МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

імені О. М. Бекетова

Методичні вказівки

до лабораторних робіт

з дисципліни

«Монтаж, наладка та експлуатація електрообладнання»

(*для студентів 5 курсу денної, 6 курсу заочної форм навчання,*

а також слухачів другої вищої освіти зі спеціальності

7.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання»)

Харків –ХНУМГ ім. О.М. Бекетова – 2016

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Монтаж, налад-ка та експлуатація електрообладнання» (для студентів 5 курсу денної, 6 курсу заочної форм навчання, а також слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 7.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання»)/ Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: А. В. Хитров, Д. В. Рум'янцев , О. Ю. Поліщук. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2016. – 80 с.

Укладачі: А. В. Хитров, Д. В. Рум'янцев, О. Ю. Поліщук.

Рецензент: І. Г. Абраменко

Рекомендовано кафедрою « Електропостачання міст», протокол засідання

№ 1 від 29.08.2013 р.

Зміст

Вступ.....4

Загальні положення.....5

Лабораторна робота 1 Оцінка стану ізоляції силового трансформатора.....7

Лабораторна робота 2 Дослідження фізичної моделі системи контролю ізоляції мереж з ізольованою нейтраллю.....21

Лабораторна робота 3 Налагодження та перевірка трансформаторів струму (ТС).....26

Лабораторна робота 4 Перевірка і наладка трьохполюсного масляного вимикача.....31

Лабораторна робота 5 Дослідження ємнісних методів контролю зволоженості ізоляції високовольтного обладнання.....46

Лабораторна робота 6 Наладка вимикача високовольтного вакуумного типу ВВВ-10.....62

Лабораторна робота 7 Комплектний розподільний пристрій серії ВМ-1 (Внутрішньої установки малогабаритне).....68

Список джерел.....79

ВСТУП

Відомо, що від продуктивності і якості роботи експлуатаційного персоналу суттєво залежить безперебійне електропостачання всіх споживачів електричної енергії. Тому велике значення має рівень технічної підготовки працівників електротехнічних служб. Метою методичних вказівок є: дати студентам необхідний обсяг теоретичних знань, практичних навичок з експлуатації електрообладнання електричних мереж, необхідних інженер – експлуатаційнику.

Кожна з лабораторних робот складається з реальних зразків електричного обладнання і контрольно-вимірювальної апаратури, що використовуються в умовах експлуатації. До складу роботи включено як теоретичний матеріал з визначення технічного стану електроустановок, так і технологія відповідних робіт на техніці. Такий підхід до виконання робіт має сприяти покращенню підготовки студентів до свідомої та активної участі в організації і проведенні контролю технічного стану електричного обладнання при планово-попереджувальних та позачергових випробуваннях.

Загальні положення

Для успішного виконання лабораторної роботи необхідно ознайомитись з відповідною програмою, вивчити теоретичні матеріали, що відносяться до неї, підготувати звіт по роботі і протоколи випробувань.

Лабораторні установки являють собою реальні зразки обладнання, які знаходяться в експлуатації, що повинно сприяти придбанню студентами практичних навичок в контролі й випробуванні високовольтного обладнання в реальних умовах робот інженера-електрика.

Перш ніж приступити до виконання робіт, студенти повинні пройти спеціальний інструктаж із забезпечення безпеки і протипожежних заходів.

При проведенні лабораторних робіт студенти повинні дотримуватися наступних правил:

- уважно проробити завдання на лабораторну роботу, ознайомитися з вимірювальними і випробувальними схемами, усвідомити послідовність операцій, що проводяться;
- оглянути встановлене на робочому місці обладнання і прилади, пересвідчитися в їх придатності. При наявності незнайомих приладів потрібно вивчити їх конструкцію, технічні характеристики та правила користування;
- перед початком збирання схем встановити, якими пристроями в схему подається наруга, якої вона величини і виду, переконатися, що ці пристрої відключені;
- збирання схем потрібно проводити таким чином, щоб вони вийшли більш наочними, не треба застосовувати надто довгі провідники або дуже короткі (внатяг). Приєднувати під один затискач більше двох провідників не рекомендується. Застосовувати провідники без наконечників або з порушеною ізоляцією забороняється;
- при збиранні схем необхідно дотримуватись відповідності технічних характеристик вимірювальної і регулювальної апаратури параметрам випробуваних пристроїв захисту;
- якщо вимірювальні прилади розраховані на декілька маж вимірювання, а апарати допускають включення на різну напругу, то перед збиранням схеми прилади і апарати потрібно включити для роботи на оперативну наругу даної лабораторної установки;
- всі прилади при збиранні схем повинні бути включені на максимальну межу вимірювання, рухомі частини регулювальних трансформаторів повинні знаходитися в положенні, що забезпечує мінімальну напругу на виході, а реостатів – у положенні, що забезпечує максимальний опір;

– включення вимірювальних і випробувальних схем під напругу можна здійснювати тільки після перевірки правильності збирання викладачем. Після включення схеми необхідно провести частину випробувань без запису свідчення вимірювальних приладів і тільки пересвідчившись в правильності роботи схеми, приступити до виконання програми випробувань;

– при виконанні вимірювальних операцій межі вимірювальної апаратури потрібно вибирати таким чином, щоб відлік проводився за показаннями у другій половині шкали, при цьому не можна допускати виходу показник за межі шкали;

– по завершенні роботи потрібно відключити напругу, пересвідчитися у відповідності отриманих результатів необхідним і сповістити при це керівника;

– розбирати схему і перейти до чергового пункту програми роботи слід тільки з дозволу керівника;

– по закінченні лабораторної роботи необхідно прибрати робоче місце, здати прилади і інструменти керівнику, оформити протоколи і звіт по роботі.

Всі роботи повинні проводитись відповідно до вимог правил безпеки в установках напругою більше 1000 В. Перед включенням випробувальних схем під напругу присутні повинні бути обов’язково попереджені про операцію, що планується до виконання.

Робити якісь зміни в схемах, що знаходяться під напругою, або торкатися оголених місць струмопровідних частин пристрою категорично забороняється.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

Оцінка стану ізоляції силового трансформатора

1.1 Мета роботи

– Усвідомити фізичний зміст електричних процесів, що відбуваються в ізоляції, при вмиканні її на постійну напругу.

– Засвоїти основи експлуатаційних методів контролю технічного стану ізоляції силових трансформаторів за величиною її опору та коефіцієнта абсорбції.

– Одержати уявлення про порядок величин опору ізоляції електрообладнання та їхню залежність від технічного стану ізоляції й умов вимірювання.

1.2 Загальні положення

Поляризацією називається стан речовини, при якій елементарний об'єм діелектрика отримує електричний момент.

Виникнення (індукція) електричного моменту в одиниці об'єму зразка діелектричного матеріалу або ділянки електричної ізоляції може відбуватися під дією електричного поля, механічних напруг або спонтанно (мимовільно).

Поляризованість J – визначає інтенсивність поляризації діелектрика і є кількісною характеристикою діелектрика. Середній електричний момент, що доводиться на одну молекулу діелектрика, дипольний момент молекули:

$$P=q\cdot l \qquad (1.1)$$

Де q – величина заряду, l – відстань між центрами позитивного і негативного заряду. Якщо існує n таких молекул (диполів) в 1м^3, то

$$J=n\cdot p \qquad (1.2)$$

Поляризованість J, Кл·м/м^3 співпадає по значенню з поверхневою густиною зарядів, що виникають на поверхні діелектрика.

Індукований полем електричний момент молекули p, поляризованого діелектрика і напруженість електричного поля E – векторні фізичні величини. Вектори J і E в ізотропних кристалічних діелектриках і текстурах співпадають і мають різні напрями в анізотропних середовищах. Для ізотропних («лінійних») діелектриків поляризованість J пропорційна напруженості зовнішнього поля E

$$J=\varepsilon_0\cdot \chi\cdot E \qquad (1.3)$$

Де χ – безрозмірний параметр, званий діелектричною сприйнятливістю, а ε_0 – електрична постійна, рівна $8{,}854\cdot10^{-12}$ Ф/м. Для характеристики здатності

діелектричних матеріалів до поляризації в техніці використовують безрозмірний параметр – відносну діелектричну проникність ε_r (індекс *r* надалі опускатимемо).

Відлік значень опору ізоляції проводиться після закінчення 1 мін з моменту прикладання напруги. Кабельна лінія напругою до 1 кВ вважається придатною до подальшої експлуатації, якщо опір ізоляції складає не нижче 0,5 МОм.

При проведенні вимірювань слід враховувати специфіку впливу різних зовнішніх чинників на величину опору ізоляції. Одним з таких чинників є температура. При її підвищенні в більшості діелектриків, що використовуються як електрична ізоляція, збільшується кількість вільних носіїв зарядів, що приводить до зниження опору. У зв'язку з цим однозначно зробити висновок про стан якості ізоляції вельми важко.

Іншим, поширеним чинником, що має вплив на опір ізоляції, є її вогкість. При підвищенні волого поглинення відбувається істотне зменшення опору ізоляції.

Більшість електромагнітних матеріалів, що використовуються, є гігроскопічними, тобто здатними вбирати вологу з навколишнього середовища, що вносить додаткову погрішність в реальну величину опору ізоляції. На практиці для оцінки стану ізоляції доцільно використовувати коефіцієнт абсорбції

$$k_{абс} = \frac{R_{60"}}{R_{15"}}, \qquad (1.4)$$

де $R_{60"}$ і $R_{15"}$ - значення опору ізоляції, виміряні відповідно через 15 і 60 секунд після прикладання напруги.

Значення $k_{абс}$ для вологої ізоляції знаходиться в межах 1,0 – 1,2, для сухої ізоляції – 1,2 -1,7 і вище.

Для вимірювання опору ізоляції устаткування в мережах 0,4 кВ використовуються мегомметри з вихідною напругою не менше 1000 В, а мережах 6кВ і вище – мегомметри з вихідною напругою 2500 В. У зв'язку з процесом поляризації, протікаючому в ізоляції величина вимірюваного опору залежить від часу прикладання напруги. Еквівалентна схема заміщення ізоляції устаткування представлена на рисунку 1.1.

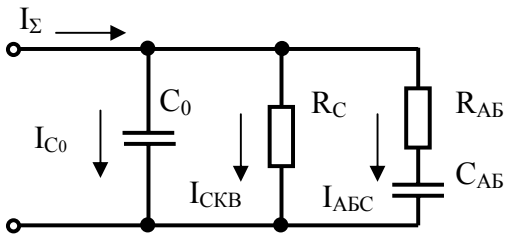


Рисунок 1.1 – Схема заміщення ізоляції устаткування.

Опір R_C обумовлений протіканням в ізоляції струму витоку. Ємність C_0 – еквівалентна геометричній місткості устаткування, що піддається випробуванню (трансформатор, електродвигун). Величина її, як правило, незначна і знахо-

диться в межах від декількох сотень до декількох тисяч піко фарад. У зв'язку з цим така ємність повністю заряджатиме за час обмежений 15 секундами ($R_{15"}$). Силові коливання володіють значною геометричною ємністю, тому з метою зменшення погрішності на величину коефіцієнта абсорбції їх рекомендується відключати від випробовуваного устаткування.

Послідовна ланка $C_{АБ}$ і $R_{АБ}$ еквівалентний опір кола в результаті протікання струмів абсорбції. При використовуванні для ізоляції якісних діелектриків, що не містять домішок і вологи, , для заряду ємності буде потрібно значний проміжок часу. На практиці цей час був обмежений 60 секундами ($R_{60"}$).

В процесі вимірювання може бути встановлена асиметрія значень опорів, причиною якої є зволоження і забруднення кінцевих муфт КЛ. Для усунення її використовується просочення.

Значення опору ізоляції КЛ напругою вище 1 кВ не нормується.

Вода, що міститься в твердій ізоляції силових трансформаторів, діє як каталізатор в процесі руйнування целюлози і прискорює таким чином процес старіння ізоляції. Вакуумна сушка в поєднанні з низькочастотним нагрівом є ефективним способом, що дозволяє на цілий порядок понизити витрати часу в порівнянні з традиційним методом сушки, заснованим на циркуляції масла.

Силові трансформатори в мережах первинного електропостачання неминуче піддаються дії коротких замикань. Це найбільшою мірою відноситься до трансформаторів тягових підстанцій, оскільки в контактному колі короткі замикання відбуваються досить часто. В результаті виникнення струмів короткого замикання обмотки трансформаторів піддаються значним силовим діям. У зв'язку з цим велике значення має механічна міцність ізоляції трансформаторів, особливо паперової і з пресованого картону.

Відомо, що волога, що міститься в ізоляції сприяє термокінетичному розкладанню целюлози і прискорює процес старіння матеріалу. Тому досягши певного рівня змісту вологи в ізоляції трансформатора для забезпечення його подальшої надійної роботи необхідне просушування. Існують різні способи просушування. Метод Smart Dry, що поєднує вакуумну сушку обмоток з низькочастотним нагрівом (LFH), зарекомендував себе як найраціональніше для трансформаторів потужністю більше 10 МВА і економічно вигідне рішення.

1.3 Чинники, що впливають на процес старіння ізоляційних матеріалів

Механічна міцність ізоляції трансформатора значною мірою визначається так званим ступенем поляризації, яка оцінюється коефіцієнтом поляризації DP. Целюлоза, утворююча основу ізоляційних матеріалів обмоток, складається з певних волоконних ланцюжків, до складу кожної з яких спочатку входить більше 1000 молекул. Швидкість, з якою зменшується коефіцієнт DP, залежить від багатьох чинників. В першу чергу серед таких чинників необхідно назвати температуру. Відомо, що достатньо високі температури в значній мірі зменшують величину коефіцієнта DP. Одна з термічних моделей старіння показує, що підвищення або зниження температури обмотки на 6 ^{o}C по відношенню до ба-

зової температури 98°С в два рази збільшує або знижує інтенсивність старіння. Іншим чинником є дія кислот на целюлозу. Органічні кислоти, основною складовою яких звичайно є оцтова, утворюються в результаті старіння або окислення ізоляційного масла. Третій важливий чинник – вміст вологи в твердому ізоляційному матеріалі, який збільшується в процесі експлуатації в результаті випаровувань з баку.

Всі ці чинники поступово зменшують довжину волокон целюлози в процесі експлуатації, молекулярні ланки розщеплюються, внаслідок чого коефіцієнт DP зменшується до 200 і нижче. Матеріал стає крихким і у меншій мірі може протистояти впливаючим на нього силам. Це є основною причиною скорочення терміну служби трансформатора. Досліди, що проводилися в Німеччині в 1940-х роках, показали, що більшість волоконних матеріалів зберігає значну електричну міцність після втрати механічної.

1.4 Вимірювання опору ізоляції

Вимірювання опору ізоляції постійного струму є найбільше поширеним видом контролю стану ізоляції. Сутність методу полягає у вимірюванні відношення прикладеної до ізоляції постійної напруги *U* до струму, що *протікає через неї, і:*

$$R_{із} = \frac{U}{i} .$$

З урахуванням схеми заміщення діелектрика сумарний струм, що протікає через ізоляцію,

$$i = i_{скв} + i_{абс} + i_0 ,$$

де $i_{скв}$ - струм наскрізної провідності;

$i_{абс}$ - струм абсорбції, обумовлений повільними процесами поляризації;

i_0 - струм, обумовлений процесами швидкої поляризації.

Оскільки струм i_0 протікає тільки протягом 10^{-12} - 10^{-14} с, то його вплив на результатах вимірювань не позначається, тоді як величина абсорбційної складової $i_{абс}$ відіграє дуже суттєву роль. Можна представити, що

$$i_{абс} = \frac{U}{R_{абс}} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{абс}}\right) ,$$

тобто в колі вимірювання аж до завершення процесів релаксації протікатиме струм, що убуває в часі зі швидкістю, яка залежить від постійної $\tau_{абс} = R_{абс} \cdot C_{абс}$ (рис. 1.2).

Отже вимірюване значення опору в цей період залежатиме від тривалості впливу прикладеної напруги:

$$R_{вим} = \frac{U}{i_{вим} + \frac{U}{R_{вим}} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{вим}}\right)} .$$

Для забезпечення єдності вимірювань прийнятий відлік показання приладів робити через 60 с після подачі вимірювальної напруги.

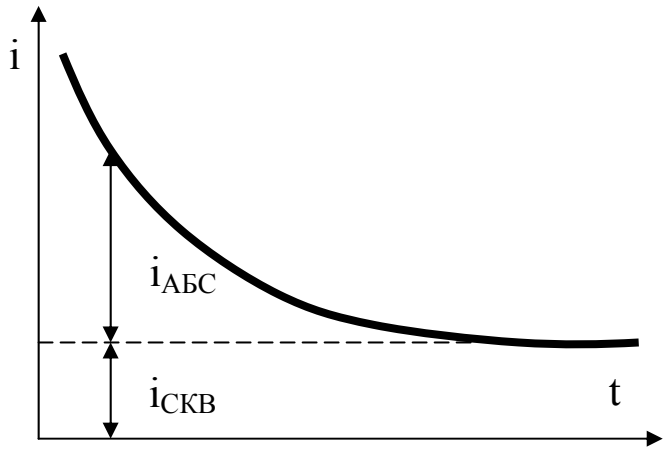


Рисунок 1.2 – Залежність струму в неоднорідному діелектрику від часу дії постійної напруги

У практиці експлуатації для вимірювання опору ізоляції частіше усього застосовують мегаомметри. Вони звичайно складаються (рис. 1.3) з джерела напруги постійного струму та вимірювального приладу, що вимірює струм I_x через ізоляцію об'єкта. Шкала приладу градуюється в значеннях опору; для цього напруга джерела U має бути стабільною. Застосовуються також логометрічні вимірювачі, показання яких пропорційні частці від ділення на струм, що вимірюється. Об'єкт із опором ізоляції R_x та ємкістю C_x приєднується до виводів «r_x» та «-» мегаомметра. Вивід «Э» призначено для приєднаня кіл екранування (їх опір відносно вивода «r_x» позначено резистором $R_п$). Схеми увімкнення мегаомметра – пряма та перевернена: відповідно заземляються виводи «Э» або «-». Найчастіше застосовується перевернена схема вмикання.

Екранування застосовується у випадках, коли потрібно виключити вплив поверхні ізоляційної конструкції або обмежити область підконтрольної ізоляції. Для виключення впливу стану поверхні на зовнішній частині ізоляційної конструкції біля електрода, з'єднаного із виводом «r_x» мегаомметра, встановлюється екранізуюче кільце із м'якого провода, що з'єднується з виводом «Э». Для обмеження підконтрольної області ізоляції потенціал екрана мегаомметра подається на відповідний електрод (рис. 1.4).

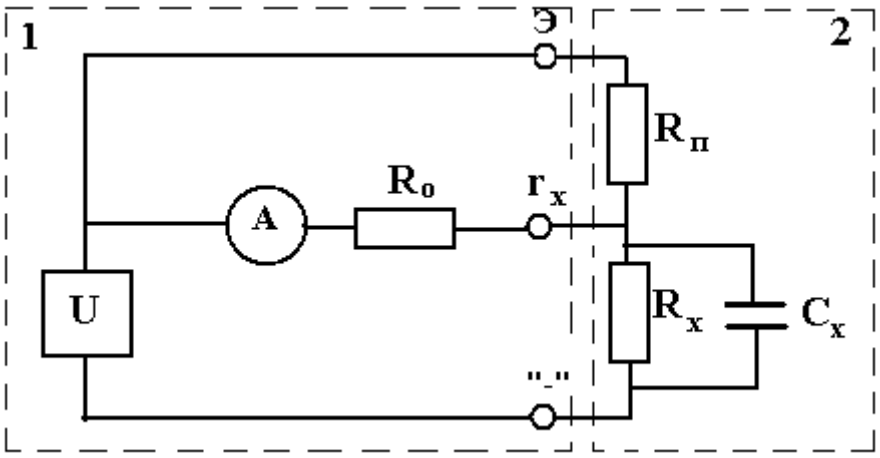


Рисунок 1.3 – Схема вимірювань мегаомметром: 1 – засіб вимірювань, 2 – об’єкт, U – джерело напруги, А – вимірювач струму

Опір, увімкнутий між виводами «Э» та «r_x» ($R_п$, див. рис. 1.3), у схемах з екрануванням шунтує вимірювальний елемент мегаомметра, чим може заподіяти неприпустиму погрішність у вимірювання. Найменше допустиме значення цього опору нормується; воно має бути не меншим 1% кінцевого (найбільшого) значення шкали на даній границі вимірювань. Бажано щоб опір кіл екранування був більшим у 50 – 100 разів, ніж опір вимірювального елемента мегаомметра (резистор R_0 див. рис. 1.3).

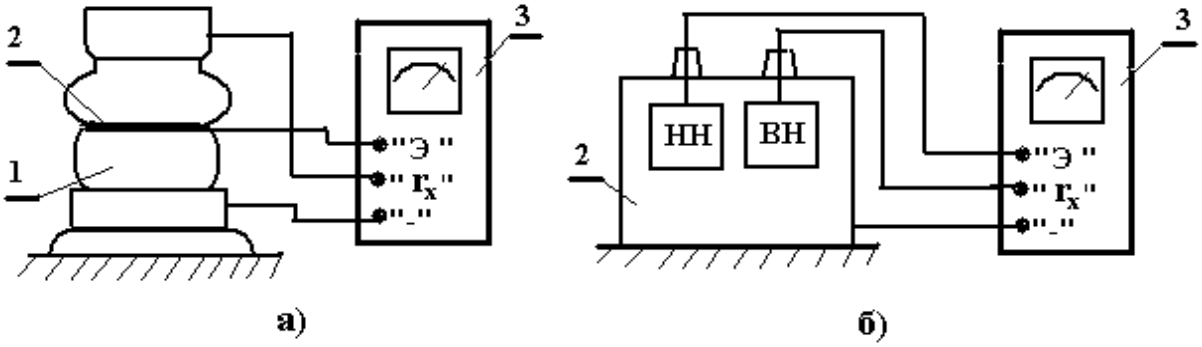


Рисунок 1.4 – Екранування при вимірюванні опору ізоляції:

а – виключення впливу поверхні ізоляції; б – виключення впливу ізоляції обмотки НН трансформатора; 1 – об’єкт; 2 – екранне кільце (бандаж); 3 – мегаомметр

Значний вплив на результати вимірювання може зробити температура, при якій робляться вимірювання. Тому для приведення результатів вимірювання до однієї температури необхідно провести перерахунок за формулою

$$R_{\vartheta_2} = R_{\vartheta_1} \cdot 10^{\frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\alpha}},$$

де α - коефіцієнт, обумовлений типом ізоляції: для ізоляції класу А α = 40; для ізоляції класу У α = 60;

R_{ϑ_1} та R_{ϑ_2} - опори ізоляції постійного струму при температурах ϑ_1 та ϑ_2 відповідно.

На практиці користуються коефіцієнтом приведення опору до повної температури. Значення цих коефіцієнтів наведені в табл. 1.1.

