

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни "Електричні апарати" для підготовки бакалаврів усіх форм навчання за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з навчанням за освітніми програмами "Енергетичний менеджмент" та "Електротехнічні системи електроспоживання"

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Електричні апарати" для підготовки бакалаврів усіх форм навчання за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з навчанням за освітніми програмами "Енергетичний менеджмент" та "Електротехнічні системи електроспоживання" /Укл. О.М. Климко, С.Є.Малишко. Запоріжжя: ЗНТУ, 2019.- 54 с.

Укладачі: доц., к.т.н. О. М. Климко
зав. лаб. С.Є.Малишко

Рецензент доц., к.т.н. І.В. Авдєєв

Відповідальний за випуск доц., к.т.н. О.А. Шрам

Затверджено
на засіданні кафедри
“Електропостачання
промислових підприємств”
Протокол №5 від 26.12.2018

Рекомендовано до випуску
НМК ЕТФ
протокол №7 від 21.02.2019

З М І С Т

Загальні методичні вказівки	4
Лабораторна робота №1	4
Лабораторна робота №2	13
Лабораторна робота №3.....	21
Лабораторна робота №4	26
Лабораторна робота №5	33
Лабораторна робота №6	38
Лабораторна робота №7.....	44
Лабораторна робота №8.....	49

ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Лабораторні роботи мають допомогти студентам ознайомитися з промисловими зразками електрообладнання, яке використовується на електричних станціях та підстанціях систем електропостачання. Інше важливе призначення лабораторних робіт – це набуття студентами навичок складання електричних схем, дослідження характеристик електрообладнання, вибору та перевірки апаратів.

Лабораторна робота № 1 КОМУТАЦІЙНІ АПАРАТИ НАПРУГОЮ ДО 1000 В

Мета роботи: вивчити призначення, конструктивні особливості, параметри, умови вибору та умовні позначення на електричних схемах електромагнітних контакторів, магнітних пускачів, неавтоматичних вимикачів кіл керування та силових кіл.

Загальні відомості

Неавтоматичні вимикачі змінного та постійного струмів до 1000 В призначені для ізолювання окремих частин установки, ділянок мережі від напруги для безпечного ремонту, а також для комутації вручну електричних кіл в нормальних режимах при робочих струмах, які не перевищують $0,2 \div 1,0$ номінального струму вимикача (в залежності від конструкції). Операції вмикання та вимикання виконуються тільки вручну за допомогою найпростіших важільних приводів. Значення номінального струму головних контактів є однією з основних ознак за якою класифікують апарати. Апарати на струм до 10 А – це апарати кіл керування (командоапарати), при більших струмах – апарати головних кіл (силові апарати).

Найпростішим командоапаратом є кнопковий вимикач (кнопка керування). Кнопка використовується для схем пуску, зупинки та реверсу електродвигунів шляхом замикання та розмикання обмоток контакторів, які комутують головне коло, а також для керування різними схемами автоматики. Кнопка – це, зазвичай, апарат натискної дії, у якого контактна пластина встановлюється на штифті з ізоляційного матеріалу і утримується зворотною пружиною. Електричне коло

кнопки може мати два виводи (одноколова кнопка) із замкненим чи розімкненим контактом або чотири виводи (іноді – три) з перемиканням кола переміщенням однієї або двох контактних пластинок (двоколова кнопка).

Промисловість випускає кнопкові вимикачі серії КЕ, КМЕ та а перемикачі серії ПЕ. Керувальний елемент апарата (штовхач) може бути циліндричним чи грибоподібним. При циліндричному штовхачі вимикач може мати світлосигнальну арматуру. Перелічені апарати з боку контактів виготовляють зі ступенем захисту IP00, вони можуть використовуватися тільки вбудованими у шафи, пульти, а також комплектуватися з постами керування кнопковими ПKE, ПКУ13, ПКУ15.

Пости керування кнопкові серії ПKE мають пластмасовий корпус та від 1 до 3 вбудованих керувальних елементів. Пости серії ПКУ15 мають алюмінієву оболонку та від 1 до 16 вбудованих керувальних елементів.

Для схем керування електроприводом, електричними апаратами та різними пристроями автоматики широко використовуються універсальні перемикачі УП 5000. Перемикачі мають на кожній секції по два контакти, які в схемі дають один розрив кола. Окрім того, другий контакт секції має загальний затискач, що дозволяє отримати два розриви, а також в схемах із загальною точкою забезпечує комутацію двох різних кіл, номінальний струм перемикача 20 А. Кількість секцій змінюється від 2 до 16. Промисловість випускає УП5300 (відкрите виконання IP00) та УП5400 (захищене IP55).

