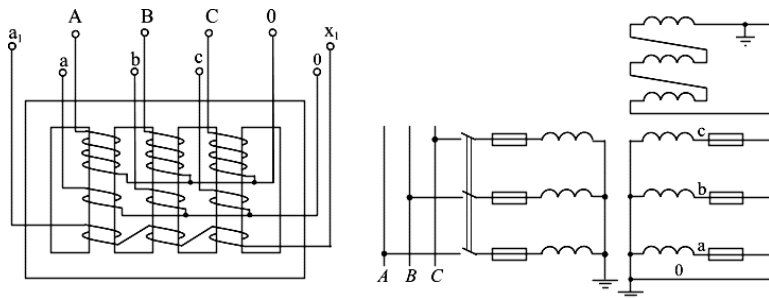


Рис. 3.2.5. Конструкція (а) і схема вмикання (б) трансформатора НТМИ

Цих недоліків позбавлений трифазний трансформатор НТМИ з п'ятьма осердями. Він універсальний і може використовуватись як для приєднання приладів вимірювання, так і для контролю ізоляції. Трансформатор НТМИ має одну первинну і дві вторинні обмотки. Усі вони розміщені на трьох середніх осердях (рис. 3.2.5а). Первинну і основну вторинну обмотки з'єднують зіркою, їх нейтральну точку виводять на кришку трансформатора для заземлення. Додаткову вторинну обмотку з'єднують у відкритий трикутник. До основної вторинної обмотки вмикають вимірювальні прилади, а до додаткової – реле захисту від замикання на землю і прилади сигналізації.

У нормальному режимі робота трансформатора НТМИ нічим не відрізняється від роботи інших трансформаторів. На затискачах додаткової обмотки напруги не буде. У разі замикання однієї з фаз на землю магнітні потоки нульової послідовності замикаються не через кожух і повітря (як у трансформаторі НТМК), а через крайні осердя, не призводячи до збільшення струмів нульової послідовності в первинних обмотках і перегрівання трансформатора. Схему

вмикання обмоток трансформатора напруги НТМИ показано на рис. 3.2.5б.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У яких колах використовують безпосереднє вмикання вимірювальних приладів?
2. Які переваги посереднього вмикання вимірювальних приладів?
3. У якому режимі працюють трансформатори струму?
4. Чим відрізняється робота трансформатора напруги від роботи силового трансформатора?
5. Як визначається похибка вимірювальних трансформаторів?
6. Що таке кутова похибка вимірювального трансформатора?
7. За якими параметрами вибирають трансформатори струму?
8. Що називається термічною і динамічною стійкістю трансформаторів струму?
9. Що впливає на клас точності вимірювальних трансформаторів?
10. Як здійснюється контроль ізоляції в мережах, що працюють з ізольованою централлю?
11. Які є схеми вмикання вторинних обмоток трансформаторів струму?
12. Чому категорично забороняється робота трансформатора струму з розімкнутою вторинною обмоткою?
13. Чому вторинну обмотку трансформатора струму необхідно заземлювати?
14. Які класи точності встановлені для трансформаторів струму і для трансформаторів напруги?