Слід враховувати, що оскільки на результати вимірювання $R_{із}$ великий вплив роблять розміри об'єкта контролю, структура його ізоляції, вид ізоляційного матеріалу, умови та спосіб вимірювання, момент відліку і т.п., то висновок про стан ізоляції за величиною її опору містить деяку непевність, тому на практиці вимірювання опору використовують тільки для орієнтованого судження про стан ізоляції і для виявлення грубих дефектів, що знижують опір на порядок і більше.

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнтів приведення результатів вимірювання до певної температури

Різниця температур, ^{0}C	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Коефіцієнт приведення опору	1,23	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4	4,15	5,1	6,2	7,5	9,2	11,2	13,9

Вище вже зазначалося, що при подачі на ємність ізоляції постійної напруги швидкість спаду струму заряду, а значить й обмірюване значення опору ізоляції, залежить від постійної $\tau_{абс} = R_{абс} \cdot C_{абс}$. Величина цієї постійної визначається станом ізоляції, зокрема зволоженням.

Таким чином, за швидкістю протікання повільних процесів поляризації в діелектриках можна судити про ступінь їх зволоження. Характер зміни струмів і опорів у часі для зволоженої та сухої ізоляції наведений на рисунок 1.5.

У якості критерію оцінки швидкості може бути прийнята величина відношення значень опору ізоляції, обмірюваних через різні проміжки часу з моменту подачі напруги:

$$K_{абс} = \frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} .$$

Це відношення одержало назву коефіцієнта абсорбції. Очевидно, чим сильніше зволоження, тим ближче коефіцієнт абсорбції до одиниці. З огляду на те, що в зволоженій ізоляції процеси повільної поляризації в основному закінчуються до п'ятнадцятої секунди, вимірювання опорів для обчислення коефіцієнта абсорбції прийнято робити через 15 та 60 с. За таких умов вимірювань коефіцієнт абсорбції для відносно сухої ізоляції знаходиться в межах 1,5 - 2,0.

Слід мати на увазі, що на результати вимірювання коефіцієнта абсорбції суттєвий вплив справляє залишковий заряд в ізоляції, тому перед кожним циклом вимірювань ізоляцію рекомендується закоротити не менше ніж на 5-10 хвилин. Коефіцієнт абсорбції звичайно визначають при температурі 20-25^{0}С, однак це можна робити й при інших температурах, використовуючи коефіцієнти приведення, подані в таблиці 1.1.

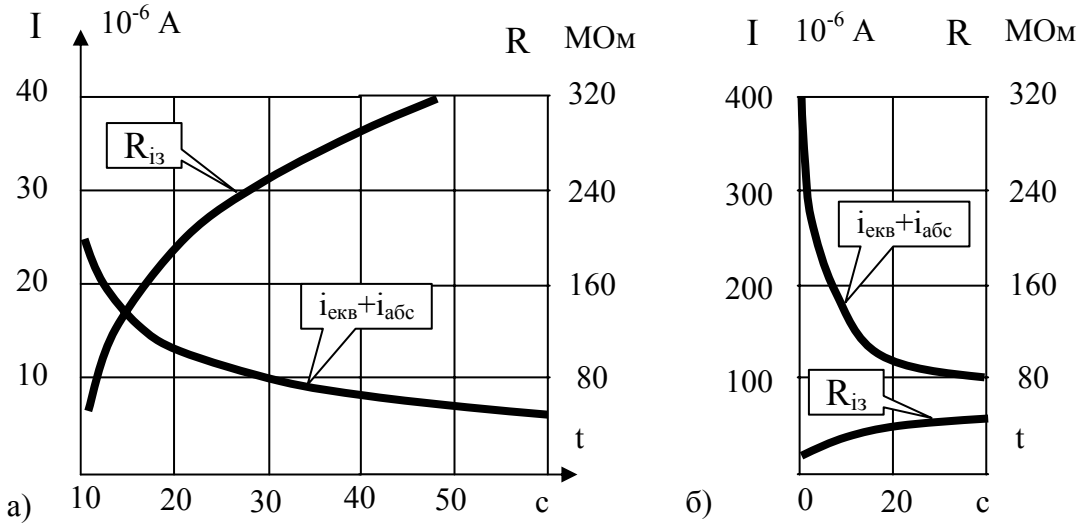


Рисунок 1.5 – Вплив стану ізоляції на час протікання струму абсорбції для сухої *(а)* і для зволоженої *(б)* ізоляції

Опір ізоляції і коефіцієнт абсорбції не визначають при температурах менше 10^{0}С, тому що при цьому нестабільність у поводженні вологи утрудняє оцінку реального стану ізоляції. Як приклад у таблиці 1.2 подані нижні значення опору ізоляції для деякого електричного устаткування, що рекомендуються як «нормальні».

У більшості мегаомметрів у якості вимірювального елемента використовується вольтметр, що вимірює падіння напруги U_0 на зразковому резисторі R_0 від струму, що вимірюється(рис. 1.6,а). Цей резистор служить також для змінення границь вимірювання. Шкала приладу, що вимірює напругу U_0, градуювана в одиницях опору.

Таблиця 1.2 – Нижні значення опору ізоляції

Найменування устаткування	Опір ізоляції, МОм	Напруга мегаом-метра, В
1. Силові трансформатори		
До 35 кВ включно менше 10 000 кВА	300	1000 – 2500
2. Вимикачі		
Нові вимикачі		
3-10 кВ	1000	2500
35-110 кВ	3000	2500
Вимикачі, що знаходяться в експлуатації		
3-10 кВ	300	2500
35-110 кВ	1000	2500
3. Роз'єднувачі		
Опорні колонки з багатоелементних ізоляторів	300 (на кожний елемент)	2500
Опорні ізолятори	1000	1000 – 2500
Підвісні ізолятори	300 (на кожний елемент)	2500
4. Реактори		
Обмотки відносно болтів	0,5	1000 - 2500

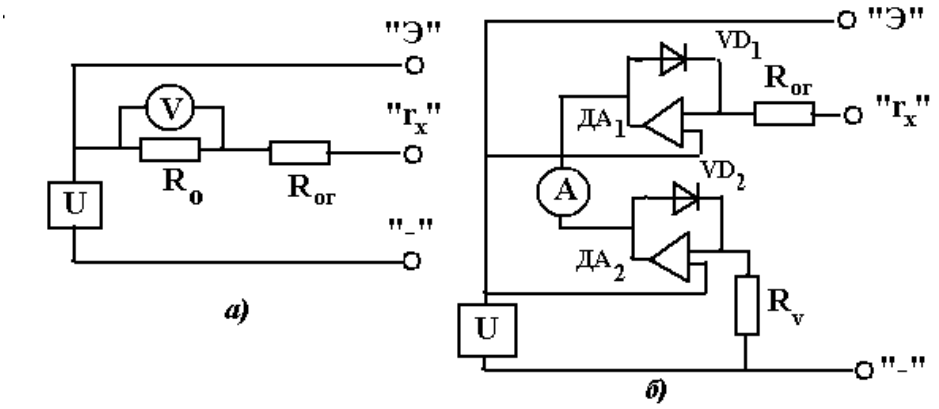


Рисунок 1.6 – Структурні схеми мегаомметрів

У сучасних мегаомметрах застосовуються вимірювачі струму на операційних підсилювачах, що дозволяють реалізувати логометричні схеми вимірювань. У такій схемі (рис. 1.6, б) струм на виході операційного підсилювача $ДА_1$ визначається струмом I_x об'єкта, а струм на виході другого підсилювача $ДА_2$ – струмом $I_{из}$, пропорційним напрузі U. Підсилювачі виконані логарифмуючими і різниця їх струмів, що вимірюється приладом, не залежить від напруги; шкала приладу – логарифмічна.

1.5 Оснащення робочого місця

Лабораторні дослідження і випробування проводять на електричних моделях ізоляційних конструкцій електроустаткування та на промислових зразках електрообладнання.

Електрична модель являє собою еквівалентну схему ізоляційної конструкції електроустаткування і призначена для з'ясування фізичного змісту процесів, характеристики яких покладені в основу експлуатаційних методів вимірювання опору і коефіцієнта абсорбції ізоляції. Вона дозволяє спостерігати залежність струму, що протікає через ізоляцію, та величини її опору від часу з моменту прикладання незмінної за величиною напруги до моменту відліку опору по вимірювальних приладів.

Приладами вимірювання величини опору і контролю стану ізоляції є мегаомметр, мікроамперметри та електросекундоміри.

У якості натурного об'єкта контролю при вимірюванні опору і коефіцієнта абсорбції в лабораторній роботі використовують силові трансформатори.

У даній лабораторній роботі для вимірювання опору ізоляціях силового трансформатора використовується мегаомметр Ф4102/2-1М. Діапазон вимірювань опору ізоляції, значення напруги на затискачах приладу при розімкнутому зовнішньому колу і ділянки діапазонів із відносною погрішністю, що не перевищує 15%, наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристики мегаомметра Ф4102/2-1М

Умовне позначення мегаомметра	Діапазон вимірювань опору ізоляції, не менше, МОм	Ділянки діапазону з границею допустимого значення відносної погрішності 15%, МОм	Напруга, В
Ф4102/2-1М	0 – 2000 0 – 20000	75 – 1000 750 – 4000	1000 ± 50
	0 – 5000 0 – 50000	187,5 – 2500 1875 – 10000	2500 ± 122,5

Відлік фіксованих моментів часу 15 і 60 с для реєстрації величин R15 і R60 здійснюють за допомогою секундоміра або реле часу.

1.6 Програма роботи та вказівки до її виконання

1. Усвідомити мету роботи й основні положення про опір і коефіцієнт абсорбції як про параметри, що характеризують стан ізоляції електроустаткування.

2. Ознайомитись з обладнанням робочого місця, розташуванням об'єктів випробування зразками ізоляторів та силовим трансформатором, перевірити наявність потрібних контрольно-вимірювальних приладів, апаратури та з'єднуючих провідників.

3. Провести вимірювання опору зразка ізоляції за методом амперметра-вольтметра.

4. Дослідити залежність виміряного опору ізоляції від проміжку часу з моменту прикладення вимірювальної напруги.

5. Дослідити залежність виміряної величини опору від стану поверхні ізоляційних конструкцій.

6. Дослідити залежності виміряного опору ізоляційної конструкції від схеми вимірювання.

7. Дослідити залежність виміряного опору ізоляції від величини вимірювальної напруги.

8. Дослідити залежність величини виміряного опору ізоляції від її температури.

Перед виміром опору вводи й ізолятори піддають зовнішньому огляду, при якому перевіряють стан мастики у вводах, рівень масла, наявність і справність арматури, стан виводів для вимірювання і т. ін. Поверхню ізоляторів очищають від забруднень і протирають насухо.

Для вимірювання опору ізоляції застосовують мегомметр із номінальною напругою 2500 В. Для приєднання мегомметра до вводів або ізоляторів, які випробують, застосовують тільки роздільні проводи з опором їх ізоляції не менше 100 МОм.

Приєднання з'єднуючих проводів мегомметра до ізоляторів проводять за допомогою спеціальних електродів, використовуючи діелектричні рукавички.

При випробуванні прохідних, підвісних і опорних ізоляторів при вводі в експлуатацію їх опір має бути не менше 1000 МОм, при експлуатаційних випробуваннях – не менше 500 МОм.

Вимір опору можна проводити тільки при позитивних температурах, Це пояснюється тим, що волога, яка могла потрапити до щілин в ізоляції, при негативних температурах перетворюється на кригу, що являє собою гарний діелектрик.

Вимір опору ізоляції вводів, прохідних, підвісних і опорних ізоляторів у суху, добру погоду не може дати достовірної оцінки. Пов'язано це з тим, що навіть при наявності в порцеляні наскрізних щілин вони не позначаться на величині опору ізоляції через відсутність у щілинах вологи, що утворює плівку з підвищеною провідністю.

9. Підготувати силовий трансформатор до відповідних вимірів:

– відключити трансформатор від мережі і перевірити заземлення його корпуса;

– очистити ізолятори від бруду, пилу і вологи;

– перевірити наявність з'єднуючих проводів і закороток для складання схеми вимірів;

– записати до протоколу випробування силового трансформатора його паспортні дані.

Увага! не починайте вимірювання, поки не переконаєтеся у відсутності напруги на об'єкті, який вимірюється.

10. Усвідомити принцип роботи мегомметра типу Ф4102/2-1М. Переконатися в його працездатності. Перевірку працездатності мегомметра Ф4102/2-1М здійснюють на максимальній межі вимірів у такому порядку:

– закоротивши клеми мегомметра «r_x» і «-», обертанням ручного приводу генератора переконатися в тому, що стрілка вимірювального приладу встановлюється на нуль;

– розімкнувши клеми мегомметра «r_x» і «-», тим же способом перевірити установку стрілки на «∞».

11. Провести дослідження залежності опору і коефіцієнта абсорбції для різного стану ізоляції, для чого необхідно:

а) підключити клеми мегомметра «r_x» і «-» до відповідних клем ізоляційної конструкції;

б) підготувати секундомір до вимірювання і зняти показання мікроамперметра через 15;30; 45 і 60 с після подачі напруги. Результати вимірювання зафіксувати в таблиці звіту;

в) повторити вимірювання, зазначені в п. 11б, для інших об'єктів контролю;

г) за результатами дослідження побудувати залежності виміряної величини опору ізоляції від проміжку часу з моменту подачі напруги вимірювання до моменту відліку показань мегомметра для кожного з станів об'єкта;

д) провести якісний аналіз отриманих залежностей R(t), визначити величину опору ізоляції R_{60} та коефіцієнта абсорбції $К_{абс}$ й зробити висновок про характер їх зміни зі зміною стану ізоляції.

12. Провести експлуатаційні виміри опору та коефіцієнта абсорбції ізоляції силового трансформатора за допомогою мегомметра Ф4102/2-1М між обмотками вищої і нижчої напруги, між кожною з них і корпусам відповідно до таблиці протоколу випробування силового трансформатора. За результатами вимірів визначити величини коефіцієнтів абсорбції і зробити висновок про технічний стан ізоляції трансформатора.

13. Скласти звіт по роботі із записом висновків, зроблених протягом проведених випробувань.

14. Дослідити доцільність використання охоронних кілець при вимірюванні опору ізоляційних конструкцій.

1.7 Зміст звіту

1). Завдання для виконання лабораторної роботи.

2). Отримані дані по кожному дослідженню, представлені у вигляді протоколу перевірки і випробування силового трансформатора.

3). Висновки.

1.8 Контрольні запитання

1. У чому полягає сутність контролю стану ізоляції за величиною виміряного опору?
2. Наведіть електричну схему заміщення діелектрика.
3. Які складові входять до сумарного стуму через ізоляцію?
4. Чому при вимірюванні опору ізоляції можна не враховувати геометричну складову струму.
5. Чим обумовлена залежність виміряного опору від часу з моменту прикладання вимірювальної напруги?
6. Наведіть визначення коефіцієнта абсорбції та зазначте, у яких границіх він змінюється.

Об’єкт_____

«_____ » _____201_р.

Протокол

Перевірки й випробування силового трансформатора

Тип_____ Зав.№_____

Завод-виготівник _____ Рік виготовлення_____

Номінальна потужність_____кВА Номінальна напруга_____кВ

I _____В номінальній струм_____А

II _____В група з’єднання _____

III_____В

Місце виготовлення _____

Вимірювання опору ізоляції відбувалась при температурі обмоток _____°С.

Обмотки	15-секундний вимір	60- секундний вимір	$k_{абс}$
ВН/НН			
ВН/корпус			
НН/корпус			

Перевірка випробування проводки_____

_____

Висновок. Ізоляція трансформатора типу _____потужністю кВА

Зав. №_____

_____

_____

Керівник_____

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

Дослідження фізичної моделі системи контролю ізоляції мереж з ізольованою нейтраллю

2.1 Мета роботи

Вивчити схему і принцип роботи системи контролю ізоляції, побудованої на базі трансформатора напруги типу НТМИ.

2.2 Загальні відомості

Захист від замикань на землю, що діє на сигнал, застосовується для знаходження дефектів ізоляції – глухих замикань на землю. Такий захист реагує на напругу фаз відносно землі, на напругу нульової послідовності або на струм трьох вольтметрів (рис. 2.1), які вмикаються в зірку із заземленою нейтральною точкою, іноді ці вольтметри називають «земляними».

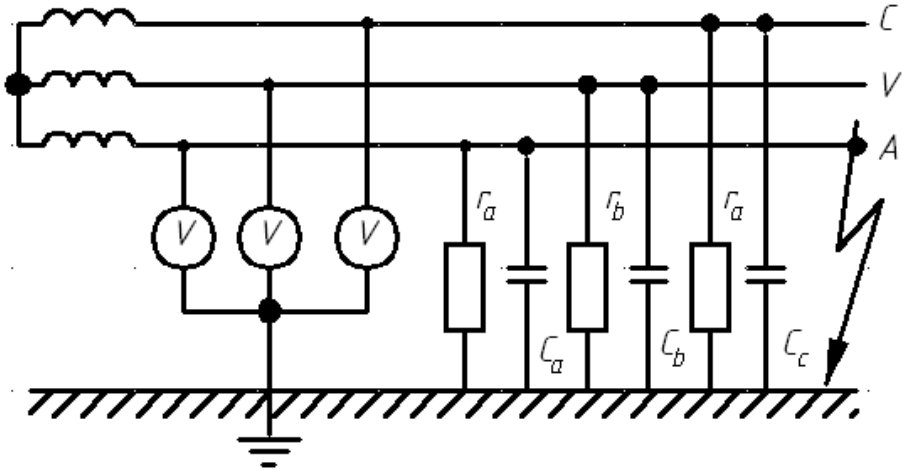


Рисунок 2.1 – Схема трьох вольтметрів (земляні вольтметри)

Кожен вольтметр показує напругу відносно землі тієї фази , до якої його підключено:

$$\dot{U}_{аз} = \dot{U}_a - \dot{U}_{0i};$$
$$\dot{U}_{bз} = \dot{U}_b - \dot{U}_{0i};$$
$$\dot{U}_{cз} = \dot{U}_c - \dot{U}_0.$$

Провідність непошкодженої ізоляції ($g' = 0$) приблизно симетричні $Y_a \approx Y_b \approx Y_c \approx Y$ і тому напруга зміщення нейтралі невелика і напруги фаз відносно землі, що показують вольтметри, приблизно дорівнюють фазним напругам джерела:

$$U_{аз} \approx U;$$

$$U_{bз} \approx U;$$

$$U_{cз} \approx U.$$

При глухому замиканні однієї з фаз на землю (припустимо, фази А) напруга пошкодженої фази А відносно землі визначиться з виразу

$$\dot{U}_{aз} \to 0.$$

Напруга непошкоджених фаз більша фазної і наближається до лінійної:

$$U_{bз} \approx U_{cз} \approx \sqrt{3}U.$$

При справній ізоляції вольтметри показують напругу приблизно рівну фазній. В разі глухого замикання на землю один з них показує нуль, а два інших – лінійну напругу.

Така схема здійснює самоконтроль, бо несправний вольтметр показує нуль, так само, як при замиканні на землю.

Цілком зрозуміло, що з показань вольтметрів можна робити висновок лише про наявність або відсутність замикань на землю, а не про величину опору ізоляції. При симетричному зниженні опору ізоляції аж до короткого замикання вольтметри справно показуватимуть напругу, рівну фазній.

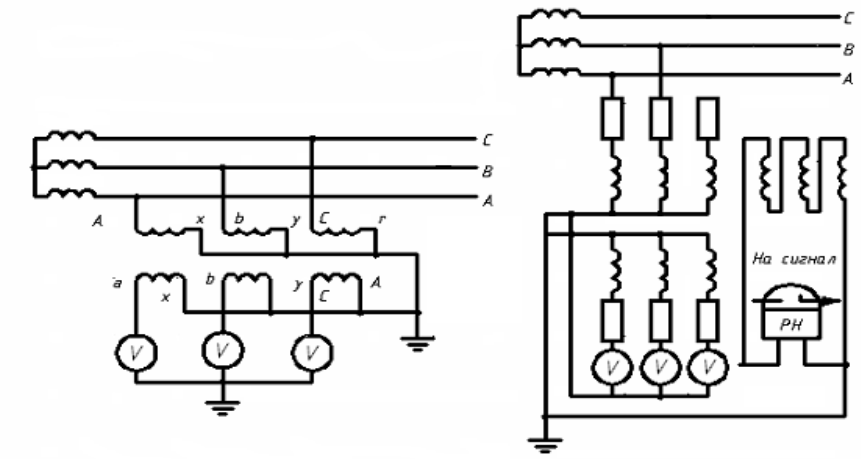
Очевидно, що схема трьох вольтметрів не вимірює опору ізоляції, а лише виявляє замикання на землю.

При появі дефектів ізоляції протягом короткого часу ці дефекти підсилюються і виникає замикання на землю, яке і виявляється вольтметрами. Вольтметри вмикаються або через однофазні трансформатори напруги (рис. 2.2,а), або на вторинні обмотки п’ятистержневого трансформатора напруги, як показано на рисунку 2.2,б у такій схемі сигнальне реле включене на напругу нульової послідовності, одержану підсумовуванням напруг трьох фаз відносно землі. Це досягається з’єднанням трьох вторинних обмоток у відкритий трикутник. Таким чином, на реле подається напруга, що дорівнює:

$$\dot{U}_p = (\dot{U}_{aз} + \dot{U}_{bз} + \dot{U}_{cз}) k_{т.н};$$

тут $k_{т.н}$ – коефіцієнт трансформації опрацьовує і дає сигнал.

Слід відзначити, що вольтметри (або трансформатори напруги) вмикаються паралельно ізоляції фаз відносно землі, що збільшує струм замикання на землю, а значить, знижує безпеку, тому вольтметри або трансформатори повинні мати високий опір.



а) б)

Рисунок 2.2 – Вмикання земляних вольтметрів через однофазні трансформатори напруги (а); вмикання земляних вольтметрів через п’ятистержневий трансформатор напруги (б)

2.3 Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою лабораторної установки (рис. 2.3).

2. Зібрати схему установки.

3. Встановити маховичок автотрансформатора АТ у положення, відповідне нулю напруги на виході трансформатора Т1, Au, Bu, Cu. Для контролю напруги увімкнути переносний вольтметр на лінійну напругу зазначених віще фаз (границя вимірювання вольтметра – 300 В).

4. Увімкнути автомат SF1 (у присутності викладача), встановити величину лінійних напруг, виміряних між клемами Au, Bu, Cu рівними 220 В.

5. Увімкнути автоматом SF2 навантаження мережі (двигун М).

6. Записати у таблицю 2.1 показання всіх приладів установки у графу таблиці «нормальний режим».

7. Вмикаючи по черзі штепсельний роз’їм проводу, що йде від кнопки SB, у гнізда клем фаз Au, Bu, Cu і, натискуючи при цьому кнопку, замикати фази на землю. При цьому записувати показання приладів у відповідні графи таблиць.

8. У процесі досліду записувати стан сигнальної лампочки НН («горить», «не горить») у таблицю 2.2.

9. Зробити аналіз стану установки при дослідах у нормальному режимі та при замиканні будь-якої фази моделі мережі з ізольованою нейтраллю (Au, Bu, Cu) на землю. Звернути увагу на роботу навантаження мережі (двигун М).