Серія ПКУЗ (перемикач кулачковий універсальний) на номінальний струм 10 А, 500 В змінної та 220 В постійної напруги замінила застарілу серію УП. Перемикач має на кожній секції по два контакти місткового типу, які дають два розриви, та по два затискачі для підключення провідників. Комутаційні положення змінюються при повороті на 45°. Є виконання з фіксацією усіх положень (до 8), з поверненням у нульове положення з одного чи обох сусідніх, фіксацією на двох чи трьох положеннях через 90° та самоповерненням у фіксовані положення з проміжних. Кількість секцій від 1 до 16.

Промисловість випускає ключі ПМО (перемикач малогабаритний загальнопромисловий, на змінну напругу до 380 В і постійну 220 В, номінальний струм 6,3 А) та МК (малогабаритний ключ, на напругу 220 В змінного та постійного струму, номінальний струм 3 А).

Ключі складаються з таких частин: лицьового фланця з поворотною ручкою, контактного пристрою із стандартних пакетів, механізмів повернення та фіксації. Набір деталей контактної пристрою залежить від призначення ключа, що знаходить відображення у його літерному позначенні: Ф – з фіксацією ручки у кількох положеннях; В – із самоповерненням ручки з оперативних положень "увімкнути", "вимкнути" у фіксоване положення.

Діаграма ключа вказує на положення контактів при різних положеннях ручки. Діаграма може бути зображена у вигляді таблиці або схеми [1]. Ключі з фіксацією ручки та самоповерненням серій ПМОВФ та МКВФ мають 6 положень, з яких 4 положення – фіксовані, а 2 положення мають повернення у попереднє положення. Ключі без фіксації ручки серій МКВ та ПМОВ значно простіші. Ручка має 3 положення: "увімкнути" (поворот ручки на 45° за годинниковою стрілкою), "вимкнути" (теж, але проти годинникової стрілки) та нейтральне положення, у яке ключ повертається з положень "увімкнути" та "вимкнути".

Пакетні вимикачі та перемикачі виготовляють для напруг до 380 В змінного струму та 220 В постійного струму з номінальним струмом від 6,3 до 400 А. Апарати цього типу складаються з низки пакетів, зв'язаних загальним валом. Нерухомі клиноподібні контакти розташовані на нерухомій частині пакету. Вони можуть бути встановлені в будь-якому з чотирьох положень. Рухомі контакти кожного пакету закріплені на валу, який з'єднаний з ручкою. При повороті ручки спочатку натягаються пружини, потім вивільняється фіксувальна шайба і рухомі контакти повертаються на 90° . Відбувається вмикання. Для гасіння дуги використовується фіброва шайба. Вимикачі можуть мати кілька (від 2 до 7) пакетів з різною кількістю полюсів, комутаційних положень та рухомі контакти різної конфігурації.

Пакетні вимикачі та перемикачі (основні серії ПВМ та ППМ) використовуються як у силових колах, так і в колах автоматики. Вони використовуються для пуску та реверсу двигунів, для перемикавання схеми з'єднань обмоток двигуна із зірки на трикутник та ін.

Пакетно-кулачкові вимикачі та перемикачі серій ПКВ і ПКП мають більш надійну контактну систему ніж пакетні. На валу закріплені кулачки (по одному на пакет). Кожне коло має два розриви, які утворені містком та двома нерухомими контактами. При повороті руч-

ки повертається вал і кулачок. Якщо шток потрапить у заглибину, то контакти замикаються під дією пружини. Якщо шток потрапить на виступ кулачка, то контакти розмикаються. Дуга, що виникає, гаситься в закритому об'ємі герметизованого корпусу з ізоляційного матеріалу.

Апарати серій ПКВ і ПКП випускають на напругу до 660 В з номінальним струмом від 10 до 160 А. Вони можуть мати від 1 до 8 пакетів (струми 10 та 25 А), від 1 до 6 пакетів (струм 63 А), та від 1 до 3 пакетів (струми 100 та 160 А). У силових колах постійною струму такі апарати не використовують.

Пакетні та пакетно-кулачкові апарати не забезпечують видимого розриву кола, тому разом з ними використовують рубильники. Рубильник призначений для ручного вмикання та вимикання кіл із змінною напругою до 660 В (може бути двополюсним або триполюсним) та постійною напругою до 440 В (може бути однополюсним або двополюсним). Номінальні струми знаходяться у межах від 100 до 5000 А, а в деяких випадках і вище. Перемикач на відміну від рубильника має дві системи нерухомих контактів на три комутаційні положення. У середньому положенні ножів кола розімкнуті.

Номінальний струм вимикання рубильників і перемикачів звичайно менше номінального. Виняток складають апарати, що мають найпростіші дугогасильні пристрої, при цьому вимикальна здатність дорівнює номінальному струму. Рубильники та перемикачі класифікуються за номінальним струмом, видом та розташуванням ручки приводу, кількістю полюсів, розташуванням площини приєднувальних затискачів відносно площини контактів, наявністю чи відсутністю дугогасильних камер та контактів допоміжного кола, за ступенем захисту, за кліматичним виконанням.

Контактор – це електричний апарат з електромагнітним приводом для дистанційного вмикання кіл під навантаженням. Контактори не мають пристроїв, які б реагували на перевантаження чи КЗ. Цю функцію виконують запобіжники та автоматичні вимикачі, які вмикаються послідовно з контактором. Електродинамічна та термічна стійкість контакторів не нормується. Контактори, зазвичай, утримуються у положенні "увімкнуто" електромагнітом.

Основними технічними параметрами контакторів є: номінальний струм головних контактів, граничний струм вимикання, номінальна напруга, механічна та комутаційна зносостійкість, допустима кількість вмикань за годину, власний час вмикання та вимикання.

Механічна зносостійкість сучасних контакторів складає $(10 \div 20) \cdot 10^6$ операцій. Комутаційна зносостійкість повинна досягати $(2 \div 3) \cdot 10^6$ операцій. Контактори допускають $600 \div 1200$ вмикань за годину.

Контактор складається з таких основних вузлів: головних контактів, дугогасильного пристрою, електромагнітної системи та допоміжних контактів.

Контактори постійного струму (КП, КПВ, КПД), зазвичай, приводяться у дію електромагнітом постійного струму. З метою зменшення зносу для контакторів використовують переважно лінійні контакти, що перекочуються. Для запобігання вібрації контактів контактна пружина створює попередній натиск, який складає приблизно 50% кінцевого. Нерухомий контакт виконується у вигляді котушки, магнітне поле якої "вдуває" дугу до дугогасильної камери. У контакторах постійного струму поширені електромагніти клапанного типу. Магнітопровід виготовляється із суцільної сталі.

Важливим параметром контактора є коефіцієнт повернення $K_n = U_{\text{відп}} / U_{\text{спр}}$ (де $U_{\text{відп}}$ – напруга відпускання, $U_{\text{спр}}$ – напруга спрацювання). Для контакторів постійного струму K_n малий ($0,2 \div 0,3$), що не дозволяє використовувати контактор для захисту двигуна від зниження напруги. У контакторах змінного струму електромагніти можуть бути як змінного (КТ), так і постійного (КТП) струму. Магнітопровід контакторів змінного струму збирається з листів електротехнічної сталі (шихтований), ізольованих один від одного. Для усунення вібрації якоря на полюсах магнітної системи встановлюються короткозамкнуті витки. Широко використовуються контактори поворотного типу серії КТ6000 зі щілинними камерами та магнітним дуттям і КТ7000 з дугогасильними ґратками.

При вмиканні контактора змінного струму (з розімкнутою магнітною системою) опір котушки дуже малий, тому кидок струму досягає $5 \div 7$ кратного значення. При заклинюванні рухомої системи котушка згорає, а при вмиканнях – перегрівається. Тому в установках змінного струму з частими вмиканнями застосовують контактори з електромагнітами постійного струму.

Відносно високий коефіцієнт повернення ($0,6 \div 0,7$) дозволяє використовувати контактори змінного струму для захисту електродвигунів від зниження напруги мережі (нульовий захист).

Деякі серії контакторів (КМ, МК, РПК, КН) використовують як в мережах постійного струму, так і в мережах змінного струму. Контактори постійного струму випускають на струми до 2500 А (КП7), а контактори змінного струму до 1000 А (КТ6000). Контактори змінного струму бувають двополюсними, триполюсними (найбільш поширені), чотириполюсними та п'ятиполюсними. Контактори постійного струму бувають однополюсними та двополюсними.

Магнітні пускачі – це різновид триполюсних контакторів змінного струму для керування асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором потужністю до 130 кВт при напрузі до 660 В. Як звичайно, у пускач окрім контактора вбудовані теплові реле для захисту двигуна від струмових перевантажень та "втрати фази". Керування пускачами здійснюється кнопками.

Утримувальна котушка пускача розрахована на напругу $85 \div 110\%$ номінальної. Захист від зниження напруги забезпечується завдяки тому, що при зниженні напруги в мережі нижче 50% котушка не в змозі утримувати рухому систему пускача і вимикається. У магнітних пускачах передбачений нульовий захист, який запобігає самодовільному вмиканню пускача при відновленні зниклої напруги. Цей захист забезпечується замикальним допоміжним контактом (див. рис. 1.1). Головні контакти пускачів складаються з нерухомих та рухомих контактів місткового типу і розташовані в закритій камері. Для більш інтенсивного гасіння дуги в камерах деяких пускачів (в залежності від струму) встановлюють дугогасильні ґратки. Магнітні пускачі можуть мати відкрите IP00 (без оболонки), захищене IP40 (у сталевому штампованому кожусі зі з'ємною кришкою), пилозахищеному IP54 та пилоблизкозахищеному IP65 (у сталевому штампованому кожусі з гумовим ущільненням між дном і кришкою) виконаннях.