Пояснити:

- показання вольтметрів, що вимірюють фазні лінійні напруги вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів напруги, а також вольтметрів, що вимірюють U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} (первинні напруги мережі), вольтметра, що вимірює потужність, споживану двигуном М.

- які прилади дозволяють визначити факт замикання будь-якої фази мережі на «землю», а також установити фазу замкнуту на «землю».

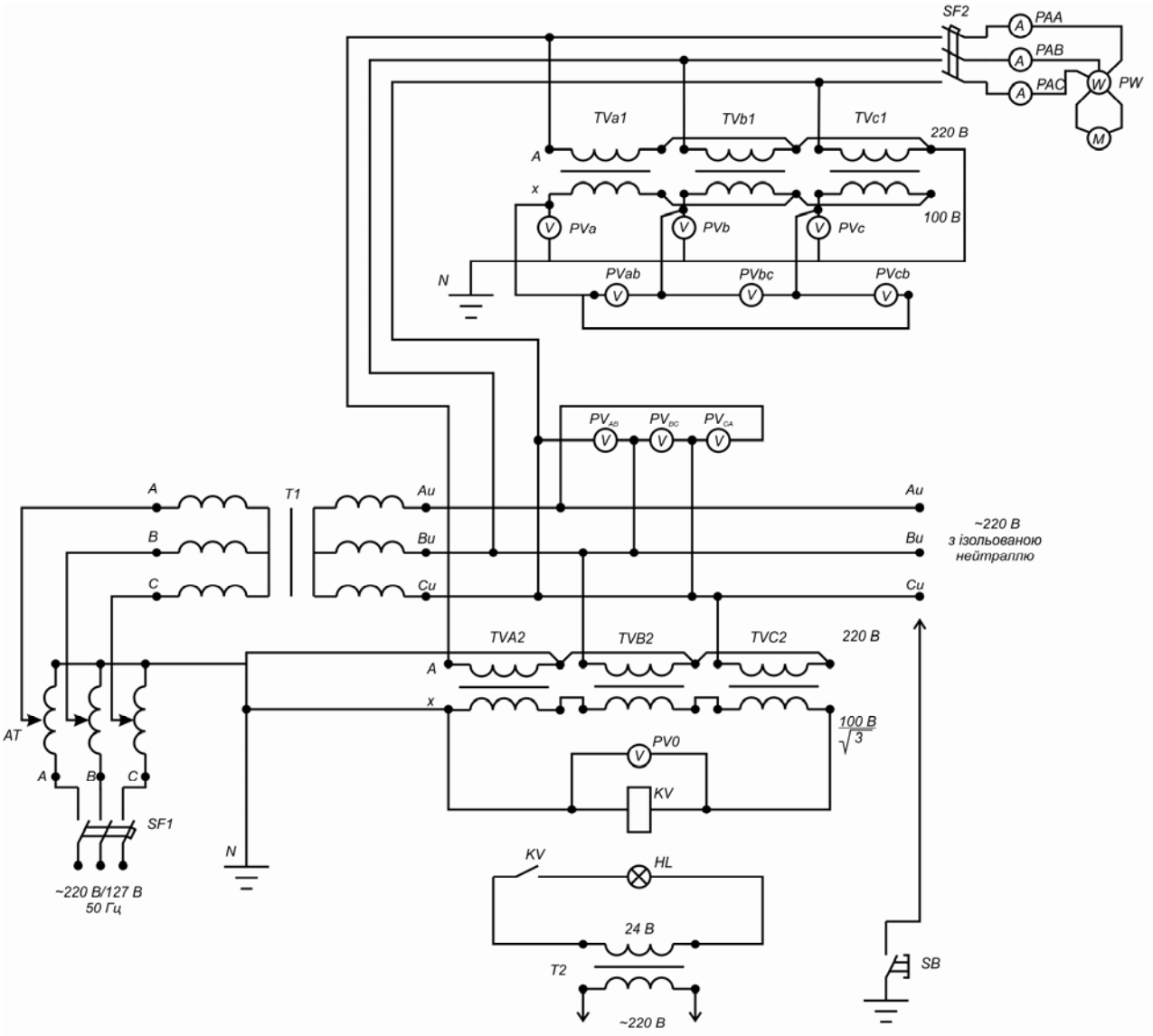


Рисунок 2.3 – Схема лабораторної установки

2.4 Зміст звіту

1). Завдання для виконання лабораторної роботи.

2). Отримані дані по кожному дослідженню, представлені у вигляді таблиць 2.1 і 2.2.

3). Висновки.

2.5 Контрольні запитання

1. В яких мережах застосовується ізольований режим нейтралі?
2. Які величини струмів однофазного замикання на землю допускаються в мережах 6, 10, 35 кВ?
3. Яким чином контролюється наявність однофазного замикання на землю?
4. Яку величину має коефіцієнт замикання на землю в мережах з ізольованою нейтраллю?
5. Як змінюється напруга на фазах відносно землі при замиканні однієї фази на землю?

Таблиця 2.1 – Показання приладів установки

Режими роботи установки	Нормальний	Замкнута на землю фаза A_u	Замкнута на землю фаза B_u	Замкнута на землю фаза C_u
U_{AB}, В				
U_{BC}, В				
U_{CA}, В				
U_{ab}, В				
U_{bc}, В				
U_{ca}, В				
U_a, В				
U_b, В				
U_c, В				
I_A, А				
I_B, А				
I_C, А				
U_0, В				
Р, кВт				

Таблиця 2.2 – Стан сигнальної лампочки НН

Режими роботи установки		Стан сигнальної лам-	Стан навантаження
Нормальний			
Фаза замкнута на «землю»	Au		
	Bu		
	Cu		

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

Налагодження та перевірка трансформаторів струму (ТС)

3.1 Мета роботи

Одержання практичних навиків налагодження трансформаторів струму.

3.2 Загальні відомості

Усі вторинні струмові кола електростанцій та підстанцій живляться через трансформатори струму. Дуже важливо для чіткої роботи релейного захисту і систем обліку електричної енергії якісно виконати налагодження схеми і перевірку трансформаторів струму. Тому слід особливо ретельно поставитися до цієї роботи. Невдало виконані налагоджувальні роботи можуть згодом призвести до тяжкої аварії або до хибного обліку електричної енергії. Перевірку струмових кіл, як і всіх вторинних кіл, проводять різними пробниками с тестерами, контрольними лампочками, польовими телефонами, тощо).

Налагодження та перевірка ТС, відповідно до ПУЕ, проводиться у такому обсязі: перевірка опору ізоляції, перевірка полярності, зняття вольтамперної характеристики, замірювання опору струмових кіл, перевірка коефіцієнта трансформації.

3.3 Послідовність виконання роботи

Опір ізоляції вимірюється мегомметром на напрузі 2,5 кВ, 0,5 кВ або 1,0 кВ. Ізоляція вимірюється між обмотками і кожною обмоткою по відношенню до корпусу трансформатора (рис. 3.1). У багатьох схемах захисту правильно підімкнути реле можна лише в разі, якщо відома «полярність» затискачів трансформатора струму. На виводах обмоток трансформаторів струму зазначається полярність: первинна обмотка позначається $Л_1$ та $Л_2$, а вторинна $і_1$ та $і_2$. Якщо струм у первинній обмотці втікає у затискач $Л_1$, то у вторинній обмотці струм має витікати з $і_1$. У зовнішньому колі вторинної обмотки струм має текти від затискача $і_1$ до затискача $і_2$. Щоб переконатися у правильності полярності трансформатора струму, треба її перевірити за допомогою батарейки і гальванометра або мілівольтметра. Перевірку проводять за схемою рисунку 3.2. Якщо плюс батарейки підімкнуто до затискача $Л_1$, а плюс гальванометра (або мілівольтметра) до затискача U_1 вторинної обмотки, і в момент замикання ключа SB стрілка приладу відхиляється праворуч, а при розмиканні ключа SB стрілка відхиляється ліворуч, це свідчитиме про правильно виконану маркіровку затискачів трансформатора струму (полярність).

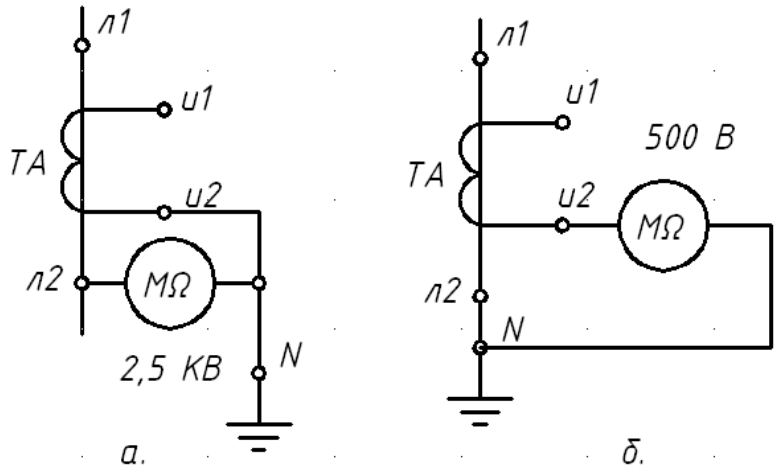


Рисунок 3.1 – Схеми вимірювання опору ізоляції мегомметром

Залежність струму у вторинній обмотці трансформатора струму від прикладеної напруги до затискачів цієї обмотки називається вольтамперною характеристикою. Вольтамперна характеристика дає змогу: встановити наявність коротко замкнутих витків у вторинній обмотці трансформатора струму, підібрати комплект трансформаторів струму для спеціальних захистів і зокрема до диференціального захисту, визначити допустиме навантаження на трансформатор струму.

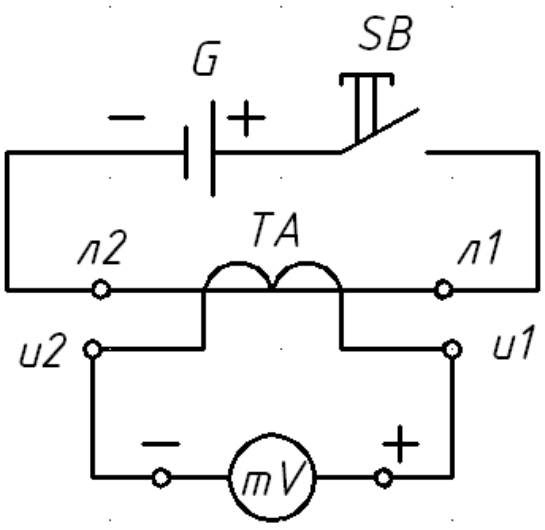


Рисунок 3.2 – Схема перевірки правильності полярності трансформатора

Для зняття вольтамперної характеристики трансформатора струму збирається схема (рис. 3.3). На рисунку 3.4 показані вольт амперні характеристики, причому криві 1, 2, 3 належать до справних трансформаторів струму, а крива 4 – до трансформатора струму з витковим замикання у вторинній обмотці.

Амперметр А (або міліамперметр) слід брати з малим внутрішнім опором. При знятті характеристики слід виміряти п’ять – сім точок відрахунку по приладах, повільно піднімаючи напругу за допомогою автотрансформатора АТ.

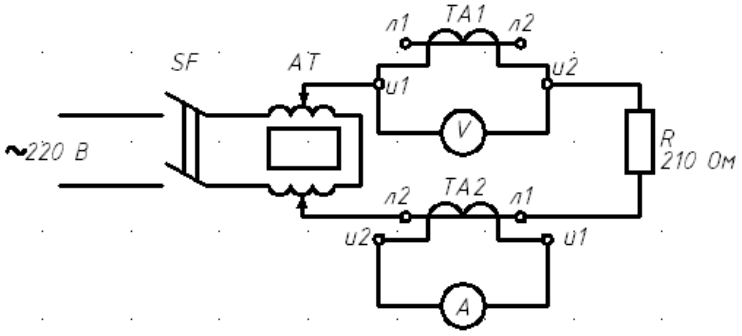


Рисунок 3.3 – Схема зняття вольтамперної характеристики трансформатора струму

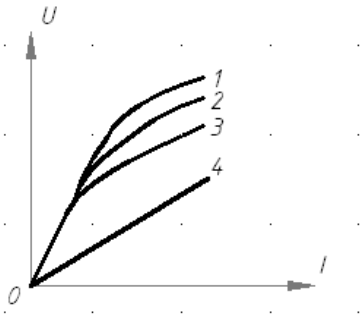


Рисунок 3.4 – Вольтамперна характеристика трансформатора струму

Кожен трансформатор струму повинен мати табличку із зазначенням заводу – виготовлювача, номера трансформатора струму, номінальних даних, у тому числі даних про допустиме навантаження трансформатора в Омах. Для перевірки допустимого навантаження на трансформатор струму вимірюється опір струмового кола разом із котушками реле, обмотками приладів, тобто повний опір навантаження, яке підімкнуте до затискачів вторинної обмотки трансформатора струму.

Перевірку коефіцієнта трансформації трансформатора струму поєднують з операцією опробування захисту первинним струмом. Перевірка захисту первинним струмом є дуже важливою операцією, яка підтверджує правильність виконання налагоджувальних робіт (перевірка струмових кіл, уставок реле, взаємодія реле у схемі). Для перевірки коефіцієнта трансформації та опробування захисту первинним струмом збирається схема за рисунку 3.5. Перевірку коефіцієнта трансформації треба проводити з підімкнутим навантаженням Z до вторинної обмотки трансформатора струму, що випробовується. Опір навантаження ТС не може перевищувати величину, зазначену на табличці ТС.

Для утворення стуму у первинних обмотках ТС може використовуватися при малих первинних струмах ЛАТР і «котельний» трансформатор подібно до схеми рисунку 3.5, при великих струмах – зварювальний трансформатор, водяний реостат або спеціальний навантажувальний трансформатор(силовий знижуючий).

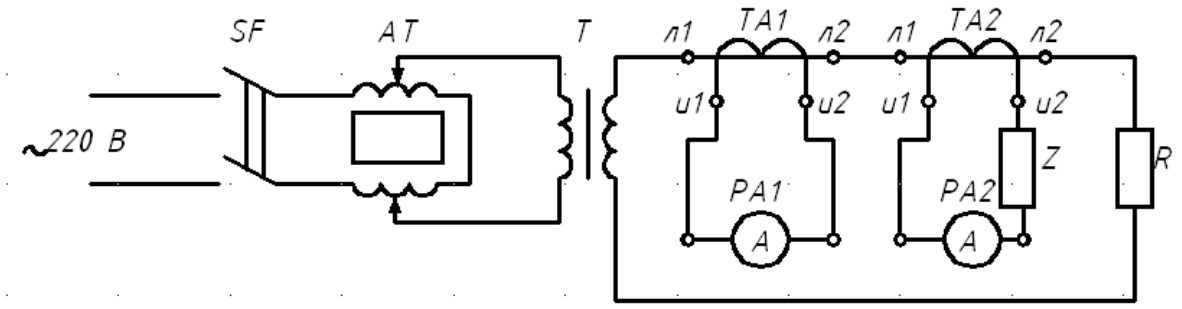


Рисунок 3.5 – Схема перевірки коефіцієнта трансформації трансформатора струму

У нашому випадку – автотрансформатор АТ типу РНО та силовий трансформатор Т типу ОСО – 250 напругою 220/12 В потужністю 250 ВА. У досліді I_2 трансформатора Т не повинен перевищувати 30 А. Перевірка проводиться через співставлення показання амперметра, підімкнутого до контрольного трансформатора струму ТА 1, з показаннями амперметра, підімкнутого до трансформатора струму ТА 2, що випробовується. Струм у первинній обмотці трансформатора, що випробовується, визначається помноженням показання амперметра на коефіцієнт трансформації трансформатора струму. Для перевірку достатньо визначити три – п’ять показань: на початку шкали, в середині шкали і в межах номінального вторинного струму (I_2 = 5А).

Після перевірки коефіцієнта трансформації сему не розбирають, а навантажувальним пристроєм піднімають струм до величини, при якій спрацьовує захист. Перед цим випробуванням вмикають масляний вимикач, причому напругу на шинах підстанції має бути знято, роз’єднувач вимкруто і заземлено: оперативна напруга має бути подана на схему.

При спрацьовуванні реле захисту перевіряють дію реле на відмикаючу вимикача, спрацьовування відповідних сигнальних реле, дію звукової та світлової сигналізації. Кола сигналізації, природно, мають перевірятися до зазначеного випробування.

3.4 Зміст звіту

1) Завдання для виконання лабораторної роботи.

2) Отримані дані по кожному дослідженню, представлені у вигляді протоколів.

3) Висновки.

3.5 Контрольні запитання

1. Назвіть основні етапи налагодження і перевірки трансформаторів струму.

2. Поясніть фізичні процеси, що протікають при перевірці правильності маркування трансформаторів струму.

3. Скласти схему для перевірки міцності ізоляції трансформаторів стуму.

4. З якою метою проводиться перевірка трансформаторів струму за вольтамперною характеристикою (ВАХ)?

5. Чому при знятті ВАХ трансформаторів струму необхідно подавати живлення на вторинну обмотку?

6. Чому при перевірці міцності ізоляції необхідно використовувати два типи мегомметрів?

ПРОТОКОЛ

Випробування трансформаторів струму

« _____» _____20 р.

_____

призначення

1. Камера РУ _____
2. Панель керування № _____
3. Панель реле № _____
4. Паспортні дані трансформаторів струму

Монтажний символ	Фаза	Заводський №	Тип	Клас	Напруга	Коефіцієнт трансформації		Приміт-ка
						перв.	друг.	

5. Відповідність полярності виводів вторинної обмотки заводській маркіровці _____
_____

6. Принципові схеми:

7. Перевірка опору ізоляції

Трансформатор, тип	Опір ізоляції первинної обмотки, МОМ	Опір ізоляції вторинної обмотки, МОМ

8. Характеристики намагнічування

Трансформатор струму №	Клас	I, A				
		U, B				
№	Клас	I, A				
		U, B				

9. Висновки

10. Випробування проводили :_____

_____

Керівник бригади:_____

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

Перевірка і наладка трьохполюсного масляного вимикача

4.1 Мета роботи

Отримати практичні навички виконання основних операцій, які виконуються при наладці, приймально-здавальних випробуваннях і експлуатації трьохполюсних масляних вимикачів типу ВМП-10П (вимикач масляний підвісний з вбудованим пружинним приводом на 10 кВ).

4.2 Загальні відомості

Вимикачем називають електричний апарат, який має два комутаційних положення і призначений для вмикання і вимикання струму.

Вимикач, комутаційні контакти якого розташовані в масляній ванні, називають масляним.

Як ознаку для класифікації масляних вимикачів прийнято метод гасіння дуги і спосіб ізоляції частин, які знаходяться під напругою. Відповідно до цього розрізняють такі види масляних вимикачів:

- масляні малооб’ємні (маломасляні) вимикачі, в яких масло використовують тільки як матеріал, що газогенерує. Для ізоляції части, що знаходяться під напругою, використовують тверді іелектрики;

- масляні багатооб'ємні вимикачі, масло в яких використовують і як матеріал, що газогенерує, і як основний ізоляційний матеріал тих частин вимикача, що знаходяться під напругою.

Вимикачі є основними комутаційними апаратами в електричних установках високої напруги і призначені для комутації кіл струму в будь-яких режимах. Найбільш важкою і відповідальною операцією є відключення короткого замикання. У зв'язку з цим до вимикачів ставлять ряд вимог, основними серед яких є:

- безвідмовність відключення струмів, перевантаження і короткого замикання;
- можливість багаторазового вмикання і вимикання без розрегулювань і пошкоджень окремих вузлів і деталей;
- здатність довгострокового витримування робочих перенапруг;
- здатність витримувати можливі в експлуатації короткочасні перенапруги без пошкождення ізоляції;
- здатність довгостроково пропускати робочий струм без небезпечного нагрівання стумоведучих частин;

здатність витримувати певні механічні навантаження, яки виникають під час нормальних режимів роботи;

- придатність до автоматичного повторного вмикання відразу після вимикання;
- зручність для проведення профілактичних робіт.

В окремих випадках висуваються й інші вимоги, викликані особливими умовами роботи вимикачів або електроустановок, в яких вони встановлені.

Найвищу із стандартних лінійних напруг, за якої гарантується робота вимикача, називають його номінальною напругою.

Вимикачі повинні надійно працювати при напругах, що перевищують номінальну на 10 – 15%. Ця напруга одержала назву максимальної робочої напруги. Величини номінальних і найбільших робочих напруг в основному визначають довжину, ширину і висоту (тобто габарити) вимикача.

Струм, на який вимикач призначений для роботи, називають номінальним струмом. Під час протікання номінального струму по струмоведучих частинах вимикача їх нагрів не повинен перевищувати розрахункової температури: 75^0 С – для контактів і 90^0 С – для оголених частин, які знаходяться в маслі. У той же час вимикачі повинні мати достатню електродинамічну і термічну стійкість, тобто у включеному положенні вони повинні витримувати без пошкоджень проходження встановлених для них струмів короткого замикання.

Електродинамічно стійким вважають такий вимикач, внутрішні й зовнішні частини якого витримують встановлені для нього ударні стуми короткого замикання без будь-яких порушень, що перешкоджають подальшій роботі вимикача.

Термічно стійким вважають такий вимикач, струмоведучі частини якого під час протікання через нього струму короткого замикання не нагріваються

протягом установленого часу понад допустиму короткочасну температуру нагрівання.

Найважливішим технічним параметром вимикачів, який характеризує їхню вимикаючу здатність, є номінальний струм відключення. Номінальним струмом відключення називають найбільший струм короткого замикання (діюче значення), який вимикач спроможний відключити за напруги, рівної найбільшій робочій напрузі при заданих умовах відновлення напруги і заданому циклі операцій.

Відключаючу здатність вимикачів характеризує також номінальна потужність відключення, яка залежить від номінального струму відключення робочої напруги мережі:

$$S_{відкл} = \sqrt{3} U_{раб\max} \cdot I_{відкл} .$$

Справність вимикачів характеризують такі параметри, як власний час відключення, швидкість включення і відключення, неодночасність включення контактів різних полюсів і т.п.

Принцип роботи масляних вимикачів заснований на тому, що виникаюча між контактами дуга у процесі відключення ставиться в умови тісної взаємодії з маслом – активним дугогасником. Це забезпечує ефективне охолодження дуги в потоці газопарового середовища, яке утворюється самою дугою за рахунок випару і розкладанню масла.

Енергія, яка виділяється в дузі масляних вимикачів, витрачається на:

– розкладання і рух масла (близько 28%);
– нагрівання і випар масла (близько 9%);
– розширення і нагрів газів і парів (близько 40%);
– тепловіддачу (близько 11%);
– механічну деформацію бака (близько 5%).

Через відносну складність масляних вимикачів і роботу у важких умовах відключення робочих і аварійних струмів пояснюють найбільшу пошкоджуваність цих апаратів. На масляні вимикачі припадає до 50% всіх пошкоджень елементів розподільних пристроїв. Статистичні дані дозволяють характеризувати розподіл пошкоджень вимикачів (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Розподіл пошкоджень між елементами масляних вимикачів

Елементи вимикача, %	Номінальна напруга, кВ	
	6 – 10	35
Вводи і зовнішня ізоляція	20	30
Внутрішньобакова ізоляція	5	15
Дугогасні камери і контактна система	25	15
Тягова система і привід	50	40

З цієї таблиці можна зробити висновки, що найбільш слабким місцем у вимикачів до 35 кВ є механічна система вимикача і його електропривід.

Вимикач типу ВМП – 10 (рис. 4.1) складається з трьох полюсів і вбудованого в раму пружинного приводу, однакового для вимикачів на різні номінальні струми.3

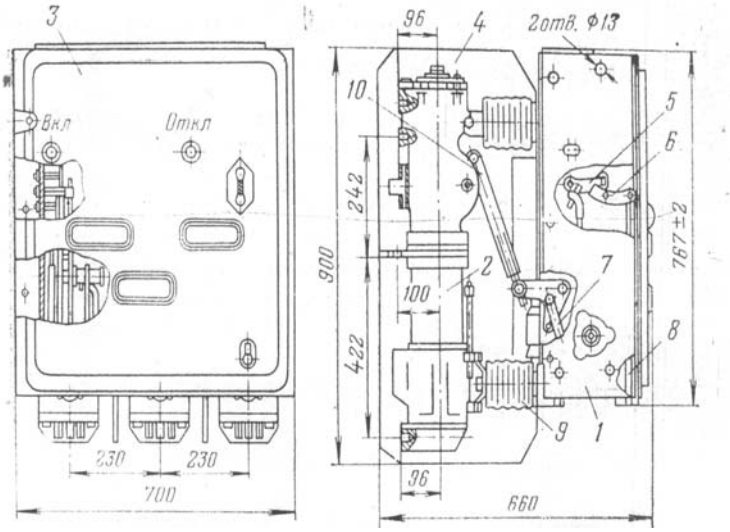


Рисунок 4.1 – Вимикач типу ВМП – 10

Привід був призначений для автоматичного або ручного, а також дистанційного керування вимикачем. Привід дає можливість широкого вживання оперативного змінного струму і автоматичного повторного включення (АПВ) з реле побічної дії.

При використовуванні приводу можна не застосовувати складних схем релейного захисту. Автоматичні і дистанційні операції включення і відключення здійснюються вбудованими в привід електромагнітами управління і відключаючими елементами захисту (релейний блок), забезпечений покажчиками спрацьовування. В приводі є кнопки для безпосереднього ручного управління вимикачем. При автоматичному дистанційному або ручному керуванні вимикачем здійснюється незалежне включення і відключення вимикача за рахунок енергії, що заздалегідь запасається. Процес включення або відключення, що при цьому почався, завершується незалежно від волі оператора. Робочі пружини запасають енергію в приводі після спрацьовування приводу за допомогою електромагніту закладу робочих пружин і забезпечують можливість здійснення однократного АПВ.

Кожний полюс (2) вимикача (рис. 4.1) підвішений на опорних ізоляторах (9) типу ОМБ – 11Т до рами (1) і зв'язаний ізоляційною тягою (10) з валом вимикача. Між полюсами встановлено ізоляційні перегородки (4).

Пружинний привід (рис. 4.2), вбудований в раму (7), складається з валу приводу (14), заводного пристрою (10, 11), механізмів включення і відключення, електромеханічних блокувань, механічних блокувань (36, 37).

В заводний пристрій входять електромагніт (10) пристрою робочих пружин, зв'язаний важелем з обгінною муфтою (16), переривник (11) з кулачком (23), поворотні пружини (18), випрямляч (21), блокувальний контакт (34).

Для зменшення іскріння контакти переривника шунтуються конденсатором МБГП – 1 (ємність 2 мкФ, напруга 1500 В) (19).

На стінці рами (7) були розміщені механізми включення і відключення. Механізм включення складається із замочного пристрою включення (25), зв'язаного тягою (26, 38) і важелем (39) з фіксатором (28), утримуваної в замкнутому положенні собачкою (30). В механізм відключення входить пристрій відключення (27), пов'язане з фіксатором (31), яка утримується в замкнутому положенні собачкою (32).

В приводі було передбачено примусове замикання механізмів включення і відключення в процесі операцій включення і відключення.

При ручному взводі робочих пружин в приводі передбачене механічне блокування, що перешкоджає їх перезаводці.

Електромеханічне блокування, що не дозволяє включити привід при включеному вимикачі, пов'язано з положенням валу вимикача. Якщо вимикач був відключений, кнопка ручного виключення розблокована і включаюча котушка через замкнуті блок – контакти типу КСА – 8 може отримати команду на включення вимикача.

Електромеханічне блокування, що не дозволяє включити вимикач при не повністю заведених робочих пружинах, зв'язано з блок-контактами положення робочих пружин (БКП). При повністю заведених пружинах через ці блок - контакти живлення подається на електромагніт включення і одночасно розблокує кнопка ручного включення. Крім того, при натисканні кнопки ручного включення проводиться електричне блокування, що перешкоджає взводу робочих пружин за допомогою блокувального контакту.

Котушка електромагніту закладу робочих пружин виготовляється на напругу постійного струму 110 і 220 В. У разі живлення від мережі змінного струму напругою 127 і 220 В використовується селеновий випрямляч типу 75 ЕМ 28Г.

Аварійні блок-контакти (БКА) дають сигнал про аварійне відключення при дії будь-якого відключаючого елемента захисту, блок-контакти БКА 9 (Рис.4.2), що мають два кола, замикаються при включенні вимикача. При відключенні вимикача, коли спрацьовує захист, блок-контакти залишаються за-

мкнутими. У разі відключення вимикача електромагнітом дистанційного відключення ЕВ або кнопкою ручного відключення контакти розмикаються. За допомогою контактів БКА створюється коло невідповідності положення ВМП – 10П і команди управління.

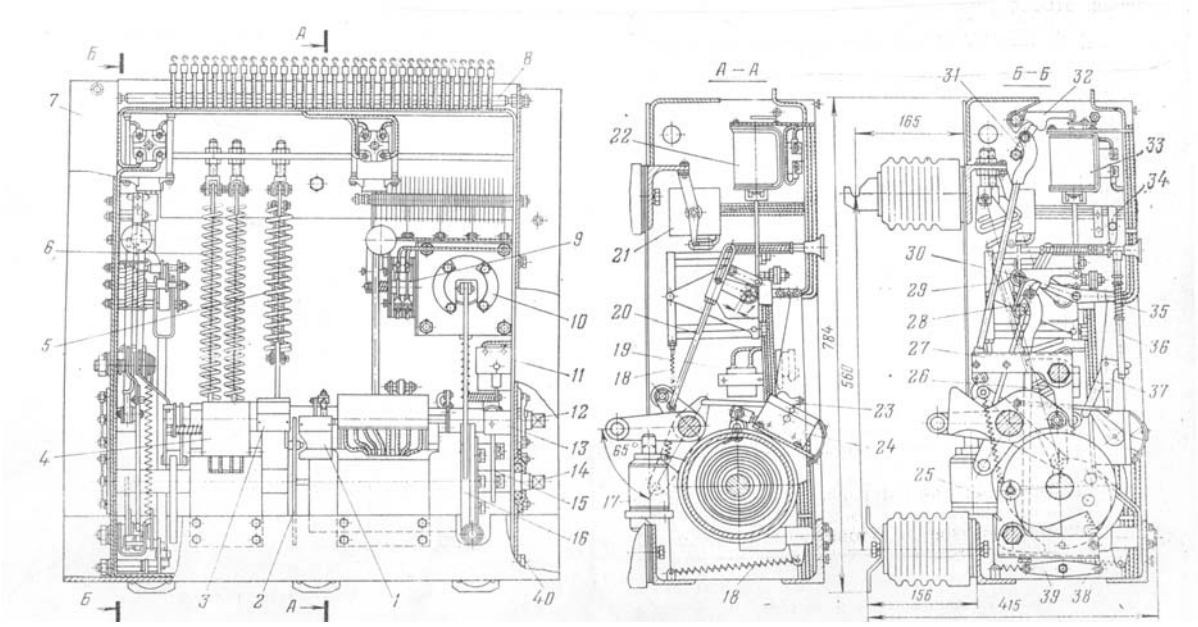


Рисунок 4.2 – Пружинний привід, вбудований в раму

Реле максимального струму миттєвої дії РТМ було виконано на уставки струму від 5 до 120 А і дає можливість плавно регулювати струм у всьому діапазоні. При досягненні або перевищенні проходячим через обмотку реле струмом величини струму уставки реле миттєво спрацьовує. Відхилення струму спрацьовування від його середнього значення на кожній уставці не більше 2%. В реле був застосований комбінований спосіб зміни уставок струму. Східчасте регулювання здійснюється перемикачем кількості витків відмотування, а плавне регулювання – зміною повітряного зазору між осердям і контрполюсом. Осердя в поєднанні з великим повітряним зазором між контполюсом і осердям забезпечує при спрацьовуванні достатню енергію для відключення вимикача. Конструктивно осердя виконано порожнистим. Реле має покажчик спрацьовування (блінкер).

Електромагніт відключення з живленням від незалежного джерела оперативного струму $ЕВ_{нп}$ виготовляється на напругу постійного струму (24, 48), 110 і 220 В і змінного струму 100, 127 і 220 В. Дія електромагніту миттєва. Електромагніт надійно працює при напрузі на його клемах 65 – 120% номінальної, для електромагніту відключення ЕВ і 80 – 110% номінального для електромагніту включення ЕВ.

Наладка і випробування ВМП – 10П

«Електроустаткування до 500 кВ, знов що вводиться в експлуатацію в енергосистемах і у споживача, повинно бути піддано приймально-здавальним випробуванням .» [ПУЕ гл. 1 – 8].

Масляний вимикач ВМП – 10П піддається випробуванням в процесі і після виконання комплексу налагоджувальних робіт.

Налагоджувальні роботи:

1. Зовнішній огляд, чищення, смазування:
- виводи – технічним вазеліном (ГОСТ 782 – 59);

- частини механізму, що труться, – 1 частина графіту (ГОСТ 5279 – 61) і 5 частин ЦИАТІМ – 203 (ГОСТ 8773 – 63).

2. Перевірка наявності масла в масляному буфері (згідно заводської інструкції).

3. Перевірка і регулювання ходу рухомих контактів.

4. Перевірка одночасності замкнення контактів.

5. Вимірювання швидкості включення і відключення вимикача.

6. Вимірювання величини опору токопроводів (перехідні опори контактів).

7. Перевірка схем кіл управління приводом.

8. Перевірка роботи вимикача при включенні і відключенні приводом, дистанційно і вручну (8 – 10 операцій).

9. Вимірювання опору ізоляції кіл первинної комутації мегаометром 2500 В і кіл вторинної комутації – мегаометром 1000 В.

10. Випробування ізоляції підвищеною напругою кіл первинної комутації – 42 кВ протягом однієї хвилини.

4.3 Послідовність виконання роботи

1. Провести ретельний зовнішній огляд масляного вимикача ВМП – 10П.

В процесі огляду (ревізії) перевірити:

затягування кріпильних деталей, їх контрування;

наявність мастила на деталях шарнірів, що труться;

зчленовування елементів механізмів (шарнірів), що рухаються, на предмет фіксації положення осей за допомогою шплінтів, розрізних шайб і інших фіксуючих деталей (болти з гайками без контрування не допускаються);

цілість і чистоту ізолюючих деталей;

наявність трансформаторного мастила в полюсах (мастилоуказчики) і демпфері (мастильному буфері) (рис. 4.2. поз. (17));

чистоту контактних поверхонь апаратів КСА (контрольно-сигнальних апаратів) і переривника пристрою взводу включаючої пружини (рис. 4.2., поз. (11));

наявність межполюсних ізоляційних перегородок (рис. 4.1., поз. (4));

наявність кришок на апаратах КСА;

надійність кріплення рами вимикача до опорної конструкції;

наявність кришки приводу (рис. 4.1, поз. (3));

наявність і надійність пристрою заземлення;

Результати огляду занести в протокол випробувань (табл. 4.3).

2. Контроль ходу рухомих частин масляного вимикача

Тягова система вимикача вимагає ретельного регулювання і контролю під час експлуатації, оскільки, як самовільне вимикання, так і відмова у увимкненні призводять до порушення нормальної роботи електроустановки.

У процесі регулювання під час наладки і профілактичного обслуговування проводять вимір параметрів, зв’язаних з ходом рухомих частин, до яких у першу чергу слід віднести вільний хід рухомого контакту, втиск та неодночасність замикання контактів.

Вільним ходом вимикача називають відстань, яку проходить рухомий контакт від моменту торкання до нерухомого контакту до положення «Увімкнено» (тобто хід у контактах). Значення повного ходу рухомих контактів (траверси) являє собою суму двох величин: вільного ходу контактів і втиску.

Хід у контактах (втиск) визначають таки способом, Контакти вимикача включають у схему живлення контрольної лампи (рис. 4.3). Потім повільно ручку вимикач вимикають. У момент загоряння лампи на стержні наносять першу позначку, потім вимикач доводять до положення «Увімкненно». На стержні наносять другу позначку, яка відповідає новому положенню вимикача. Виміряна лінійкою відстань між цими позначками буде відповідати параметру втиску. Такі виміри проводять на всіх трьох полюсах вимикача.

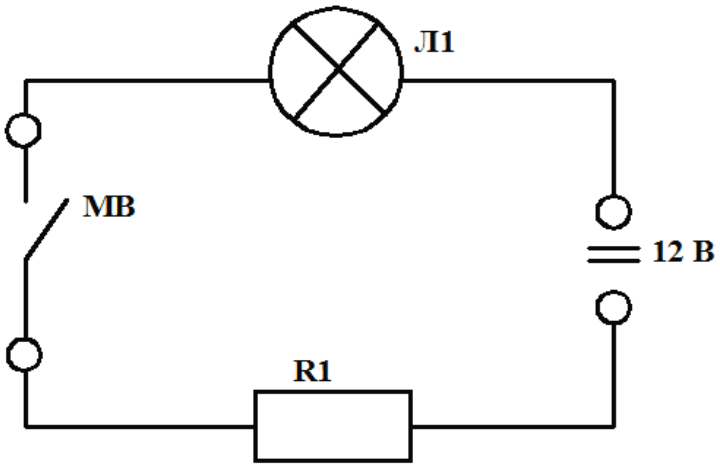


Рисунок 4.3 – Вимірювання ходу рухомих частин масляного вимикача ВМП-10

Величини ходу рухомих частин нормовані і повинні знаходитися в межах, вказаних у таблиці 4.9.

Для визначення ходу рухомих контактів скористуємося лінійкою з розподілами, закріпленою на полюсі фази «А» і стрілкою, встановленою на стрижні, укрученому у верхній торець рухомого контакту, тобто пристроєм «лінійка – стрілка».

На вал вимикача рисунку 4.2, поз. (12) одягнути важіль ручного включення і поволі повертати важіль вниз (на включення) до моменту торкання рухомим контактом нерухомого. У момент торкання повинна засвітитися лампочка, схема включення якої була приведена на рисунку 4.3. У момент включення лампочки слід зупинити рух важеля і записати показання пристрою «лінійка – стрілка». Продовжити поворот важеля на включення до моменту клацання механізму вільного розчіплення приводу. Після клацання, тобто постановки механізму приводу на фіксатор обов'язково зняти важіль з валу і записати показання пристрою «лінійка – стрілка». Різниця показань дасть величину ходу в контакті («вжим») фази «А». Отриману величину записати в таблицю 4.9 протоколу.

Провести відключення вимикача кнопкою ручного відключення (рис. 4.1).

Знову одягнути на вал важіль і повернути на відключення до упора. Обов'язково зняти важіль з валу і записати показання пристрою «лінійка - стрілка».

Обчислити величину повного ходу рухомого контакту як різницю свідчень останнього і попереднього (рис. 4.4).

Результати занести в таблицю 4.7 протоколу.

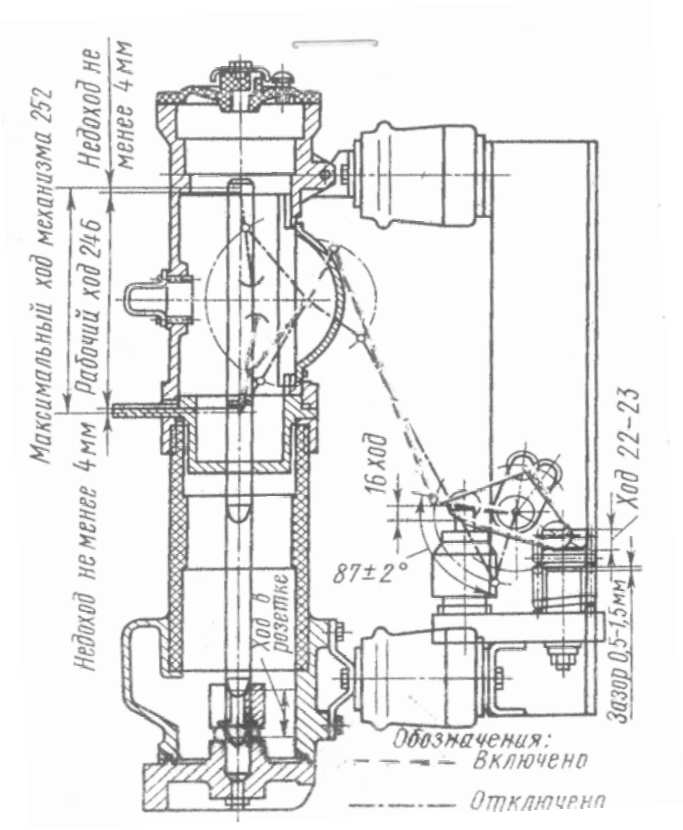


Рисунок 4.4 – Вимірювання ходу рухомих частин масляного вимикача типу ВМП-10П

Контрольні величини:

- повний хід рухомого контакту – 245-5 мм;
- хід рухомого контакту в нерухомому («вжим») - 60^{+3}_{-5} мм для ВМ на 600 і 1000 А і мм для ВМ на 1500 А.
- Максимальний хід механізму - 252 мм (рис. 4.3).
- Операції, описані в п. 2 виконати також для фаз В і С.

Визначити одночасність замикання і розмикання контактів.

Необхідність одночасного відключення струмів навантаження і короткого замикання у всіх трьох полюсах вимагає регулювання одночасності спрацьовування контактів. Для виміру одночасності замикання в маломасляних вимикачах збирають схему, показану на рисунку 4.5.

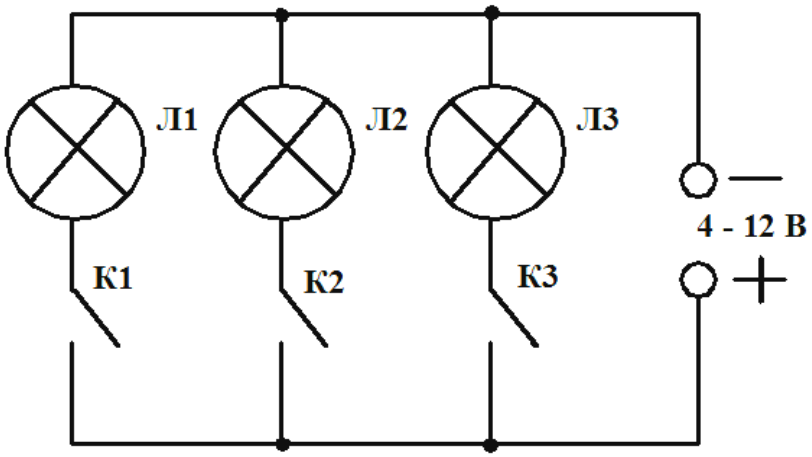


Рисунок 4.5 – Схема виміру неодночасності замикання контактів

Плюс батарейки підключають до нижніх виводів вимикача, а мінус – через лампочки до його рухомих контактів. Під час включення вимикача вручну при загорянні першої й останньої лампочок наносять позначки на вимірювальної лінійки. Відстань між позначками і визначає різночасність включення, яка не повинна перевищувати нормованих значень, наведених в таблиці 4.7.

Результати занести в таблицю 4.8.

3. Вимір опору струмоведучого контуру

Опір струмоведучого контуру будь-якого масляного вимикача залежить від конструкції контакту, величини струму, на який розрахований вимикач, стану поверхні контактів, сили натискання тощо. Таким чином, якість регулювання і стан струмоведучого контуру кожного полюса вимикача можна контролювати за допомогою вимірювання опору постійному струмові.

Вимір здійснюють шляхом пропускання через полюс струму певної величини і виміру падіння напруги на ньому. До початку вимірів треба кілька разів провести операцію вмикання і відключення вимикача з метою самоочищення контактуючих поверхонь.

У бакових вимикачах вимір проводять за умови опущеного баку або злитого масла. Ці умови викликані необхідністю виключення штучного впливу масла на результати вимірів. В інших типів вимикачів вимір опору здійснюють, якщо залите масло.

У зв’язку з тим, що опір струмоведучого контуру вимикача не перевищує 2000 мкОм, його вимірюють за допомогою подвійних мостів типу Р-316, мікроомметрів типу М-246 або методом амперметра-вольтметра.

При вимірюванні вимикач переводять у включений стан, і одним із зазначених методів вимірюють опір кожної контактної системи полюсів. Результати вимірів не повинні перевищувати максимально допустимих величин опору контактів конкретного типу вимикача. Граничні значення опору контактів вимикачів постійному струму наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Граничні значення опору контактів масляних вимикачів постійному струму

Тип вимикача	Номінальна напруга, кВ	Номінальний струм, А	Граничні опори, МкОм
ВМП-10	10	600	55
ВМП-10	10	1000	40
ВМП-10	10	1500	30

Якщо опір стумоведучого контуру перебільшує величину, зазначену в таблиці, то необхідно з'ясувати причину його підвищення. З цією метою перевіряють струмоведучий контур поелементно. Після визначення дефектного елемента і його відновлення здійснюють повторний вимір опору всього струмоведучого контуру.

4.4 Визначити опор струмоведучого контуру методом «вольтметра – амперметра»

Для цього зібрати схему (рис. 4.5). Встановити величину струму, рівну 10 А, зміряти падіння напруги за законом Ома. На кожній фазі зробити три вимірювання, провівши три включення і визначити середнє значення з трьох.

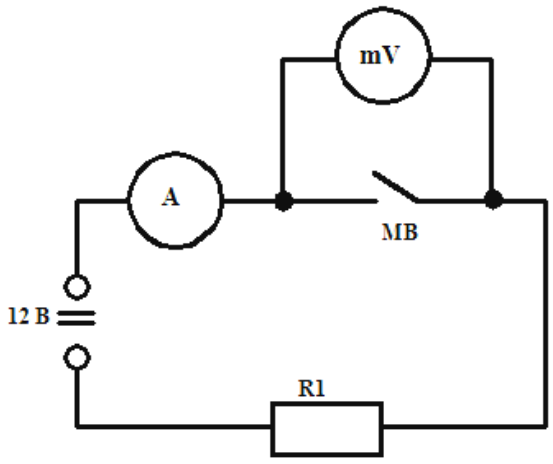


Рисунок 4.6 – Опор струмоведучого контуру вимикача методом «вольтметра – амперметра».

Результати занести в протокол випробувань (табл. 4.3).