Магнітні пускачі можуть бути реверсивними та нереверсивними. Реверсивний пускач окрім пуску та захисту двигуна забезпечує його реверс за допомогою зміни послідовності двох фаз. Такий пускач має два контактори, якорі яких з'єднані між собою важелем механічного блокування. Механічне блокування завжди доповнюється електричним.

Приклади схем керування електроприймачами постійного та змінного струмів наведені на рис. 1.1

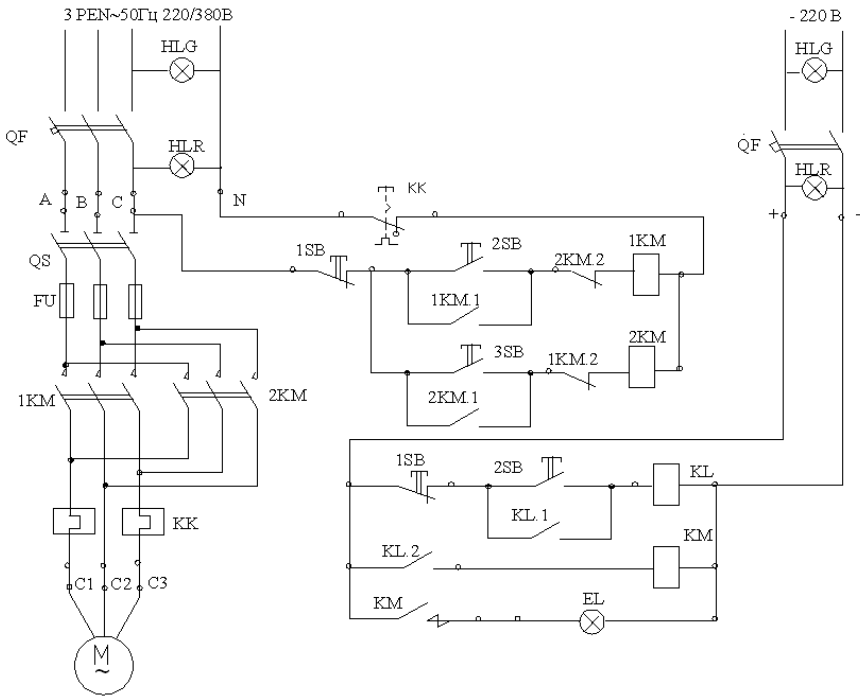


Рисунок 1.1- Схема керування та захисту електроприймачів

Примітка. Світлими кружальцями на схемі виділені розбірні контакти – місця з'єднання елементів гнучкими провідниками.

Найбільш поширені магнітні пускачі серій ПАЕ, ПМЕ, ПМЛ, ПМА.

Магнітні пускачі нової серії ПМЛ призначені для роботи в мережах змінного струму напругою до 660 В при номінальному струмі від 10 до 200 А. Вони мають 7 габаритів (1 – 10А; 2 – 25А; 3 – 40А; 4 – 63А; 5 – 80А; 6 – 125А; 7 – 200А). Вони можуть бути реверсивними чи нереверсивними, мати теплові реле (триполюсні РТЛ) чи ні.

Магнітні пускачі серії ПМА розраховані на напругу до 660В і струми від 40 до 160А. Вони мають 4 габарити (3 – 40А; 4 – 63, 80А; 5 – 100А; 6 – 160А;), можуть бути реверсивними чи нереверсивними, мати теплові реле (триполюсні РТТ) чи ні.

Магнітні пускачі серії ПМЕ розраховані на напругу до 500В та струми від 3 до 25А. Вони мають 3 габарити (0 – 3 А; 1 – 10А; 2 – 25А;),

можуть бути реверсивними чи неревверсивними, мати теплові реле (двополюсні ТРН) чи ні.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Розглянути принцип дії електромагнітних контакторів та магнітних пускачів [1,с.268-272; 2, с.308-307; 4, с. 191-194].

Ознайомитися з правилами складання та прикладами діаграм замикання контактів ключів керування [1, с. 546-548; 2, с.292-294; 3,с.416-418; 4,с.503-505;]

Контрольні запитання

1. Яке призначення неавтоматичних вимикачів?
2. Яка конструкція кнопкового вимикача? Де він може використовуватися?
3. Яке призначення ключів керування? Які серії ключів ви знаєте?
4. Що таке діаграма замикань контактів? Як вона складається?
5. Чим пакетний вимикач відрізняється від пакетно-кулачкового?
6. У чому полягає відмінність головних контактів та дугогасильних камер контакторів постійного та змінного струмів?
7. Які відмінності електромагнітів постійного та змінного струмів?
8. Що таке нульовий захист?
9. Як вибрати контактор (магнітний пускач)?
10. По пам'яті скласти та пояснити схему дистанційного керування електроприймачами постійного та змінного струмів.

Вказівки з техніки безпеки

Лабораторія відноситься до електроприміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом. З метою детального вивчення елементів та складання схем апарати встановлені на лицевій панелі стенда. Усі дослідження відбуваються при небезпечній для життя напрузі 380 В змінного струму та 220 В випрямного струму. Вивчення стендів та установок, складання та розкладання схем повинні відбуватися при вимкнутій напрузі. Подачу напруги у лабораторію здійснює тільки викладач (після попередження усіх студентів). Студенти вмикають стенд після того, як викладач перевірить зібрані схеми. Після виконання роботи студенти вимикають стенд та з дозволу викладача розкладають схему.

Порядок виконання роботи

За наочними посібниками та лабораторними зразками, використовуючи рекомендовану літературу, вивчити призначення та конструктивні особливості комутаційних апаратів на напругу до 1000 В (кнопкових вимикачів та перемикачів, ключів керування, рубильників та перемикачів, електромагнітних контакторів, магнітних пускачів).

Записати паспортні дані розглянутих апаратів та навести їх умовне позначення на схемах.

Скласти діаграму замикань контактів одного з ключів керування (за вказівкою викладача).

Звернути увагу на конструкцію електромагнітів, головних контактів і дугогасильних пристроїв контакторів і магнітних пускачів.

Зробити ескізи контактів.

Скласти схеми керування електроприймачами постійного та змінного струмів (рис. 1.1) та випробувати їх (кнопки SB1, SB2, SB3). Пояснити взаємодію елементів при вмиканні та вимиканні.

Зміст звіту

1. Тема та мета роботи
2. Паспортні дані вивчених апаратів та їх умовне позначення на схемах.
3. Діаграма замикань контактів ключа керування. Ескізи контактів контакторів та магнітних пускачів.
4. Електричні схеми дистанційного керування (рис 1.1)
5. Умови вибору контакторів та магнітних пускачів
6. Висновки

Література

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. -М.: Энергоатомиздат, 1987-648с.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс - М.: Энергоатомиздат, 1988-720с.
3. Электрическая часть электростанций /Под ред. С.В. Усова Л.: Энергоатомиздат. 1987-616с.
4. Электрическая часть станций и подстанций /Под ред. А.А. Васильева М.: Энергоатомиздат 1990-576с.

Лабораторна робота № 2

КОМУТАЦІЙНІ АПАРАТИ НАПРУГОЮ ПОНАД 1000 В

Мета роботи: вивчити конструкції, призначення та принципи роботи комутаційних апаратів напругою понад 1000 В, їх технічні характеристики, приводи, умови вибору та перевірки, умовні позначення апаратів на електричних схемах.

Загальні відомості

Вимикач навантаження – це триполюсний високовольтний комутаційний апарат, розрахований на вимикання номінального струму. Він не призначений для вимикання струму КЗ, але його вмикальна здатність відповідає електродинамічній стійкості при КЗ.

Вимикачі навантаження застосовують у приєднаннях силових трансформаторів на боці вищої напруги замість силових вимикачів якщо це можливо за умовами роботи електроустановки. Для вимикання струмів КЗ застосовують високовольтні запобіжники (ПКТ), які встановлюються на одній рамі з вимикачем навантаження та вмикаються послідовно з ним.

У вимикачах навантаження для гасіння дуги використовуються камери з автогазовим, електромагнітним, елегазовим дуттям та вакуумними елементами. Найбільш поширеними є вимикачі, які використовують автогазовий спосіб гасіння дуги. У лабораторії є зразок вимикача навантаження ВНз-16 (на номінальну напругу 10 кВ та номінальний струм 200 А, із уземлювальними ножами). Вимикач має систему головних та дугогасильних контактів. При вимиканні спочатку розмикаються головні, а потім дугогасильні контакти. Корпус дугогасильної камери виготовлений з пластмаси і складається з двох половин, стягнутих гвинтами. Усередині корпусу розташовані два вкладиші з газогенерувального матеріалу (органічне скло, вінілпласт).

Керування вимикачем здійснюється ручним важільним приводом з вбудованим електромагнітом для дистанційного вимикання. Вимикання вимикача відбувається під дією пружин, які заводяться при вмиканні. Без заміни вкладишів вимикач допускає 75 вимикань номінального струму 200 А, а також 3 вимикання струму 400 А.