4. Заміряти опір ізоляції кожної фази вимикача відносно заземленого корпусу вимикача мегаомметром на 2,5 кВ.

Норма $R_{из} \geq 1000$ Мом. (табл. 4.5).

5. Зміряти опір ізоляції електромагнітів включення і відключення, а також катушок реле максимального струму щодо корпуса вимикача мегаомметром на 1000 В (500 В). Норма $R_{из} \geq 1$ МОм. Отримані результати занести в протокол (табл. 4.4).

4.5 Зміст звіту

1) Завдання для виконання лабораторної роботи.

2) Отримані дані по кожному дослідженню, представлені у вигляді таблиць 4.3 – 4.8.

3) Висновки.

4.4 Контрольні питання

1. Чим відрізняються вимикачі ВМП – 10 від ВМП – 10П?
2. За допомогою яких електромагнітів здійснюється дистанційне керування вимикачами типу ВМП – 10?
3. Якими реле прямої дії можуть оснащуватися вимикачі ВМП – 10?
4. За допомогою якого пристрою проводиться взведення включаючої пружини в приводі вимикача ВМП – 10?
5. Яким пристроєм пом’ягчується удар механізму приводу при відключенні вимикача ВМП – 10?
6. Якого типу нерухомі контакти в полюсах вимикачів ВМП – 10П?
7. Яким чином виконується ручне включення вимикача ВМП – 101П?

Протокол

Наладки масляного вимикача типу ВМП – 10П

Таблиця 4.3 – Контроль стану масляного вимикача ВМП-10П

№ п/п	Оглянуто	Стан оглянутих деталей, вузлів	Що слід зробити для усунення недоліків	Примітка
1	Затягування кріпильних деталей і контрення їх			
2	Цілість і чистота ізолюючих деталей			
3	Наявність трансформаторного мастила в полюсах і демпфері			В полюсах-4,5 л В демпфере-70 $см^3$
4	Чистота контактних поверхонь апаратів КСА і переривника пристрою закладу включаючої пружини			
5	Наявність міжполюсних перегородок			
6	Наявність кришок на апаратах КСА			
7	Надійність кріплення рами вимикача до опорної конструкції			
8	Надійність заземлення			

Випробування вимикача

Таблиця 4.4 – Паспортні дані ВМ

Вимикач				Привід				
тип	Заводський №	Напруга, кВ	Струм, А	тип	Заводський №	Оперативні кола		
						Рід струму	Напруга, В	Примітки

Таблиця 4.5 – Опір ізоляції

Опір ізоляції, МОм			
Кола ВН (мегаомметр на 2.5 кВ)		Кола НН (мегаомметр на 1,0 кВ)	
заміряно	норма	заміряно	норма
А	1000	ЕВ	1,0
В	1000	ЕО	1,0
С	1000	ЕЗ пруж.	1,0

Таблиця 4.6 – Опір контактів вимикача

Фаза	Дослід	Жовта Фаза А	Зелена Фаза В	Червона Фаза С
Опір контак-тів , мкОм1	1			
	2			
	3			
Середнє значення, мкОм				

Таблиця 4.7 – Вимірювання ходу рухомих контактів вимикача

Повний хід рухомого контакту, мм			Хід рухомого контакту в нерухомому, мм		Недохід рухомого контакту до упора			
					Включення, мм		Відключення, мм	
	Заміря-но	Норма	Замі-ряно	Норма	Заміря-но	Норма	Заміряно	Норма
Фаза А		245-5		60^{+3}_{-5}		≥ 4		≤ 6

Таблиця 4.8 – Одночасність замикання і розмикання контактів

Свідчення пристрою «лінійка – стрілка»				
Фази	При включенні, мм		При відключенні, мм	
А		А – В		А –В
В		В – С		В – С
С		С – А		С – А

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

Дослідження ємнісних методів контролю зволоженості ізоляції високовольтного обладнання

5.1 Мета роботи

1.Усвідомити фізичний зміст ємнісних методів контролю залежності ємності ізоляції високовольтного обладнання

2. Одержати уявлення про методи і засоби вимірювання ємності ізоляції та контролю її зволоженості методами «ємність-час» і «ємність-частота».

3.Засвоїти методи придбати практичні навички використання ємностних методів контролю зволоження ізоляції електрообладнання.

5.2 Загальні положення

Одним із чинників, що погіршують технічний стан ізоляції електроустаткування, є її зволоження. У зв’язку з тим, що вода має відносно велику провідність і диелектричну проникність, у зволоженій ізоляції збільшуються діелектричні втрати, прискорюється її старіння, знижується електрична міцність.

У практиці експлуатації часто виникає необхідність визначення ступеня зволоження ізоляції перед включенням електроустаткування під напругу. Наприклад, питання про можливість увімкнення трансформатора в роботу без сушіння його ізоляції не можна вирішити без визначення ступеня вологості ізоляції його обмоток.

Наявність водяних парів оцінюють за абсолютною вологістю, тобто за кількістю водяних парів,що знаходяться в одиниці об’єму повітря m (г/м^3), і відносною вологістю φ(%), яку визначають відношенням абсолютної вологості повітря в даний момент до абсолютної вологості при насиченні $m_{нас}$:

$$\varphi = \frac{m}{m_{нас}} 100\%. \qquad (5.1)$$

Повітря при певних величинах температури і тиску може містити певну кількість парів, які його насичують. Чим віще температура, тим більше пари в

стані насичення може мати повітря. При охолодженні, наприклад, під зіткнення з холодною поверхнею устаткування повітря перенасичується, що викликає випадіння роси.

Разом з підвищенням насичення зростає і парціальний тиск водяних парів. Чим віще цей тиск, тим більше вологи проникає в пори ізоляції. Для характеристики здатності зволоження діелектричних матеріалів введено поняття гігроскопічності, під яким розуміють їх здатність поглинати вологу з навколишнього середовища.

Гігроскопічність діелектриків значною мірою залежіть від їх структури і складу. Наприклад, дуже малу гігроскопічність мають такі ізоляційні матеріали, як парафін, поліетилен, лита ізоляція на основі епоксидних смол, які навіть при тривалому перебуванні у вологому середовищі не втрачають своїх діелектричних властивостей. Однак більшість твердих електроізоляційних матеріалів, маючи на своїй поверхні мікроскопічні й субмікроскопічні пори, легкодоступні для проникнення в них молекул води. Це пояснюється незначними розмірами молекул води в порівнянні з молекулами інших речовин (діаметр молекул води складає приблизно $2{,}2*10^{-8}$ см, тоді як молекули кисню мають діаметр близько $3{,}7*10^{-8}$ см). Завдяки цьому волога легко проникає через різноманітні отвори, подряпини. щілини в ізоляційних матеріалах. а також через тріщини в місцях армування ізоляторів і т.п.

Вологість знизує якість ізоляції різними шляхами. Насамперед при змочуванні поверхонь відбувається зменшення поверхневого опору. Проникнення вологи в товщу діелектрика різко знизує питомий опір і електричну міцність. збільшує діелектричні втрати, що добре видно на прикладі кабельного паперу (рис. 5.1). Проникаючи в пори, вода з'єднується з деякими смолами (наприклад, з формальдегідними), утворюючи речовини з підвищеною провідністю.

Висока діелектрична проникність води в порівнянні з більшістю ізоляційних матеріалів є причиною підвищення ємності ізоляції, що веде до збільшення діелектричних втрат.

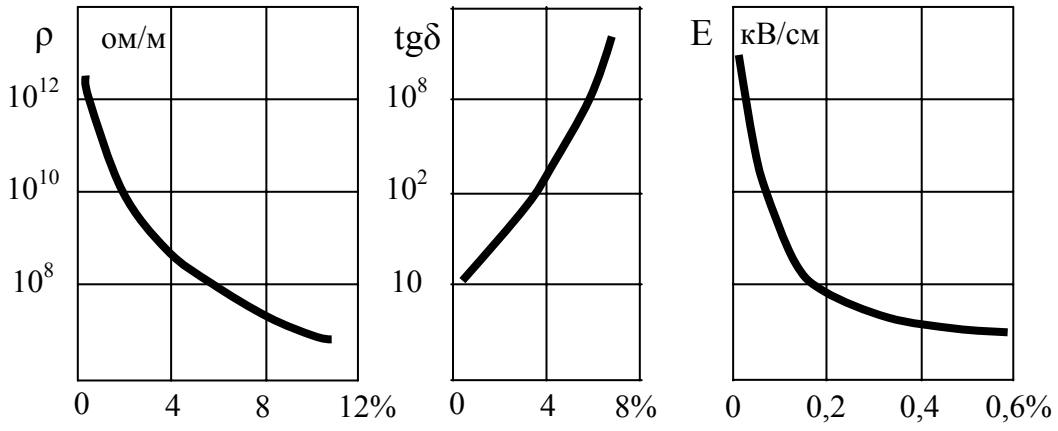


Рисунок 5.1 – Залежність характеристик діелектрика від зволоження

Волога істотно впливає на діелектричні властивості рідинних діелектриків. Розчинність води в чистих мінеральних діелектриках незначна, але помітно залежіть від температури (рис. 5.2).

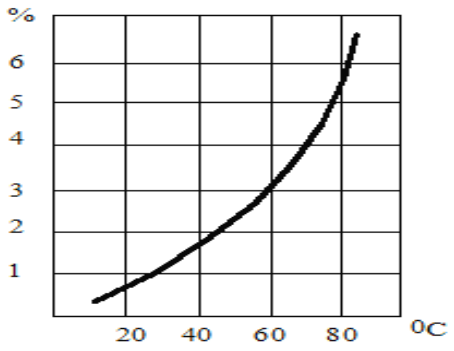


Рисунок 5.2 – Залежність розчину води в мінеральному маслі від температури

Гігроскопічність трансформаторного масла різко збільшується також навіть при незначній кількості (частки проценту) полярних добавок (нафтанату свинцю, кислот, луг, та ін.). При цьому електрична міцність масла різко зменшується.

При зволоженні масла одночасно відбувається і зволоження твердих діелектриків, які знаходяться в ньому. Практика показала, що ізоляційний папір у маслі силових трансформаторів відповідає зволоженню паперу на повітрі при температурі 20^0 і відносній вологості близько до 50%.

Експлуатаційні характеристики ізоляційних матеріалів прийнято характеризувати діелектричними властивостями, під якими розуміють сукупність властивостей, пов'язаних з явищем поляризації. Ці властивості характеризують такими показниками, як абсолютна та відносна діелектрична проникність, діелектрична сприйнятливість, кут діелектричних втрат і т.п.

У загальному випадку під поляризацією розуміють обмежений зсув зв'язаних зарядів або орієнтацію дипольних молекул діелектриків, вміщених в електричне поле. Зв'язані й невіддільні одна від одної молекули діелектриків, позитивні й негативні заряди яких зсунуті один щодо одного, утворюють елементарні диполі, кожний з яких характеризується моментом p_i:

$$\overline{p_i} = q_i * \bar{l}, \qquad (5.2)$$

де q_i – заряд диполя;

$\bar{l}$ – плече диполя.

Під впливом електричного поля диполі орієнтуються певним чином у просторі, створюючи сумарний момент. Такий момент, віднесений до одиниці об'єму діелектрика, визначає вектор поляризації:

$$\overline{P}=\lim_{V\to 0}\frac{\sum_{i}^{n}\overline{p_i}}{V}, \qquad (5.3)$$

де V – об'єм діелектрика.

Вектор поляризації у багатьох випадках можна вважати пропорційним напруженості зовнішнього поля:

$$\overline{P}=\chi\varepsilon_0\overline{E}=\varepsilon_0\overline{E}=\alpha\overline{E} \qquad (5.4)$$

де ε_0 - діелектрична стала (8,84*10^{12} Ф/м);

χ – діелектрична сприйнятність діелектрика, яка пов'язана з відносною діелектричною проникністю співвідношенням $\varepsilon=(1+\chi)$;

α – абсолютна діелектрична сприйнятність або питома поляризованість.

Оскільки будь-який діелектричний матеріал, вміщений в електричне поле між двома електродами, можна уявити як конденсатор, заряд якого

$$Q = CU, \qquad (5.5)$$

де C – ємність конденсатора; U – прикладена до конденсатора напруга, то відносна діелектрична проникність може бути подана як величина, що показує, в скільки разів заряд конденсатора, яким є цей діелектрик, більше за заряд конденсатора тих же розмірів і при тій же напрузі, якби між електродами знаходився вакуум:

$$\varepsilon=\frac{Q_0+Q_д}{Q_0}=1+\frac{Q_д}{Q_0}, \qquad (5.6)$$

де Q_0 – заряд, що відповідає вакууму;

$Q_д$ – заряд, обумовлений явищем поляризації діелектрика.

Із співвідношення (5.6) видно, що відносна діелектрична проникність будь-якої речовини більше одиниці і дорівнює їй тільки у випадку вакууму.

Зсув зарядів у діелектрику неминуче призведе до утворення в ньому внутрішнього поля, спрямованого протилежно зовнішньому, яке позначають вектором зміщення $\overline{D}$:

$$\overline{D}=\varepsilon\varepsilon_0\overline{E}(1+\chi)=\varepsilon_0\overline{E}+\overline{P}. \qquad (5.7)$$

Перша складова у цьому виразі пропорційна розподіленій цільності заряд, утвореного у вакуумі, а друга залежить від ступеня поляризаціх діелектрика.

З виразу (5.7) видно, що про явища, пов'язані з поляризацією, можна судити за величиною відносної діелектричної проникності. Чим більше ε , тим більший рівень поляризації, тим більший електричний заряд на електродах, розділених діелектриком.

Залежно від виду зарядів, що зміщуються, і часу релаксації в діелектричних матеріалах, які використовують в ізоляційних конструкціях, розрізняють декілька видів поляризації, серед яких найважливішу роль відіграють електронна, іонна, дипольна і міграційна поляризації.

Електронна поляризація обумовлена пружним зсувом і деформацією електронних оболонок відносно ядер в атомах діелектриків (рисунок 5.3). Зміщенню піддаються головним чином найбільш віддалені від ядра електрони, тому що вони найменше зв'язані з ним і легше піддаються зовнішньому впливу.

Час встановлення електронної поляризації мізерно малий – від 10^{-14} до 10^{-16} с. Цим можна пояснити той факт, що діелектрична проникність не залежить від частоти зміни прикладеної напруги (навіть при дуже малій тривалості половини періоду коливання цієї напруги електрони встигають зміститися у крайні положення). Процес зміщення в цьому випадку має пружний характер без незворотного розсіювання енергії. При зникненні зовнішнього поля електрони повертаються у вихідне положення, а витрачена на поляризацію діелектрика енергія звільняється. Електронний вид на поляризацію діелектрика енергія звільняється. Електронний вид поляризації спостерігається у всіх без винятку діелектриків.

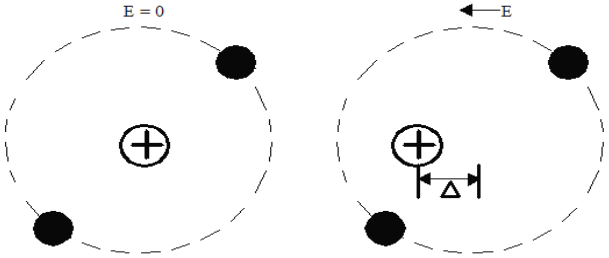


Рисунок 5.3 – Електронна поляризація

Іонна поляризація обумовлена пружним зміщенням різнойменно заряджених іонів щодо положення рівноваги в діелектрику (рис. 5.4). Час встановлення іонної поляризації порядку 10^{-13} с. Іонна поляризація характерна для твердих діелектриків з іонною будовою. З підвищенням температури цей вид поляризації посилюється за рахунок ослаблення пружних сил взаємодії мід іонами і збільшенням відстані між ними при тепловому розширенні.

Рисунок 5.4 – Йонна поляризація

Електронна й іонна поляризації не викликають втрат енергії у діелектриках і таким чином обумовлюють протікання між електродами лише чисто реак-

тивної (ємнісної) складової струму. Величина цього струму визначається геометричними розмірами ізоляційної конструкції і величиною діелектричної проникності діелектрика.

У схемах заміщення діелектриків процеси електронної та іонної поляризації прийнято позначати символом конденсатора $C_г$ (геометрична ємність або ємність миттєвої поляризації).

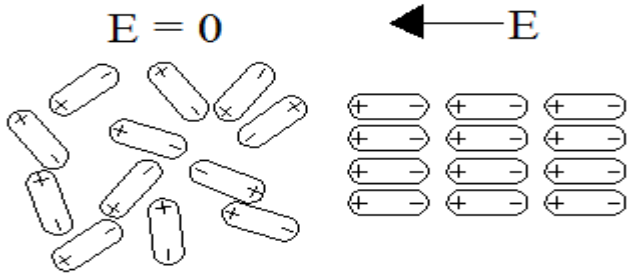


Рисунок 5.5 – Дипольна поляризація

Дипольна поляризація в діелектриках обумовлена переважною орієнтацією електричних моментів диполів в одному напрямку (рисунок 5.5). Це явище можна пояснити тим, що в багатьох діелектриках незалежно від їх агрегатного стану молекули мають початковий електричний дипольний момент навіть за відсутності зовнішнього електричного поля.

Діелектрики, що містять електричні диполі, які спроможні переорієнтуватися у зовнішньому електричному полі, дістали назву полярних діелектриків. Очевидно, що поява дипольної поляризації буде тим інтенсивнішою, чим більше дипольний момент молекул діелектрика. Отже, полярні діелектрики характеризуються більш високим значенням діелектричної проникності. Наприклад, у слабкополярного трансформаторного масла $\varepsilon = 2{,}2$, тоді як у полярного $\varepsilon = 5$.

Залежно від електричного моменту диполів, інтенсивності теплового руху молекул, а також від в'язкості середовища час релаксації дипольних діелектриків може складати від 10^{-2} до 10^{-10} с.

У діелектриках з малою щільністю і порівняно невеликими розмірами молеку (гази, рідини) в електричному полі може відбуватися поворот самих молекул. У твердих діелектриках такий поворот молекул неможливий, але окремі групи атомів можуть орієнтуватися полем без порушень їх зв'язків з молекулами.

При збільшенні температури діелектрика і відповідним зменшенням в'язкості дипольна поляризація спочатку збільшується, але потім починає зменшуватися за рахунок зростання енергії теплового руху молекул, яке послаблює орієнтуючу дію зовнішнього поля.

Дипольна поляризація викликає не тільки зворотне поглинання енергії за рахунок збільшення ємності, але й незворотні втрати енергії, пов'язані з подолан- ням сил внутрішнього тертя. Ця енергія розсіюється в діелектрику у вигляді тепла. Отже, струм у колі електродів, викликаний дипольною поляризацією, має і реактивну, і активну складові. У схемах заміщення діелектриків процес дипольної поляризації визначають у вигляді послідовно або паралельно включених конденсаторів $C_д$ і резисторів $R_д$.

Міграційна поляризація обумовлена перерозподілом вільних зарядів у об'ємі неоднорідних діелектриків. Цей вид поляризації пов'язаний за наявністю в діелектричних матеріалах провідних і напівпровідних часток і прошарків з різною діелектричною проникністю і провідністю.

Міграційна поляризація, по суті, є складним процесом дипольної поляризації і відрізняється порядком і часом релаксації, а в окремих випадках розміром заряджених часток. До таких процесів відносять заряд поверхонь розділу діелектриків, який часто називають міжпрошарковою поляризацією, або формуванням просторового заряду.

Уявимо, що діелектрик, вміщений між електродами, складається з двох послідовно включених прошарків з діелектричною проникністю ε_1 і ε_2 провідністю γ_1, γ_2 і ємністю C_1 і C_2 (рис. 5.6). У момент подачі на електроди напруги розподіл початкової напруженості електричного поля в прошарках визначиться співвідношенням:

$$\frac{E_{n1}}{E_{n2}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}.$$

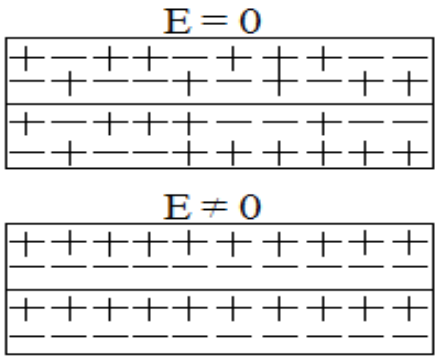


Рисунок 5.6 – Міграційна полярізація

Услід за цим починається перерозподіл зарядів. Оскільки значення щільності струму в прошарках будуть різними, то на межі розділу прошарків почне накопичуватись заряд. Це призведе до перерозподілу напруженостей і струмів у прошарках. Процес закінчиться тоді, коли струми провідності в прошарках ста-

нуть однаковими. Таким чином, для сталого стану (на підставі закону безперервності повного струму) буде справедливе рівняння

$$\gamma_1 E_{c1} = \gamma_2 E_{c2},$$

звідки

$$\frac{E_{c1}}{E_{c2}} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}. \qquad (5.8)$$

Отже, напруженість електричного поля в кожному з прошарків зменшується від $E_{п1}$ до $E_{с1}$ і від $E_{п2}$ до $E_{с2}$ і після кидка зарядного струму через діелектрик протікатиме струм, обумовлений тільки провідністю прошарків.

Струм, обумовлений перерозподілом вільних зарядів в об'ємі діелектрика, одержав назву «струму абсорбції». Непружний характер переміщення зарядів у цьому випадку призводить до незворотного поглинання енергії і появи активної складової струму. У деяких випадках (наприклад, при зволоженні ізоляції) ця активна складова може навіть повністю визначати наскрізний струм діелектрика.

У схемах заміщення діелектриків процеси міграційної поляризації відображають у вигляді послідовно включених конденсатора $C_{абс}$ і резистора $R_{абс}$.

Процес поляризації, пов'язаний із зарядом поверхонь поліду діелектриків, є відносно повільним процесом і на відміну від електронної, іонної та дипольної поляризації характеризується високим значенням постійної часу, яка може досягати декількох годин. Остання обставина призводить до того, що ізоляційна конструкція зарядиться повністю лише через певний час після вмикання її на постійну напругу, при цьому повна ємність ізоляційної конструкції може бути подана у вигляді

$$C_{из} = C_г + \sum_{i=1}^{n} C_{абс}, \qquad (5.9)$$

де $C_г$ – геометрична ємність, обумовлена швидкими видами полярізації;

$C_{абс}$ – деяка результуюча ємність послідовного кола поверхонь поділу складної ізоляції, включеної паралельно її геометричної ємності.

У виразі (5.9) перша складова являє собою геометричну ємність ізоляції з урахуванням поляризації зсуву за рахунок швидкої поляризації. Друга складова являє собою сумарну абсорбційну ємність, що залежить від ступеня неоднорідності ізоляції. Саме її заряд пов'язаний з повільними процесами поляризації.

Зволоження позначається на величині виміряної ємності ізоляції і на терміни релаксації її зарядів.

Вимір ємності з урахуванням часу релаксації покладено в основу ємнісних методів контролю вологості ізоляції трансформаторів: «ємність – час», «ємність – частота», «ємність – температура».