Окрім ВНз-16, раніше промисловість випускала вимикачі навантаження ВН-16 (без уземлювальних ножів), ВНП-16 (із запобіжниками ПК), ВНПз-16 (із запобіжниками та уземлювальними ножами), ВНП-17 (із запобіжниками та пристроєм вимикання вимикача при згоранні одного із запобіжників).

Тепер промисловість випускає вимикачі навантаження на напругу 10 кВ та номінальний струм 400 А – ВНР-10 (з ручним приводом), ВНРп-10 (із запобіжниками ПКТ), ВНПу-10 (з пружинним приводом та посиленою контактною системою), ВНПуп-10 (із запобіжниками ПКТ). Ці вимикачі допускають 50 вимикань струму 400 А без заміни вкладишів.

Роз'єднувач – це комутаційний апарат, призначений для утворення видимого розриву, для перемикання приєднань розподільного пристрою в нормальних умовах з однієї системи збірних шин на іншу без перерви струму та для комутації дуже малих струмів ненавантажених силових трансформаторів та коротких ліній, нейтралей трансформаторів і уземлювальних дугогасильних реакторів, якщо у мережі нема замикання на землю.

Роз'єднувачі за кількістю полюсів можуть бути однополюсними та триполюсними, за родом установки – для внутрішніх та зовнішніх установок, за конструкцією – вертикально-поворотні, горизонтально-поворотні, хиткого типу, з прямолінійним зворотно-поступним рухом опорного ізолятора разом із закріпленим на ньому рухомим контактом, пантографічні, підвісні та ін.

Уземлювальні ножі, як елемент конструкції роз'єднувача можуть прибудовуватися до нього з одного чи обох його боків. Рухомі частини головної та уземлювальної контактних систем роз'єднувача повинні бути заблоковані (як правило, механічно) так, щоб запобігти одночасному вмиканню головних та уземлювальних ножів.

Для внутрішніх установок з напругою не вище 20 кВ найбільш поширені роз'єднувачі вертикально-поворотного типу. Щоб збільшити динамічну стійкість під час короткого замикання рухомі контакти (ножові) виготовляють з двох штаб та в місцях контакту використовують магнітні замки (дві сталеві шпильки та пласкі пружини). Роз'єднувачі однополюсні серії РВО складаються з цоколя (швелер), опорних ізоляторів та струмопроводу. Струмопровід утворюється двома однаковими нерухомими контактами та рухомим ножем, який їх з'єднує. Ніж повертається на кут 75° і у вимкнутому положенні утримує-

ться власною вагою та тертям у контактах. Триполюсні роз'єднувачі внутрішньої установки РВ – це три струмопроводи, які змонтовані на одній рамі із загальним валом та приводним важелем. Роз'єднувачі РВЗ в залежності від варіанта виконання мають один чи два вали із уземлювальними ножами.

Роз'єднувачі цього типу можуть випускатися і з прохідними ізоляторами замість опорних (серії РВФ та РВФЗ) з аналогічними технічними характеристиками.

На номінальні струми до 8000 А розраховані роз'єднувачі серії РВР. Нерухомі контакти їх складаються з двох швелероподібних частин, контактні ножі виготовляються з міді коробчастого перерізу і розташовуються попарно у два поверхи полицями назовні.

На номінальний струм 12500 А виготовляються роз'єднувачі серії РВП (з поступним рухом контактних ножів). Перевагою конструкції є малий момент на валу, що забезпечується системою кулачків, яка зв'язана з рухомим ножем полюса. Ця система знімає контактний натиск перед початком руху ножа на вимикання та утворює його після закінчення руху на вмикання.

Для зовнішньої установки широко використовуються роз'єднувачі горизонтально-поворотного типу РНД і РНДЗ. У них вмикання та вимикання полюса здійснюється або обертанням одного ізолятора, на якому встановлений ніж або одночасним обертанням обох ізоляторів, які зв'язані між собою тягелями.

Значне зменшення площі відкритого розподільного пристрою досягається застосуванням підвісних роз'єднувачів (РП, РПД). Можливе поєднання роз'єднувачів цього типу з яким-небудь апаратом, наприклад з трансформатором струму, опорна ізоляція якого використовується для кріплення нерухомого контакту.

Віддільник – це звичайний триполюсний роз'єднувач.

Віддільники серії ОД відрізняються від роз'єднувачів серії РНД тільки приводом. Вони мають пружинні приводи, які спрацьовують при поданні відповідної команди на вимикання. Вмикання здійснюється вручну. Час вимикання складає $0,4 \div 0,5$ с.

Короткозамикач – це апарат для утворення штучного КЗ в електричному колі. Вони разом з віддільниками раніше використовувалися в спрощених схемах підстанцій. Короткозамикач має один опорний ізолятор, на верхньому торчаку якого закріплюють нерухомий контакт і затискач для приєднання дроту. Рухомий контакт з пружинним

приводом уземлює одну фазу (при $U=35$ кВ – дві фази) за ручною командою або від релейного захисту. Пружинний привод вмикає короткозамикач за $0,15 \div 0,4$ с. Вимикання здійснюється вручну.

Замість віддільників і короткозамикачів відкритого типу розроблені відповідні апарати, у яких контактна система розташована в камері, заповненій елегазом. Час спрацювання $0,15$ с.

Уземлювач – це апарат для уземлення окремих ділянок електричного кола. Триполюсні уземлювачі внутрішньої установки на номінальні напруги 10, 24 та 35 кВ призначені для уземлення вимкнутих ділянок екранованих струмопроводів. Вони мають врубні контактні ножі коритоподібного перерізу. Однополюсний уземлювач зовнішньої установки ЗОН-110 призначений для уземлення нейтралі силових трансформаторів. Однополюсні уземлювачі зовнішньої установки серії ЗР на напруги 330, 500 і 750 кВ призначені для уземлення нерухомих контактів підвісних роз'єднувачів.

Вимикачі високої напруги призначені для комутації кіл змінного струму напругою понад 1000 В у будь-яких режимах експлуатації: вмикання та вимикання номінальних струмів, струмів КЗ, струмів марного ходу силових трансформаторів та ємнісних струмів конденсаторних батарей і довгих ліній. Це найбільш складні та дорогі апарати.

Конструктивні особливості вимикачів та їх характеристики визначаються принципом гасіння дуги, а також середовищем, у якому дуга горить у процесі вимикання.

В оливних вимикачах дуга, що виникає між контактами при їх розмиканні, горить в трансформаторній оливі. Під впливом енергії дуги олива розкладається та випаровується, утворюється газопаровий пухир, який містить до 70% водню. Тиск усередині пухиря досягає $0,5 \div 1$ МПа, що підвищує деіонізувальну здатність газів. В залежності від способу ізоляції струмовідних частин розрізняють бакові вимикачі та малооливні. В бакових вимикачах (С-35, У-110, У-220) олива використовується і як газогенерувальна речовина, і як ізоляція контактної системи від уземленого бака. В малооливних вимикачах олива використовується тільки як газогенерувальна речовина. Для ізоляції струмовідних частин використовують порцеляну, склопластик, текстоліт та інші тверді ізоляційні матеріали. Промисловість випускає малооливні вимикачі для номінальних напруг від 6 до 220 кВ для внутрішньої та зовнішньої установки (ВІМ-10, ВММ-10, ВМПЭ-10, ВК-10, ВКЭ-10. МГГ-10, МГУ-20, ВМКЭ-35, ВМТ-110, ВМТ-220).

Малооливні вимикачі на номінальні струми понад 1600 А мають звичайно два контури струму (головний та дугогасильний).

В пневматичних вимикачах гасіння дуги відбувається стисненням повітрям, яке знаходиться у баку під тиском $2 \div 4$ МПа. При вимиканні стиснуте повітря з баку спрямовується в дугогасильний пристрій та, обдуваючи дугу, викидається в атмосферу. Ізоляція струмовідних частин між собою здійснюється за допомогою твердих діелектриків та повітря. Використовують поперечне або поздовжнє дуття.

Пневматичні вимикачі напругою від 110 до 1150 кВ проєктують серіями та збирають з уніфікованих частин, з яких найважливішим є дугогасильний модуль з двома розривами, розрахований на певну умовну напругу порядку $100 \div 250$ кВ в залежності від тиску повітря. Кількість модулів, які з'єднуються послідовно, вибирають у відповідності до номінальної напруги.

З метою полегшення вимикачів при надвисоких напругах використовують підвісний варіант. Баки зі стиснутим повітрям та дугогасильними пристроями підвішуються на гірляндах дешевих тарілчастих ізоляторів.

Вимикачі ВВГ призначені для кіл потужних генераторів і розраховані на номінальний струм до 20 кА (номінальний струм відключення 160 кА, тиск повітря 2 МПа). Такі вимикачі запроектовані за схемою з відкритим віддільником і призначені для внутрішньої установки.

Широко використовуються в установках напругою $110 \div 500$ кВ вимикачі з повітрянаповненими віддільниками (ВВШ, ВВН, ВВ). У вимкнутому положенні вимикача його віддільник заповнений стисненим повітрям (2 МПа). Кожний полюс вимикача має власну електропневматичну схему керування. Вимикачі відрізняються один від одного в залежності від номінальної напруги кількістю ізоляторів в опорних колонках, кількістю шунтувальних резисторів та конденсаторів.