Метод «ємність – час»

У грубому наближенні кожний з прошарків ізоляції можна розглядати як послідовне з'єднання ємності $C_{абс}$ й опору $R_{абс}$. Отже, при прикладенні до ізоляції постійної напруги її внутрішні прошарки будуть заряджатися через деякий опір, причому заряд буде відбуватися тим швидше, чим менше цей опір. Оскільки термін поляризації внутрішніх прошарків ізоляції має кінцевий характер, то виміряне значення її ємності залежатиме від часу з моменту прикладення напруги до моменту відліку показань приладу:

$$dC_{вим}(t) = \frac{dq(t)}{U} = \frac{i(t)dt}{U}. \qquad (5.10)$$

Оскільки і-й поляризаційний процес викликає протікання струму

$$i_{абс_i}(t) = \frac{U}{R_{абс_i}} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right),$$

де $\tau_i = R_{абс_i} C_{абс_i}$ – постійна часу кола заряду,

то

$$C_{абс}(t) = \frac{1}{U}\int i(t)dt = -\frac{\tau_i}{R_{абс_i}} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) + A. \qquad (5.11)$$

Знаходячи постійну інтегрування А з умови, що при t = 0 $C_{абс}$=0, остаточно одержимо

$$C_{абсi}(t) = C_{абс_i}\left[1 - \exp(-\frac{t}{\tau_i})\right]. \qquad (5.12)$$

З урахуванням ємності, обумовленої процесами швидкої поляризації $C_г$, сумарна ємність ізоляції

$$C(t) = C_г\left\{1 - \sum_{i=1}^{n} K_i\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right)\right]\right\}, \qquad (5.13)$$

де t – час від початку заряду ємності ізоляції;

K_i – коефіцієнт, який враховує і-й поляризаційний процес у діелектрику

$$\left(K_i = \frac{C_{абс_i}}{C_г}\right).$$

Оскільки зволоження ізоляції призводить до зміни значень K_i і τ_i, з'являється можливість за величиною ємності, яку вимірюють через певний відрізок часу після початку її заряду, судити про придатність ізоляції до подальшої експлуатації. Наприклад, для сухої ізоляції ($t << \tau$) виміряне значення ємності практично дорівнює ємності, яка обумовлена швидкими процесами поляризації:

$$C_{сух}(t) = C_г . \qquad (5.14)$$

Для зволоженої ізоляції ($t >> \tau$) виміряне значення ємності буде

$$C_{вол}(e) = C_г = C_{абс} . \qquad (5.15)$$

Таким чином, збільшення ємності складає

$$\Delta C = C_{вол}(t) - C_г = C_{абс} \qquad (5.16)$$

Оскільки ΔC залежить не тільки від стану ізоляції, але й від її структури та розміру, то показником ступеня зволоження в цьому випадку прийнять використовувати відношення $\Delta C / C$, виражене у відсотках. Принципова схема контролю ізоляції за цим методом наведена на рисунку 5.7. При вимірюванні абсорбційної складової ємності ΔC ізоляцію, яку контролюють C_x, заряджають до напруги джерела U_0, а потім за допомогою ключів SA1 та SA2 її закорочують на термін не більше 10 мс ($t_{зак} << \tau$). При цьому геометрична ємність C_z встигає розрядитися і напруга на ізоляції падає до нуля. Проте після розмикання ключа SA2 в результаті процесів, пов'язаних з повільною поляризацією, напруга на ізоляції відновлюється і на ізоляції залишається заряд, пропорційний величині $(C_x - C_z) = \Delta C$.

Підключивши тепер об'єкт контролю C_x, до еталонного конденсатора C_e, через певний термін (1 с) проводять вимірювання напруги на ньому U_e. При підключенні C_x до еталонного конденсатора відбувається перерозподіл заряду абсорбційної ємності між трьома ємностями $C_{абс.}$, C_e і C_x, тобто

$$Q_{абс} = C_{абс} \cdot U_0 = (C_{абс} + C_e + C_г)U_e , \qquad (5.17)$$

де U_e – напруга на еталонному конденсаторі.

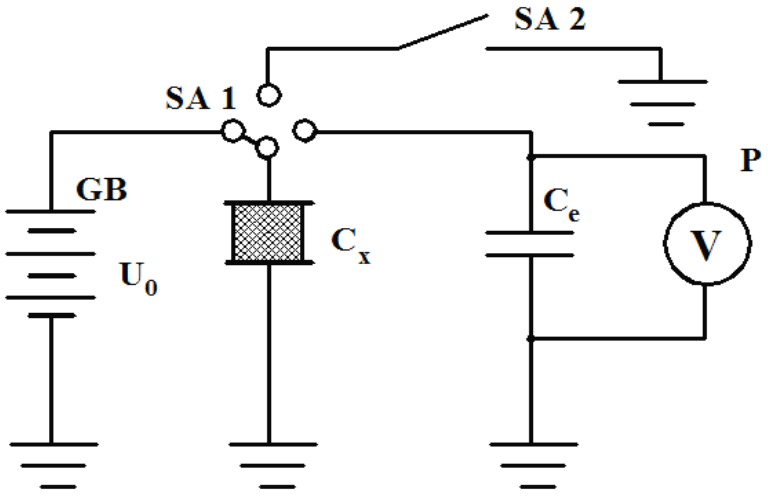


Рисунок 5.7 – Схема контролю ізоляції за методом «ємність – час»

Звичайно $C_е >> C_{абс} + C_г$. Отже на еталонному конденсаторі встановиться напруга

$$U_e = U_0 \frac{C_{абс}}{C_e} \approx U_0 \frac{\Delta C}{C_e}. \qquad (5.18)$$

Оскільки ця напруга пропорційна ємності абсорбції, то шкалу приладу градуюють в одиницях ємності.

Визначення загальної ємності С проводять таким же шляхом, але без попереднього розряду ізоляції. Вимірювання на еталонному конденсаторі при цьому треба проводити не більше ніж через 0,1 секунду після підключення до нього об'єкта контролю.

Метод «ємність-час» покладено в основу приладів серії ЕВ і ПКВ-7. Досвід застосування цих приладів показав, що контроль зволоження ізоляції цим методом є доцільним лише при значних величинах τ. На точності вимірів істотно позначається залежність $R_{абс}$ від величини температури і напруги. На виміри також істотно впливають характеристики трансформаторного масла. Тому цей метод використовують тільки для контролю ізоляції сухих трансформаторів або масляних трансформаторів, не залитих масло (наприклад, при сушінні ізоляції).

Метод «ємність-частота»

При дослідженні ізоляційних матеріалів було виявлено, що вимірюване значення ємності залежить від частоти напруги, при якій проводять виміри, причому при збільшенні частоти величина вимірюваної ємності зменшується. Пояснюється це тим, що при змінній напрузі процес накопичення заряду в ізоляції

обмежений тривалістю одного півперіоду прикладеної напруги. Очевидно, чим більша частота, тим у меншій мірі встигають розвинутися процеси поляризації і тим меншою виявиться вимірювана величина ємності.

При уявленні процесу абсорбції як перезаряду кола, що складається з послідовно з'єднаних опору $R_{абс}$ і ємності $C_{абс.}$, релаксаційну провідність можна описати рівнянням

$$\gamma_p = \frac{\omega^2 \tau_{абс} \cdot C_{абс}}{1 + \omega^2 \tau_{абс}^2} + j\omega \frac{C_{абс}}{1 + \omega^2 \tau_{абс}^2}, \qquad (5.19)$$

з якого випливає, що еквівалентна провідність і ємність залежать від частоти. Оскільки в основу методу покладено вимір ємності, яка характеризує процеси релаксації при різних станах ізоляції, то нас у першу чергу цікавить уявна частина виразу. Отже,

$$C_{абс}(\omega) = \frac{C_{абс\max}}{1+\omega^2\tau_{абс}^2}. \qquad (5.20)$$

З урахуванням ємності $C_г$, яка не залежить від частоти, виміряне значення ємності ізоляції буде

$$C_{вим}(\omega) = C_г + C_{абс}(\omega). \qquad (5.21)$$

У загальному випадку

$$C_{вим} = C_г\left(1+\sum_{i=1}^{n}\frac{K_i}{1+\omega^2\tau_i^2}\right), \qquad (5.22)$$

де $K_i = \frac{C_{абс}}{C_г}$ – коефіцієнт, який враховує і-й поляризаційний процес.

З виразу (5.22) випливає, що повна величина ємності може бути виміряна лише на постійній напрузі (при $\omega = 0$). У граничному випадку при $\omega \to \infty$ виміряна ємність ізоляції обмежується величиною $C_г$. В інших випадках її величина визначається співвідношенням величини ω і τ, що і використовують для визначення стану ізоляції.

Чим більше зволоження ізоляції, тим швидше протікають процеси поляризації, тим більший вплив абсорбційної складової ємності ізоляції на кінцеві результати. Характеристика залежності виміряної ємності від частоти для сухої (2) і зволоженої (1) ізоляції подані на рисунку 5.8.

За міру зволоженості ізоляції приймають відношення ємностей, виміряних при різних частотах C_{f_1}/C_{f_2}. Очевидно, що при збільшенні зволоження ізоляції відношення теж збільшується, тобто при $f_2 > f_1$

$$\left(\frac{C_{f_1}}{C_{f_2}}\right)_{вол} > \left(\frac{C_{f_1}}{C_{f_2}}\right)_{сух}. \qquad (5.23)$$

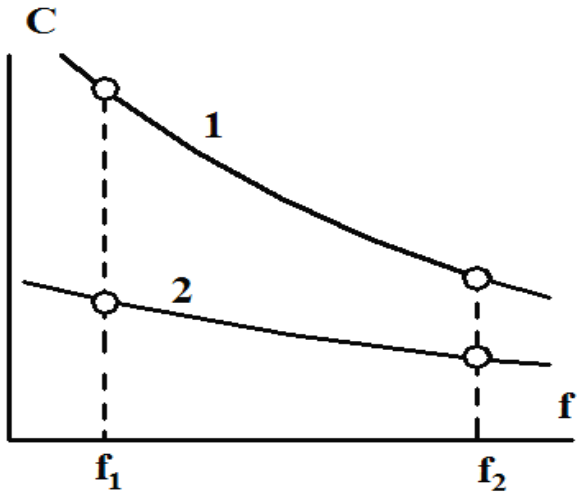


Рисунок 5.8 – Залежність виміряного значення ємності сухої (2) і зволоженої (1) ізоляції від частоти

Оскільки на низьких частотах залежність ємності від частоти виявляється сильніше, то виміри роблять при напрузі прямокутної форми за схемою, поданою на рисунку 5.9.

Об'єкт контролю C_x за допомогою перемикача SA з частотою 2, а потім 50 Гц по черзі підключають до джерела випрямленої напруги, а потім на розряд через опір вимірювального приладу R1. Величину вимірюваної ємності визначають за величиною розрядного струму, оскільки

$$C_x = I/Uf,$$

де I – середнє значення струму, що протікає через прилад;

U – напруга джерела живлення;

f – частота переключення.

У приладах контролю вологості серії ПКВ вимірювання ємності здійснюють за методом компенсації розрядного струму від джерела стабілізованої напруги. При нульовому показанні гальванометра відлік вимірюваного значення ємності здійснюють за відповідно відградуйованою шкалою змінного опору R_2.

До недоліків методу слід віднести залежність відношення C_{f_1} / C_{f_2} від температури, яке зі збільшенням температури підвищується. Тому пери вимірах доводиться вдаватись до перерахунку результатів з використанням спеціальних коефіцієнтів, які наведені у відповідній літературі.

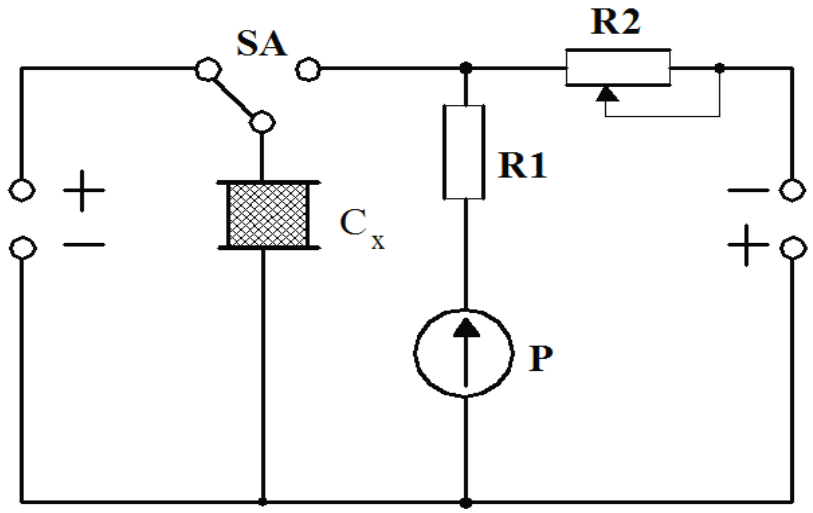


Рисунок 5.9 – Схема контролю ізоляції за методом «ємність – частота»

Оскільки у маслонаповнених конструкціях відношення C_{f_1} / C_{f_2} залежить від якості трансформаторного масла, то задовільні результати цей метод дає тільки після попередньої оцінки якості масла.

Треба також мати на увазі, що при контролі ізоляційних конструкцій з малою ємністю на результати контролю істотно впливає ємність з'єднувальних проводів.

5.3 Оснащення робочого місця

Лабораторні дослідження та випробування проводять на зразках штатного устаткування – силовому трансформаторі, заповненому маслом; виймальній частині трансформатора або на сухому трансформаторі за допомогою приладів ЕВ-3, ПКВ-13 і ПКВ -7, що одержують напругу від мережі 220 В. Їхні клеми «ОБ'ЄКТ» можуть бути приєднані як до затискачів самого трансформатора, так і до затискачів на макеті.

Прилад ПКВ-7 призначений для визначення вологості ізоляції силових і вимірювальних трансформаторів, високовольтних вводів та інших ізоляційних конструкцій при їхньому монтажі, ремонті й профілактичному обслуговуванні. Його застосування дозволяє оцінити стан ізоляції трансформаторів як залитих, так і не залитих маслом. Прилад ПКВ-7 має два режими роботи: режим «ПКВ» і режим «ЕВ».

При вимірах у режимі «ЕВ» за методом «ємність-час» на трансформаторах, не залитих маслом, величину $\Delta C / C_г$ визначають у такий спосіб: величина C_2 - C_{50} відповідає величині ΔC, а величина C_{50} – величині $C_г$. Таким чином, співвідношення $\frac{\Delta C}{C}$ визначають як

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{C_2 - C_{50}}{C_{50}}.$$

Відлік величин ($C_2 - C_{50}$) і C_{50} проводять безпосередньо за шкалою приладу в діапазонах: 0 – $1*10^3$ пФ; 0 – $2*10^3$ пФ; 0 – $10*10^4$ пФ; 0–$20*10^3$ пФ; 0 – $100*10^3$ пФ.

У діапазоні 0,2 – $100*10^3$ пФ та опорі ізоляції на нижче 100 МОм похибка вимірів не перевищує ±6% від обраної межі виміру.

Живлення приладу здійснюють від мережі змінного струму напругою 220 В. Споживана приладом потужність складає 25 ВА. Габаритні розміри приладу 315*205*135 см, вага близько 5 кГ.

Прилад ПКВ-7 призначений для роботи як у лабораторіях, так і в польових умовах.

5.4 Програма роботи і вказівки до її виконання

1. Усвідомити мету роботи й основні положення контролю зволоженості ізоляції обмоток трансформатора методами «ємність-час», «ємність-частота».

2. Вивчити за технічними описами і інструкціями загальні характеристики і порядок роботи з приладами контролю, що застосовані в роботі.

3. З'ясувати особливості схеми та конструкції трансформаторів, що підлягають випробуванню, занотувати їх технічні характеристики до відповідних протоколів випробування.

4. Підготувати трансформатор до випробувань:

- від'єднати трансформатор від інших кіл;

- очистити ізолятори від пилу, бруду і вологи;

- з'єднати виводи кожної з обмоток, які випробують, між собою, а всі інші – з корпусом трансформатора;

- виміряти опір ізоляції $R_{із}$ обмоток, що підлягають контролю, за допомогою мегомметра з метою урахування можливої похибки у вимірах зволоженості при $R_{із} < 100$ МОм.

5. Підготувати прилад поблизу трансформатора, який випробують, і заземлити його корпус:

– з'єднати клему приладу «ОБ'ЄКТ» з одним з виводів обмоток, які контролюють (інші виводи трансформатора мають бути з'єднані між собою за допомогою закороток і приєднаті до корпусу трансформатора);

– перевірити напругу живлення приладу (220 В);
– підключити шнур живлення приладу до мережі і, попередньо переконавшись у тому, що всі органи керування їм відповідають вихідному положенню, увімкнути тумблер «МЕРЕЖА» і дати можливість приладу прогрітися протягом 2 – 3 хв;
– перемикач межі вимірів встановити в положення «100 тис. пФ»
– тумблер SA1 («ИЗМ.», «УСТ.») встановити в положення «УСТ.» і ручкою «ПРО» встановити стрілку вимірювача на нуль (цю операцію слід робити перед кожним вимірюванням);
– перевірити приєднання об'єкта контролю до затискача приладу «ОБ'ЄКТ»;
– тумблер ом вибір режиму («ЕВ», «ПКВ») вибрати режим вимірювання.

6. Провести вимірювання зволоженості ізоляції трансформатора за методом «ємність-частота» (режим ПКВ):

– підготувати прилад до роботи (пункти 1 - 4);

– тумблер SA2 («C_{50}», «$C_2 – C_{50}$») встановити в положення «C_{50}»;
– перевести тумблер SA1 у положення «ИЗМ» і через 10 – 15 с зняти відлік за шкалою приладу. Якщо результат вимірювання складає менше 1/5 шкали, змінити межу вимірювання;

– перед кожним вимірюванням за допомогою тумблера SA1 і ручки «ПРО» встановлювати стрілку приладу на нуль;
– встановити тумблер SA2 у положення «C_2 – C_{50}» і після перевірки установки нуля відповідно до п. 2 та переключивши SA1 у положення «ИЗМ.», через 30 с зняти відлік показань за шкалою приладу.

7. Провести вимірювання зволоженості ізоляції трансформатора за методом «ємність-час» (режим ЕВ):

– підготувати прилад до роботи (пункти 1 - 4);

– для визначення величини С перевести тумблер вибору режиму у положення «ЕВ», а тумблер SA2 у положення «C_2 – C_{50}», зняти відлік показань через 60 с після переключення тумблера SA1 у положення «ИЗМ»;

– визначити відношення $\frac{\Delta C}{C_г}$.

Примітка. Для вимірюваної величини ємності «C_{50}», «C_2 – C_{50}», С необхідно показання приладу помножити на коефіцієнт К, який наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Коефіцієнт переведення результатів вимірювання ΔC і $C_г$ у величини ємностей, що вимірюють

Межі виміру, тис. пФ	1	2	10	20	100
К	10	20	100	200	1000

8. Результати вимірювання занести до протоколу випробування трансформатора.

9. Оформити звіт по роботі із занотуванням виводів, що зроблені на підставі проведених вимірів.

5.4 Зміст звіту

1) Завдання для виконання лабораторної роботи.

2) Отримані дані по кожному дослідженню, представлені у вигляді протоколів.

3) Висновки.

5.5 Контрольні запитання

1. Яке фізичне явище називають поляризацією діелектриків?
2. Яку величину використовують для характеристики явищ, пов’язаних з поляризацією?
3. Дайте коротку характеристику явищу електронної поляризації.
4. Дайте коротку характеристику явищу дипольної поляризації.

5. Наведіть схему заміщення діелектрика, що знаходиться під дією змінного електричного поля.
6. На яких залежностях засновані ємності методи контролю стану ізоляції?
7. Поясніть, на якому фізичному явищі засновано метод контролю стану ізоляції за методом «ємність – час».
8. Поясніть, на якому фізичному явищі засновано метод «ємність – частота»?
9. Наведіть характеристику залежності виміряної ємності від частоти напруги для сухої і зволоженої ізоляції.
10. Наведіть спрощену схему контролю зволоженості ізоляції за методом «ємність – частота». Поясніть призначення її елементів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

Наладка вимикача високовольтного вакуумного типу ВВВ - 10

6.1 Мета роботи

Вивчити принцип дії і улаштування вакуумного вимикача (ВВ), електромагнітного приводу і елементів схеми керування. Ознайомитися з маркуванням і основними технічними даними ВВ типу ВВВ-10-4-400.

6.2 Загальні відомості

Вимикач – швидкодіючий, трьохполюсний, внутрішньої установки, з окремим електромагнітним приводом, забезпечуючий багатократне швидкодійне автоматичне повторене включення, дистанційне керування від кіл оперативного управління і відключення від релейного захисту, призначеного для комутації трифазних електричних кіл напругою 10кВ промислової частоти. Вимикач призначений для розміщення в комплектних розподільних пристроях (КРУ). Вимикач виготовлений в кліматичному виконанні У2 і призначений для роботи при температурах від +55^{o}С до – 40^{o}С, відносної вологості повітря від 40% до 85%. Живлення вимикача здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В, 50 Гц. Норма якості електричної енергії по ГОСТ 13109-97.

Основні технічні дані.

— Номінальна напруга 10кВ;
— Найбільша робоча напруга 12кВ;
— Номінальний струм 400А;
— Номінальний струм відключення 4кА;
— Повний час відключення – не більш 25мс;
— Власний час відключення – не більш 15мс;
— Комутаційний ресурс при відключенні номінального струму до 5000 операцій;

— Комутаційний ресурс при відключенні номінального струму відключення 100 операцій;

— Механічний ресурс – 50000 циклів «ВО»;

— Струм споживання не більше 15А при 220В;

— Маса – не більш 55кг.

6.3 Пристрій

Вимикач складається з вимикача і приводу, зв'язаного тягою. На рамі вимикача встановлено три пари опорних ізоляторів. За допомогою кронштейнів на ізоляторах були закріплені вакуумні дугогасильні камери. На рамі закріплені опори, на яких встановлені головний і проміжний вали. На головному валу закріплені: три важелі-ізолятори, зв'язані механізмами дожимання з виводами рухомих контактів камер; три важелі, в які упираються поворотні пружини; приводной важіль, зв'язаний через проміжну ланку з приводним важелем проміжного валу. На допоміжному валу є важіль, зв'язаний тягою з приводом валу. Вимикач містить: шини, жорстко зв'язані з нерухомими контактами камер; шини з гнучким токопроводом від рухомих контактів камер; підпружинену тягу з регульованим упором, пов'язану з проміжним валом і обмежуючу переміщення приводного важеля головного валу (демпферний пристрій); міжполюсні ізоляторні перегородки. Механізм дожимання полюса вимикача складається з тяги, пружини дожимання, спецгайки і контргайок (рис. 6.1).

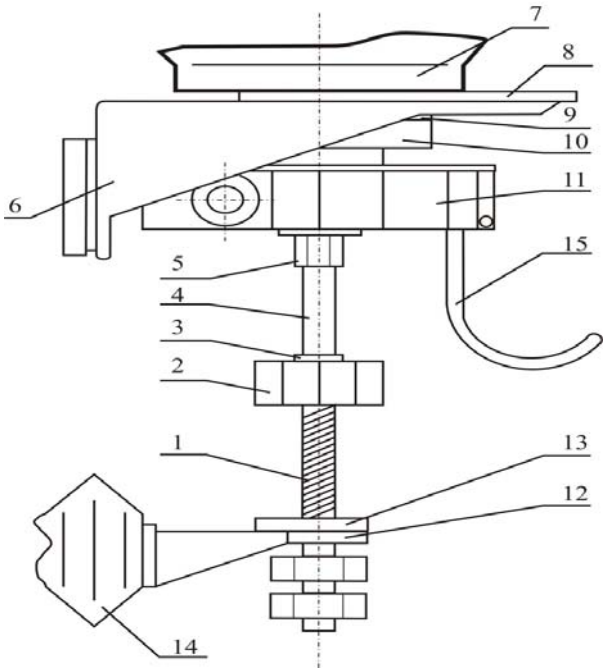


Рисунок 6.1 – Механізм дожимання полюса вимикача:

1 – пружина підтискання контактів, 2 – спец гайка, 3 – контргайка, 4 – тяга, 5 – контргайка, 6 – кронштейн, 7 – камера дугогасильна, 8 – пластина кріплення висновку, 9 – шайба стопорна, 10 – гайка кругла 11 – хомут, 12 – кронштейн, 13 – фіксатор, 14 – важіль-ізолятор.

Привід складається з литого корпусу, в якому закріплені: котушка включаючого електромагніту, усередині якої переміщається якір з укріпленим на ньому штовхачем; механізм вільного розчеплення, що складається з багатоланкової системи ламаючихся ланок, що займають під впливом зовнішніх сил два фіксовані положення; з однією з ланок механізму шарнірно сполучена тяга, пов'язана з вимикачем; механізм затримки якоря включаючого електромагніту; важіль ручного включення; важіль перемикання блок-контактів; покажчик стану вимикача; регулювальний гвинт; блок-контакти; панель елементів схеми управління.

При подачі напруги на обмотку електромагніту включення струм, поточний по обмотці, наростає по експоненціальному закону. Якір електромагніту починає рух і впливає на ролик, встановлений на осі, з'єднуючої ланки механізму вільного розчеплення. При переміщенні вгору вісь упирається в нижню частину зуба підпружиненої клямки, який загальмовує рух якоря.

При подальшому наростанні струму приблизно до 12-14 А зусилля, що розвивається електромагнітом, збільшується і вісь відводить клямку вліво. При цьому знімається гальмування якоря електромагніту, його штовхач повертає ланку за годинниковою стрілкою і передає рух на праве плече важеля. Важіль через тягу повертає включаючий важіль, встановлений на проміжному валу вимикача. Вал повертається за годинниковою стрілкою, включаюче зусилля через проміжну ланку передається на важіль, який при цьому повертає головний вал вимикача проти годинникової стрілки. Встановлені на валу ізолятори повертаються проти годинникової стрілки і закріпленими на них кронштейнами стискають пружини, встановлені на тязі, що йде до рухомих контактів дугогасильних камер. В кінці ходу штовхача електромагніту на включенні під вісь підпадає клямка і механізм вільного розщеплювання опиняється у верхньому зафіксованому положенні. Вимикач був включений. При подачі команди на відключення спрацьовує електромагніт і ламає пару ланок, розташованих у верхній частині механізму вільного розчіплення, вісь яких до цього знаходилася в «мертвій крапці». Всі ланки складаються, вісь зісковзує з клямки, звільняється важіль і вимикач відключається.

6.4 Схема керування

SB1 від заздалегідь заряджених по ланцюгу VD5-R1 конденсаторів C3-C6 спрацьовує герконове реле KL1 і своїми контактами живить котушку вмикача магнітного пускача KS1. Одні контакти пускача KS1 шунтують SB1, другі - подають напругу на випрямний міст VD1-VD4, живлячий електромагніт включення YAC. В кінці ходу на включення розмикаючі блок-контакти вимикача SQ4 відключають катушку KS1. Замикаючі контакты SQ4 по ланцюгу R3-SQ4-KS1 остаточно розряджають конденсатори C3-C6, обмотка реле KL1 забезпечується і його контакти відключають котушку включення пускача KS1. Вмикаючий електромагніт YAC забезпечується блок-контактами ВВ SQ1. Якщо вимикач включився на коротке замикання і релейний захист миттєво або з

невеликою витримкою часу його відключення виявляються розрядженими, реле KL1 не має можливості спрацьовувати. Таким чином, здійснюється заборона багатократного включення вимикача, тобто блокування від «скакання». При оперативному відключенні ВВ за допомогою кнопки SB2 електромагніт відключення YAT1 запитується випрямленою напругою від моста VS1, підключеного до вторинної обмотки трансформатора TV1. При відключенні від релейного захисту YAT1 одержує випрямлену напругу від мостів VS2 і (або) VS3, підключених до вторинних обмоток швидконасичуючихся трансформаторів струму TA1 і TA2, первинні обмотки яких підключаються до вторинних обмоток високовольтних трансформаторів струму TAA, TAC фаз А і С відповідно (рис. 6.2).

Така система живлення відключаючої катушки YAT забезпечує надійне відключення вимикача при коротких замиканнях в першому колі, коли напруга живлення оперативних кіл знижується нижче допустимого. Електромагніт YAT1 відключається блок-контактами SQ3. При натисненні кнопок включення і відключення відбувається спрацьовування двохпозиційного реле KQ1, контакти якого спільно з блок-контактами вакуумного вимикача Q, створюють кола «невідповідності» стану схеми управління положенню вимикача які використовуються в колі живлення лічильника числа аварійних відключень вимикача PC1, і для запуску пристрою АПВ (автоматичного повторного включення).

Послідовність виконання роботи

1. Вивчити пристрій вакуумних камер, представлених на стенді лабораторії. Звернути увагу на форму контактів вакуумних камер старого і нового зразків. Спіральні пази на периферійних ділянках в камерах нового типу при розмиканні контактів примушують виникати радіальне магнітне поле, під дією якого з'являється великих розплавлених зон на контактах. Контакти цього типу можуть комутувати струми 50кА. Певний інтерес представляють екрани, які захищають внутрішню поверхню ізоляційного циліндра від осадження пари металів, що випаровуються при горінні дуги, а так само підвищують електричну міцність камери за рахунок вирівнювання градієнта напруженості електричних полів.

2. Визначити чи замикаються контакти усередині вакуумних камер, і якщо замикаються, то чи одночасно?

Для цього зібрати схему, приведену на рисунку 6.3, одягнувши на важіль, розташований в нижній частині приводу відрізок труби, плавно натискуючи його вниз включити вакуумний вимикач уручну спостерігаючи за свіченням лампочок. Результати спостереження і схему контролю замикання головних контактів ВВ привести в звіті.

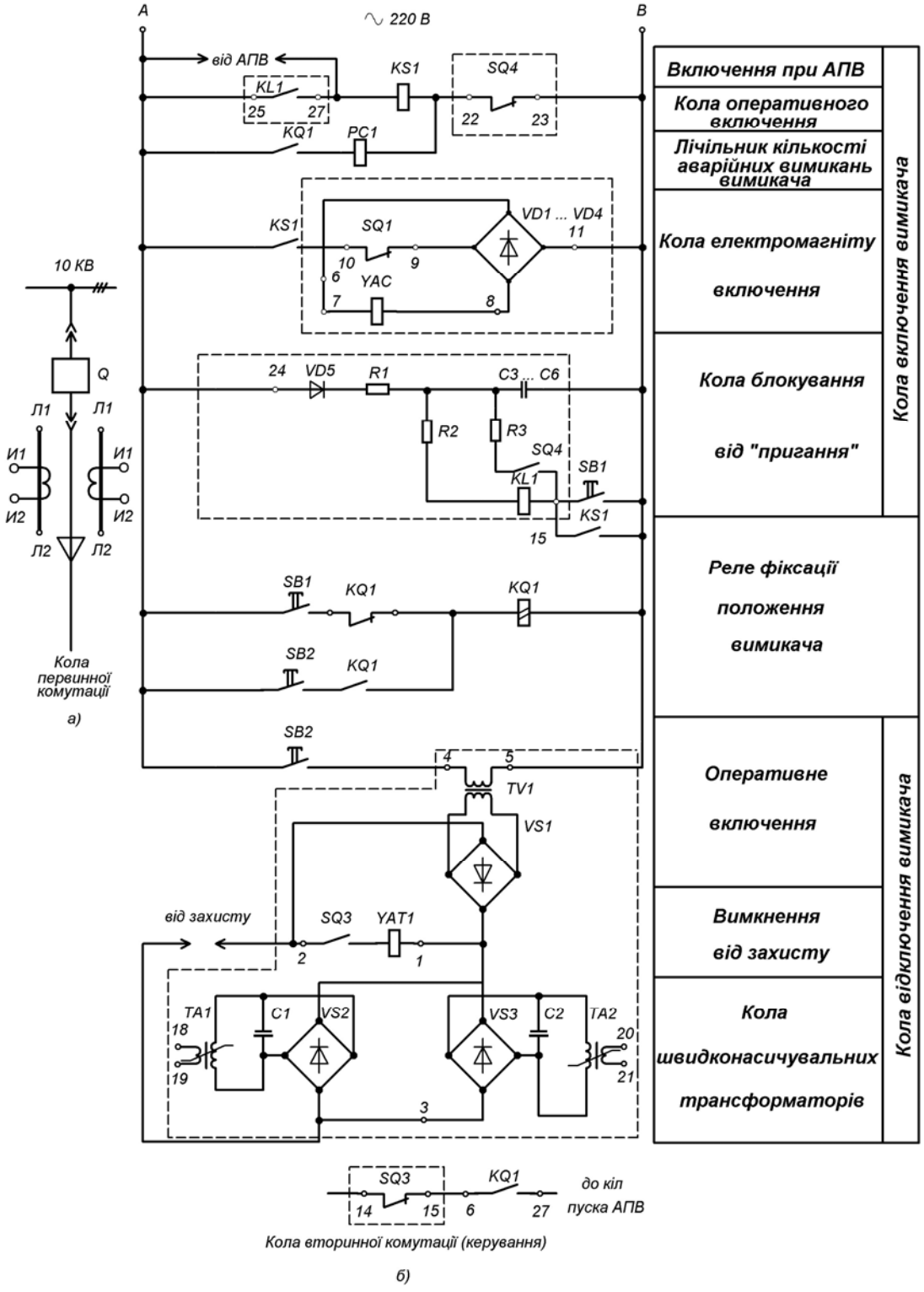


Рисунок 6.2 – Схема керування вимикачем

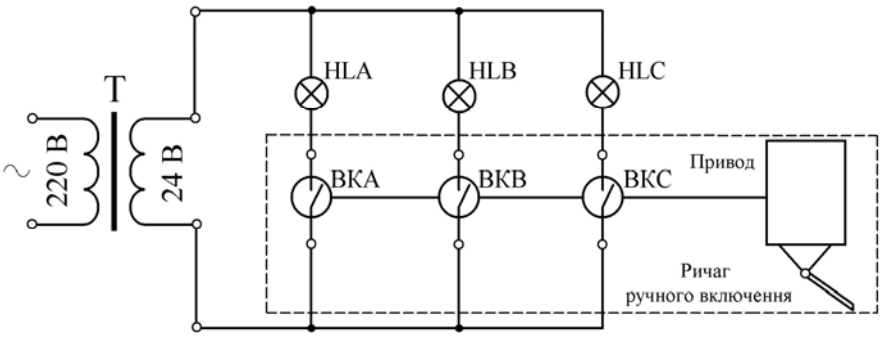


Рисунок 6.3 – Схема контролю замикання контактів у середині вакуумних камер

3. Перевірити роботу ВВ при різних напругах живлення оперативних ланцюгів:175В, 220В і 242В. При кожній напрузі провести по три включення. Для цього оперативні ланцюги живити через ЛАТР. Результати привести у звіті.

4. Перевірити операцію відключення при напругах живлення оперативних ланцюгів:143В, 220В і 242В. При цьому включати ВВ потрібно уручну, а відключати - за допомогою кнопки відключення SB2 (рис 6.2). Відключення провести при кожній напрузі. Результати привести у звіті.

5. Перевірити роботу ВВ при живленні відключаючої катушки від швидконасичуючихся трансформаторів струму ТА1 і ТА2 (рис. 6.2). Для цього зібрати схему (рис. 6.4). Включити ВВ. Піднімаючи напругу за допомогою АТ (РНО) на первинній обмотці трансформатора навантаження зміряти струм в обмотці ТА1 (клеми 18, 19) у момент відключення ВВ. Таку ж операцію провести з трансформатором ТА2 (клеми 20, 21). При цьому кнопку відключення SB2 не натискувати. Результати дослідів привести у звіті. Зробити висновки.

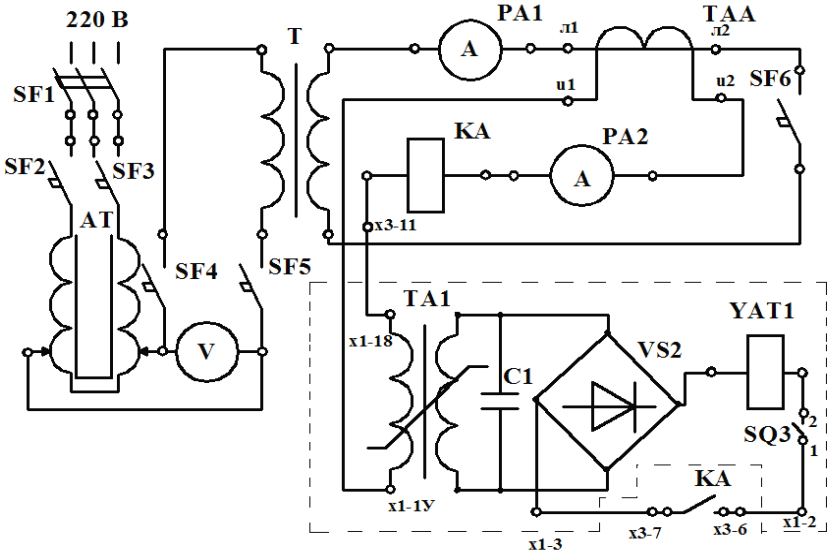


Рисунок 6.4 – Схема живлення відключаючої катушки від трансформатора струму ТА1

6.4 Зміст звіту

1) Завдання для виконання лабораторної роботи.
2) Результати досліджень.
3) Висновки.

6.5 Контрольні запитання

1. Переваги та недоліки вакуумних вимикачів.

2. Принцип гасіння луги у вакуумних вимикачах.

3. Особливості будови вакуумних вимикачів.

4. Робота привода вакуумних вимикачів.

5. Як і з якою метою проводиться регулювання одночасності замикання контактів вакуумних вимикачів.

6. Як проводиться регулювання роботи системи дистанційного управління приводом вакуумних вимикачів.

7. Область застосування вакуумних вимикачів.

8. Перерахуйте типи ВВ 10 кВ.

9. До яких наслідків призведе відсутність герметичності у дугогасильній камері вакуумних вимикачів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

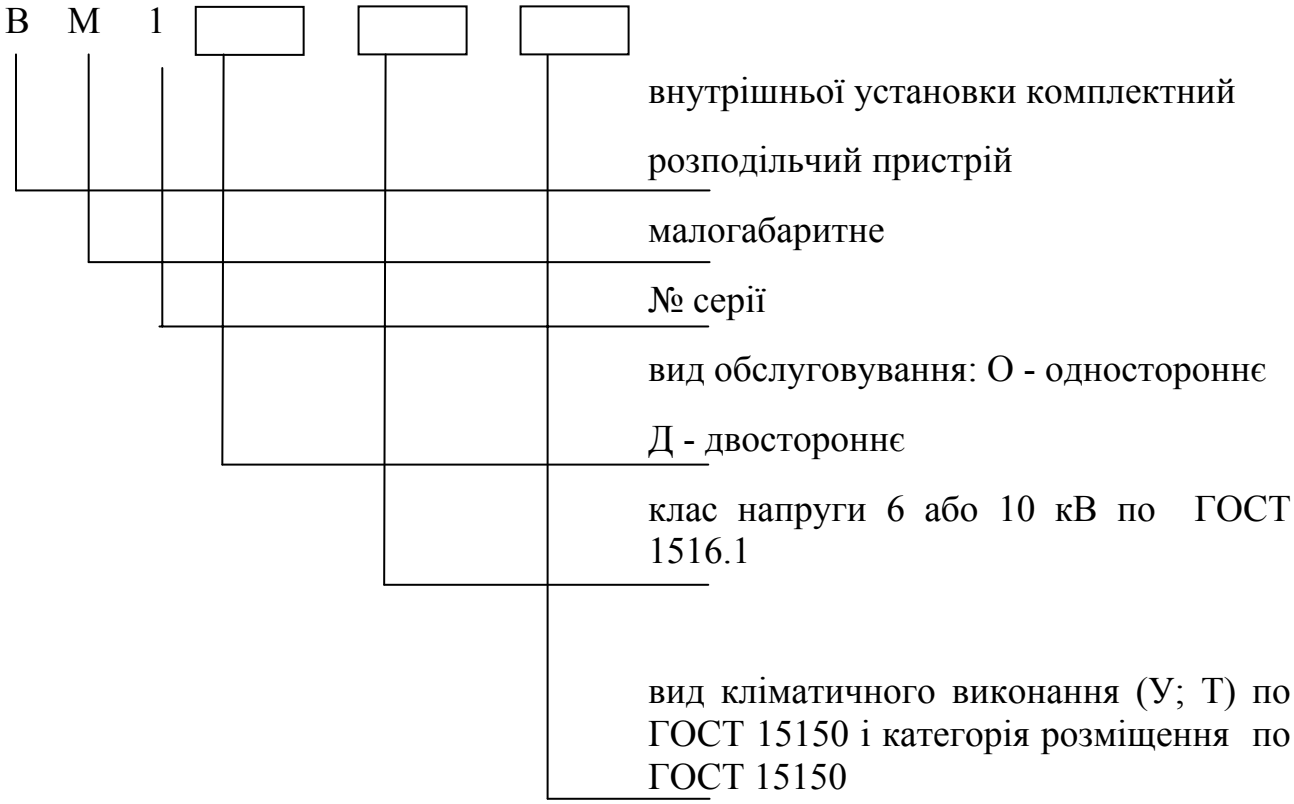
Комплектний розподільний пристрій серії ВМ-1 (Внутрішньої установки малогабаритне)

7.1 Загальні відомості

Пристрій комплектний розподільний серії ВМ-1 призначений для прийому і розподілу електричної енергії трифазного змінного струму при номінальній напрузі 6-10 кВ промислової частоти 50 і 60 Гц для систем з ізольованою або заземленою через дугогасячий реактор нейтраллю .

КРУ застосовуються в закритих розподільчих пристроях і електромережах з частими комутаційними операціями.

Структура умовного позначення ВМ-1



Структура умовного позначення шаф

Залежно від вбудованої апаратури і приєднань, з яких може комплектуватися КРУ серії ВМ-1, шафи бувають наступних видів:

ШВВП - шафа вимикача вакуумного з пружинним приводом.
ШВВЕ - шафа вимикача вакуумного з електромагнітним приводом.
ШВЕП - шафа вимикача елегазового з пружинним приводом.
ШВЕЕ - шафа вимикача елегазового з електромагнітним приводом.
ШКВЕ - шафа контактора вакуумного з електромагнітним приводом.
ШКЕЕ - шафа контактора елегазового з електромагнітним приводом.
ШШР - шафа з роз'ємним контактним з'єднанням.
ШТН - шафа з трансформаторами напруги.

ШПС - шафа з силовими запобіжниками.
ШГВ - шафа глухого введення.
ШКС - шафа кабельної збірки.
ШСТ - шафа з силовим трансформатором.
ШКА - шафа з комбінованою апаратурою (з розрядниками, обмежувачами перенапружень).
ШНВА - шафа з низьковольтною апаратурою (допоміжного устаткування).

ШШП - шафа шинної перемички між секціями.

ШШВ - шафа шинного введення від стіни.

ШВ - шафа шинної вставки.

ШП - шафа перехідної до КРУ інших серій.

*Н – з неізольованими шинами (позначення не ставиться).

*И – з частково ізольованими шинами.

Клас напруги 6 або 10 кВ по ГОСТ 1516.1

Номер схеми головного ланцюга (додаток 2, додаток 5).

Номінальний струм шафи, А

Номінальний струм відключення вимикача (контактора) або 3-х секундний струм термічної стійкості для шаф без вимикача (контактора), в кА

Кліматичне виконання і категорія розміщення по ГОСТ 15150.

* Можливо виготовлення шаф КРУ з ізольованими шинами.

7.2 Умови експлуатації

- висота установки над рівнем моря не більше 1000 м;

- для виконання У3 нижнє значення температури повітря при експлуатації:

мінус 5 ^{0}С без установки підігрівачів в релейній шафі;

мінус 25 ^{0}С з установкою підігрівачів в релейній шафі (за замовленням);

- для виконання Т3 нижнє робоче значення температури повітря при експлуатації:

мінус 10 ^{0}С з встановленням підігрівачів в релейній шафі (за замовленням);

плюс 1 ^{0}С без встановлення підігрівачів в релейній шафі;

верхнє робоче значення температури навколишнього повітря:

плюс 40 ^{0}С для виконання У3;

плюс 45 ^{0}С для виконання Т3.

- навколишнє середовище невибухонебезпечне, що не містить агресивних газів і випаровувань, хімічних відкладень, не насичена струмопровідним пилом і водяними парами;

- тип атмосфери – II по ГОСТ 15150

КРУ серії ВМ-1 відповідає ГОСТ 14693 і ТУУ 01413325.005-2000.

7.3 Схеми головних кіл шаф

Шафи КРУ серії ВМ-1 з елементами викочувань забезпечують будь-яке схемне рішення РУ, виходячи з сітки схем з'єднань головних кіл, для шаф на номінальні струми до 3150 А і для шаф на номінальні струми до 1250 А (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Основні технічні дані

Технічні дані	Шафи з контакторами			Шафи з вимикачами			
	ВМ-1-6-10У3(Т3)	ВМ-1-6-4,5У3(Т3)	ВМ-1-10-8У3(Т3)	ВМ-1-6(10)-20У3	ВМ-1-6(10)-20Т3	ВМ-1-6(10)-31,5У3	ВМ-1-6(10)-31,5Т3
Номінальна напруга, кВ	6	6	10	6; 10	6; 10	6; 10	6; 10
Найбільша робоча напруга, кВ	7,2	7,2	12	7,2; 12	7,2; 12	7,2; 12	7,2; 12
Номінальний струм головних ланцюгів шаф ВМ-1, А	400	450	400	630, 1000, 1600, 2000, 3150	630, 1250, 2500	630, 1000, 1600, 2000, 3150	630, 1250, 2500
Ном. струм збірних шин, А	630	630	630	1000, 1600, 2000, 3150	1250, 2500	1000, 1600, 2000, 3150	1250, 2500
Номінальний струм відключення вим. Вбудований. у ВМ-1, кА	10	4,5	8	20	20	31,5	31,5
Струм термічної стійкості (протягом 3 с), кА *	10	9 6,5	8	20	20	31,5	31,5
Час протікання струму термічної стійкості, с	3	1 6	3	3	3	3	3
Номінальний струм електродинамічної стійкості головних ланцюгів шаф ВМ-1, кА	26	11,5	21	51	51	81	81

* Електродинамічна і термічна стійкість визначається технічними параметрами трансформаторів струму.

7.4 Схеми допоміжних кіл

Принципові схеми з'єднань допоміжних кіл і ряди клем були виконані для КРУ 6; 10 кВ підстанцій енергосистем на постійному і випрямленому оперативному струмі напругою 220 і 110 В по схемах 11378ТМ і 11379ТМ ВГПІ «Енергомережпроект», по схемах ВЛІЄ 301.341., ВІЄЮ 670.209. ВНІПІ «Тяжпромелектропроект» спільно з ПО «Запоріжтрансформатор» на реле, а також по схемах ЗАТ «Кременчуцька електротехнічна компанія «Ампер» на мікропроцесорних системах захисту, управління і контролю серії: SEPAM (SCHNEIDER Electric), SPAC, REF (ABB), SIPROTEC (SIEMENS), MICOM (ALSTOM), МРЗС (ПО «Київприбор») (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 - Основні технічні дані допоміжних кіл

Номінальна напруга допоміжних ланцюгів, В: постійного струму змінного струму	 24, 48, 110, 220, 24, 48, 100**, 127**, 220, 380**
Номінальна потужність вбудовуваних трансформаторів власних потреб, кВА	25, 40
Величина холостого ходу, що відключається роз'єднуючими контактами висувних елементів, А: для 10 кВ для 6 кВ	 0,4 0,6
Рівень ізоляції по ГОСТ 1516.1	нормальна
Вид ізоляції	повітряна, комбінована
Наявність ізоляції токоведучих частин	з неізольованими шинами; з ізольованими шинами; з частково ізольованими шинами
Наявність висувних елементів в шафах	з висувними елементами; без висувних елементів
Вид лінійних високовольтних приєднань	кабельні шинні
Умови обслуговування	одностороннє обслуговування двостороннє обслуговування
Ступінь захисту по ГОСТ 14254	IP20
Максимальна кількість високовольтних кабелів в шафах з вимикачами	6
Тип кабельних оброблень	КВЕд-10
Найбільший перетин кабелів високої напруги, кВ. мм	6х240
Тип вимикача	VD4 (ABB); BB/TEL (Тавріда Електрик); VM-1 (ABB); HD4 (ABB-SACE), NXACT (SIEMENS)
Тип роз'єднувача	штепсельний силовий
Тип трансформаторів струму	TPU40 (ABB), ТОЛ
Тип трансформаторів напруги	TJP4 (ABB)
Тип силових трансформаторів	ТСЬКС-25/10, ТСЬКС-40/10
Типи високовольтних запобіжників	ПК1-6; ПК1-10; ПК2-6; ПК2-10; ПКТ-6; ПКТ-10

** Напруги, на які можуть додатково виконуватися кола включення і відключення приводу вимикача.

7.5 Конструкція і принцип дії шафи КРП серії ВМ-1

КРУ серіями ВМ-1 є конструкцію, що складається з окремих металевих шаф, сполучених між собою за допомогою болтових з'єднань. В шафах встановлюється високовольтна апаратура, а також прилади захисту, управління, вимірювання, сигналізації і допоміжні пристрої (рис. 7.1).

Шафи виготовляються як для одностороннього, так і для двостороннього обслуговування при монтажі і експлуатації при однорядному, дворядному або багаторядності розташуванні шаф в підстанції і розподільних пристроях (рис. 7.2, рис. 7.3).

Шафи були уніфіковані і незалежно від схем головних і допоміжних з'єднань мають аналогічну конструкцію основних складальних одиниць і однакові габаритно-настановні розміри:

– на номінальні струми до 1250 А ширина шаф 750 мм;
– на номінальні струми до 2000 А ширина шаф 900 мм;
– на номінальні струми до 3150 ширина шаф 1100 мм

Шафа ВМ-1 складається з шафи розподільного, висувного елемента, шафи релейного. Шафа розподільна є збірною металевою конструкцією, розділеною на відсіки: відсік висувного елемента (вимикача), відсік трансформаторів струму і кабелів, відсік збірних шин .

Для забезпечення підвищеної локалізаційної здатності відсіки були розділені між собою металевими перегородками.

Як висувні елементи в шафах можуть бути:

– візок з вимикачем високовольтним трьохполюсним вакуумним або елегазовим, з пружинним або електромагнітним приводом, номінальний струм 630, 1250, 1600, 2000, 3150 А;
– візок з контактором високовольтним трьохполюсним вакуумним або елегазовим, з пружинним або електромагнітним приводом, номінальний струм 400 А, тип Rollarc R400 (SCHNEIDER Electric), V-7 (ABB);

- візок з роз'єднуючими контактами;
- візок з розрядниками;
- візок з трансформатором власних потреб;
- візок з трансформатором напруги.

Візок елемента викочування переміщається від руки або за допомогою вбудованого електроприводу усередині відсіку на коліщатках по направляючім. При укочуванні ззовні (з ремонтного положення) до упора всередину відсіку обидві рукоятки візка стають на фіксатори, що відповідає контрольному положенню, захисні шторки штирьових контактів були закриті. Включення розеткових контактів вимикача, контактора або роз'єднуючих контактів в штирьові контакти, тобто укочування візка з контрольного положення в робоче, проводиться обертанням знімної рукоятки ходового гвинта візка, при цьому захисні шторки відкриваються. Виключення розеткових контактів проводиться обертанням ходового гвинта візка у зворотний бік. Робоче і ко-

нтрольне (викочене) фіксовані положення вимикача, контактора або роз'єднуючих контактів; положення заземлюючих ножів контролюється путьовими вимикачами.

Механічне блокування не допускає:

– переміщення висувного елемента з робочого положення в контрольне і назад при включеному вимикачі, контакторі;
– включення вимикача, контактора в проміжному (між робочим і контрольним) положенні висувного елемента;
– вкочування і викочування висувного елемента з трансформатором власних потреб під навантаженням;
– укочування висувного елемента з контрольного положення в робоче при включених заземляюючих ножах;
– включення заземляюючих ножів при робочому і проміжних положеннях висувного елемента (тобто у всіх положеннях, окрім контрольного).

Візок може бути повністю викочений з шафи при напільному варіанті або на сервісний візок для ревізії і ремонту з подальшим опусканням платформи візка до рівня підлоги.

На бічній стінці відсіку вимикача є спеціальні канали, для прокладки контрольних кабелів.

У верхній частині відсік вимикача був закритий поворотною кришкою для виходу перегрітого повітря і скидання надмірного тиску при виникненні у відсіку аварійного короткого замикання з перемиканням при цьому вимикача путьового в колі захисту від дугових замикань.

У відсіку трансформаторів струму і кабелів були розміщені шини, приєднані до контактів, які через ізоляційні втулки проходять у відсік висувного елемента. Трансформатори струму залежно від шафи встановлюються на підлозі або даху відсіку, а заземлюючі ножі – на стінці відсіку.

У відсіку збірних шин були розміщені збірні шини і відпаювання збірних шин, приєднані до контактів, які через ізольовані втулки проходять у відсік висувного елемента. У верхній частині відсік збірних шин був закритий поворотною кришкою для виходу перегрітого повітря і скидання надмірного тиску при виникненні у відсіку аварійного короткого замикання з перемиканням при цьому вимикача путнього в колі захисту від дугових замикань.

В шафах ВМ-1 з висувними елементами була передбачена можливість оброблення до чотирьох кабелів – для шаф шириною 750 мм, до п'яти кабелів – для шаф шириною 900 мм, до шести кабелів – для шаф шириною 1100 мм.

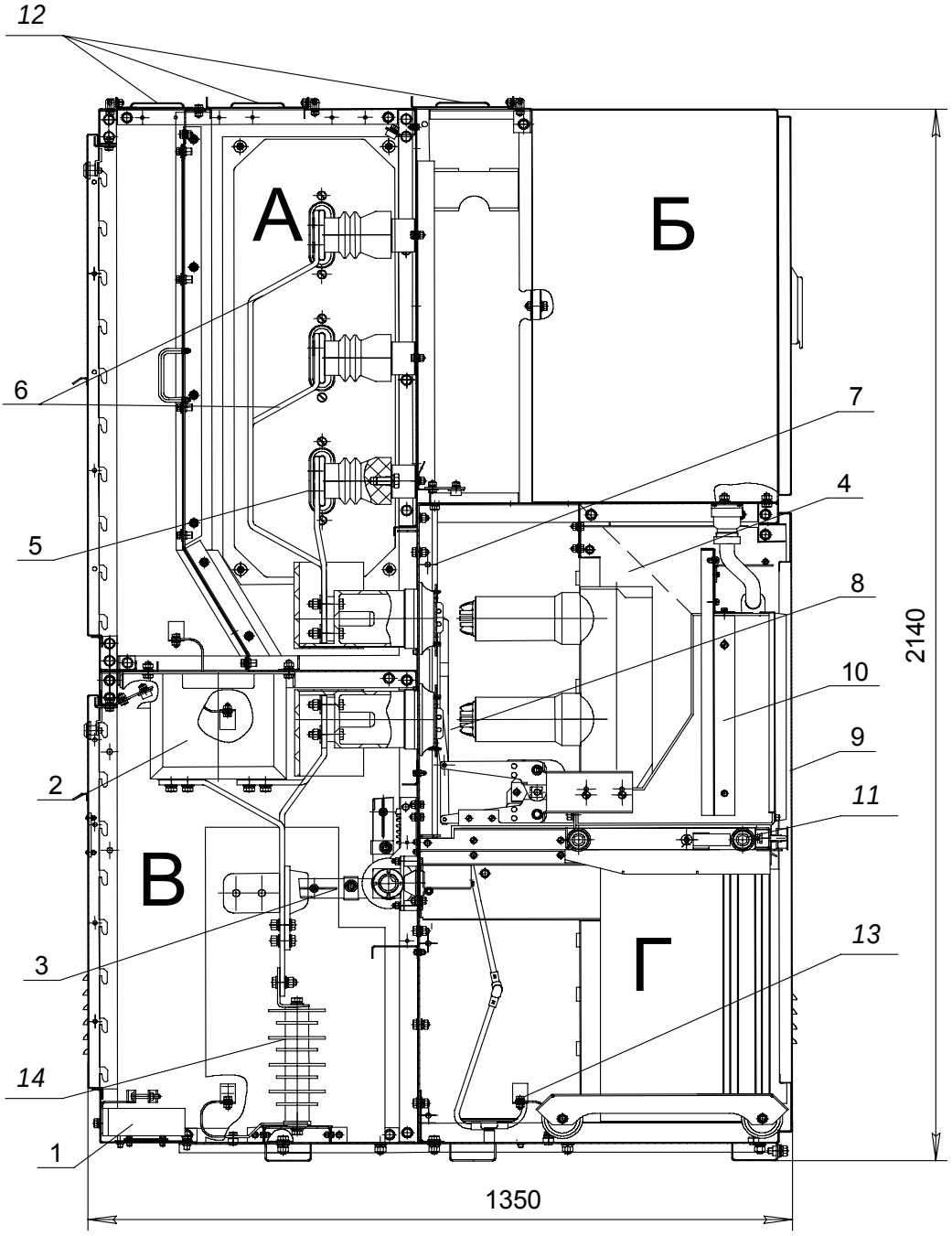


Рисунок 7.1 – Шафа КРП серії ВМ-1на струми до 3150 А (вимикач в контрольному положенні):

А - відсік збірних шин; Б - релейний відсік; В - відсік трансформаторів струму; Г- відсік вимикача:

1- трансформатор струму нульової послідовності; 2- трансформатор струму; 3-заземлитель; 4- касета; 5- ізолятор прохідний; 6- відпаювання збірних шин; 7- шторка верхня; 8- шторка нижня; 9- двері; 10- вимикач; 11- трек; 12- вихлопні канали; 13- заземлення; 14- ОПН.

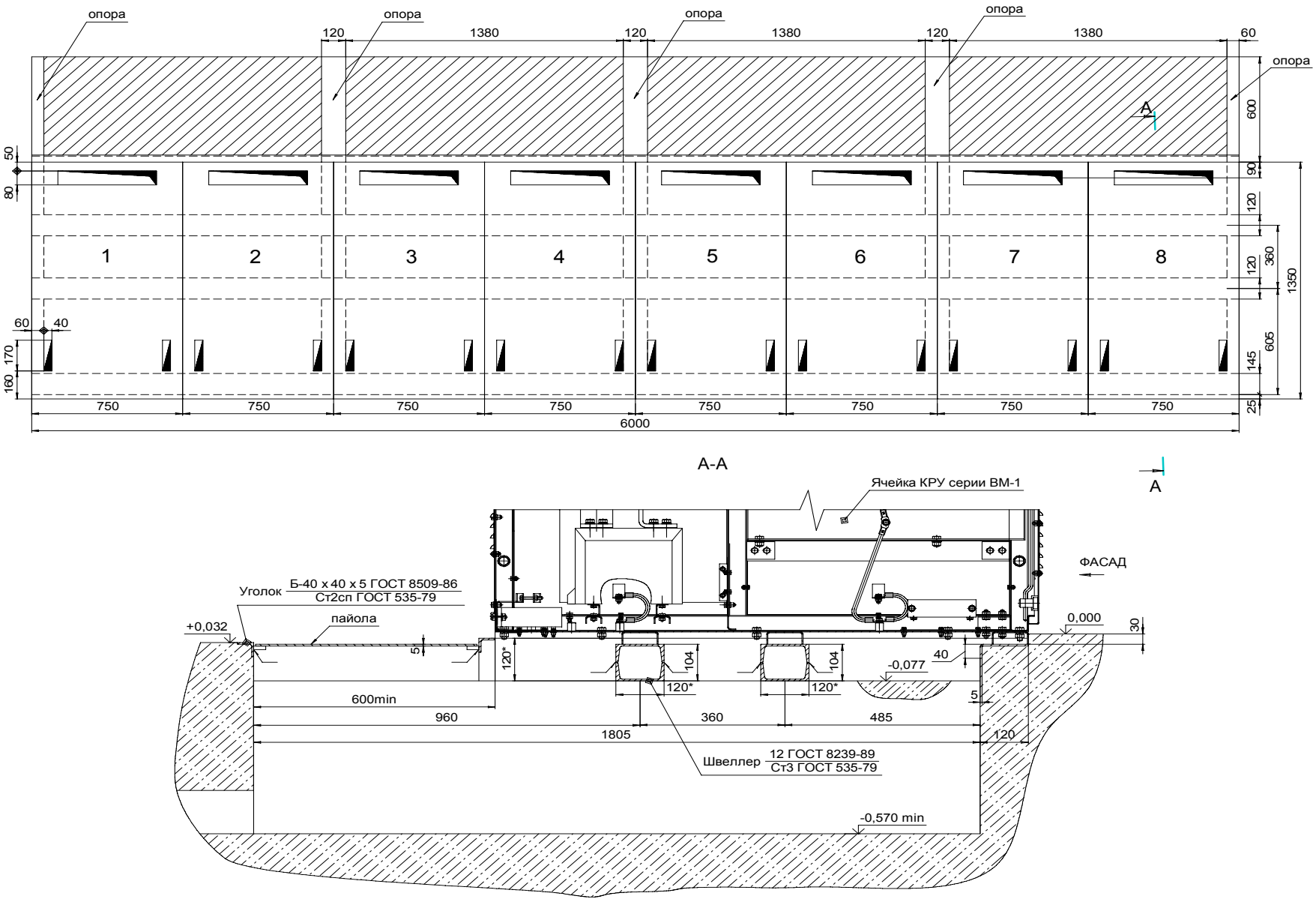


Рисунок 7.2 - Варіант виконання будівельної частини під КРП серії ВМ-1 двостороннього обслуговування

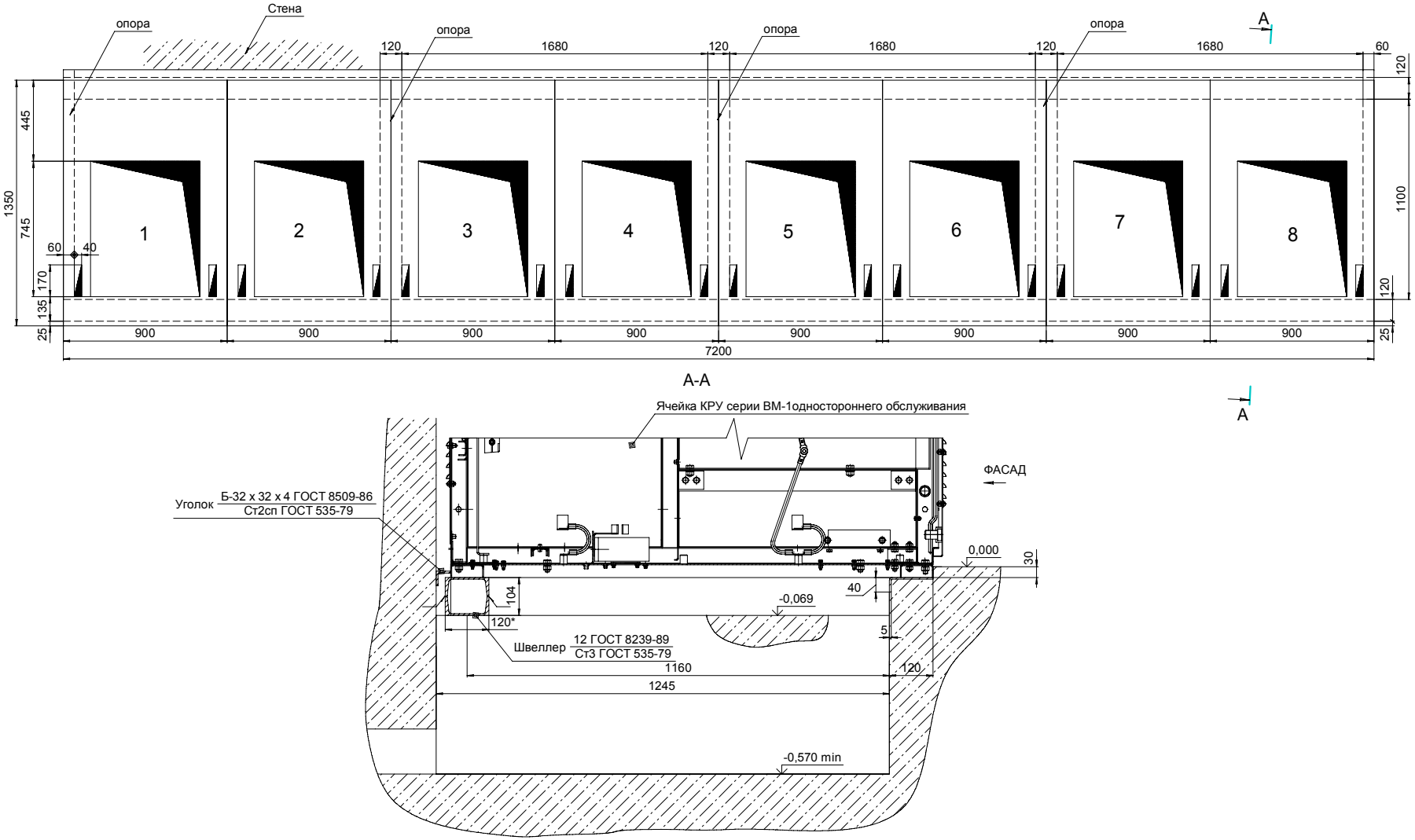


Рисунок 7.3 – Варіант виконання будівельної частини під КРП серії ВМ-1 одностороннього обслуговування

7.6 Хід роботи

1. Ознайомитись з теоретичними даними.
2. Привести зовнішній огляд комірки.
3. Знайти основні блоки шафи серії ВМ-1.
4. Визначити основні елементи:
   – Силовий вимикач.
   – Трансформатори струму.
   – Ошиновку.
   – Засоби релейного захисту.
5. Розглянути схему релейного захисту, знайти:
   – Елементи струмового захисту (струмової відсічки, максимального струмового захисту).
   – Елементи автоматичного ввімкнення резерву.
6. Пояснити роботу кожного с захистів.
7. Перевірити роботу АВР, МСЗ, СВ.
8. Провести ввімкнення та відключення силового вимикача в ручному та автоматичному режимах:

– Зробити висновки з працездатності приводу вимикача.
– Зробити висновки з придатності до експлуатації шафи серії ВМ – 1

7.7 Зміст звіту

1). Завдання для виконання лабораторної роботи.
2). Результати досліджень.
3). Висновки.

7.8 Контрольні запитання

1. З яких основних блоків складається шафа?
2. Пояснити маркування шафи.
3. Конструкція та принцип дії шафи КРП серії ВМ – 1.
4. Для яких умов експлуатації призначена шафа серії ВМ – 1?
5. Пояснити принцип дії захисту від СКЗ.
6. Пояснити принцип дії максимального струмового захисту.
7. Пояснити принцип дії автоматичного введення резерву.
8. Порядок дій при виведенні шафи для перевірки роботи релейного захисту.
9. Забезпечення безпечного виконання робіт в КРП.
10. Яким чином забезпечується взаємодія між блоками шафи серії ВМ-1?

Список джерел

1. Дьяков Є. Д. Визначення місць пошкодження в силових кабелях: навч. посібник / Є. Д. Дьяков, А. В. Хитров. – Харків: ХНАМГ. – 2006.

2. Соколов Б. А. Монтаж электрических установок. / Б. А. Соколов, Н. Б. Соколова. – Москва : ЭАИ, 1991.

3. Мусаэлян Э. С. Наладка и испытания электрооборудования электростанций и подстанций. – Москва : ЭАИ, 1986

4. Буряк В. М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання: навч. посібник. / В. М. Буряк. – Харків: ХДАМГ, 2001.

5. Грудинский П.Г. Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций и подстанций. / П. Г. Грудинский, С. А. Мандрыкин, М. С. Улицкий. – Москва : «Энергия», 1974.

6. Правила устройства электроустановок. – Москва : Атомэнергоиздат, 1998.

7. Загальна характеристика та розрахунок режимів розподільних мереж: Навч. посібник. / В. А. Лушкін, І. Г. Абраменко, І. В. Барбашов та ін. – Харків : ХНАМГ. – 2012.

8. Хитров А. В. Монтаж, наладка і експлуатація електрообладнання. : конспект лекцій / А. В. Хитров; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва. – Харків : ХНУМГ, 2013.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

З ДИСЦИПЛІНИ «МОНТАЖ, НАЛАДКА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ»

(для студентів 5 курсу денної, 6 курсу заочної форм навчання, а також слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 7.05070103 - Електротехнічні системи електроспоживання)

Укладачі: **Хитров** Анатолій Васильович

Поліщук Оксана Юріївна

Рум'янцев Дмитро Валерійович

Відповідальний за випуск *О. М. Ляшенко*

Редактор *З. І. Зайцева*

Комп'ютерне верстання *Д. В. Рум'янцев*

План 2013, поз. 215 М

Підп. до друку 31.10.2013 Формат 60х84/16
друк на ризографі. Ум. друк. арк. 3,1
Зам. № Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.