Вимикачі серії ВВБ випускаються на напруги від 110 до 750 кВ (тиск повітря 2 чи 2,6 МПа). Дугогасильний модуль з двома розривами та однобічним дуттям має умовну напругу 110 кВ. Вимикачі мають електропневматичну систему керування. Власний час вимикання у вимикачів цієї серії менше ніж у вимикачів з повітрянаповненими віддільниками. Це пояснюється розташуванням контактної системи у середині ізольованого від землі резервуара стисненого повітря. Вимикачі ВВБК (крупномодульні) працюють при тиску повітря 4

МПа. У цих вимикачах використовується дугогасильний пристрій з двобічним дуттям, що дозволило збільшити умовну напругу модуля до 250 кВ і зменшити їх кількість. Використання пневмомеханічної системи керування зменшило час вимикання.

Вимикачі серії ВНВ випускають на напругу від 110 до 1150 кВ. Дугогасильний модуль з двома розривами розрахований на умовну напругу 250 кВ при тиску повітря 4 МПа. У ВНВ використовується система керування з передачею руху від привода до рухомих контактів дугогасильного пристрою за допомогою системи важелів та тягелів.

В елегазових вимикачах гасіння дуги здійснюється за рахунок охолодження її елегазом (SF_6 – шестифториста сірка), який рухається з великою швидкістю. Елегаз використовується і як ізолювальне середовище (електрична міцність у 2,5 рази вища ніж у повітря). В елегазових вимикачах використовують автопневматичні дугогасильні пристрої, у яких газ під час вимикання стискається поршневим пристроєм і спрямовується у зону дуги.

Елегазовий вимикач – це замкнена система без виходу газу назовні. У лабораторії є плакат з елегазовим вимикачем LTB-145 концерну АВВ.

Сфера використання електромагнітних вимикачів обмежена напругою 10÷15 кВ. Дуга, що виникає на контактах, утягується магнітним полем до гасильної камери, яка складається із низки керамічних дугостійких пластин з V-подібними вирізами. Між пластинами утворюються невеликі повітряні проміжки. Завдяки цьому довжина дуги значно збільшується (до 1÷2 м), а переріз її у вузьких місцях пластин зменшується. Це веде до збільшення втрат енергії та градієнта напруги, що сприяє гасінню дуги. Магнітне поле утворюється електромагнітом, котушка якого вмикається послідовно у контур дуги.

У вакуумних вимикачах контакти розходяться у вакуумі (тиск дорівнює 10^{-4} ÷ 10^{-6} Па). При цьому виникає дуга, яка згасає при першому проходженні струму через нуль. Мала густина газу обумовлює надзвичайно високу швидкість дифузії зарядів внаслідок великої різниці густин частинок у дузі та навколишньому просторі – вакуумі. Після проходження струму через нуль за час 10 мкс між контактами відновлюється електрична міцність вакууму. Натиснення рухомого контакту на нерухомий утворюється за рахунок атмосферного тиску. При великих номінальних струмах встановлюється контактна

пружина. У лабораторії є вакуумні вимикачі ВВТЕ-10, ВР1-10, ВБЧ-СП-10, ВВЛ-35, вакуумні високовольні контактори КВМ-10, КВТ-10.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Ознайомитися з класифікацією комутаційних апаратів напругою понад 1000 В.

Вивчити призначення, умовне позначення на схемах, умови вибору та перевірки кожного виду комутаційних апаратів [4, стор. 7-10; 1, стор. 605-606, 618; 2, стор. 290-291, 336-340].

Ознайомитися з класифікацією приводів комутаційних апаратів, розглянути принцип дії приводів різних видів [1, стор. 568-576; 608-610; 2, стор. 340-348].

Розглянути способи гасіння дуги [1, стор. 166-173; 2, стор. 248-249]

Контрольні запитання

1. У чому полягає автогазовий принцип дуття?
2. Що таке магнітний замок?
3. Намалюйте схему та поясніть принцип роботи короткозамикача та віддільника.
4. Чому існує так багато різновидів роз'єднувачів?
5. Поясніть фізичні процеси під час гасіння дуги у різних типах вимикачів.
6. Назвіть основні параметри вимикачів.
7. Назвіть умови вибору та перевірки комутаційних апаратів.
8. Які приводи використовуються для керування вимикачами?
9. Наведіть графічне позначення на схемах різних комутаційних апаратів.

Вказівки з техніки безпеки

Хоча ця лабораторна робота виконується без подання напруги на стенди, студенти повинні серйозно поставитися до вимог техніки безпеки. Існує небезпека отримання механічної травми рухомими елементами комутаційних апаратів та їх приводів.

Порядок виконання лабораторної роботи

За наочними посібниками та лабораторними зразками, використовуючи рекомендовану літературу, вивчити принцип роботи і конструктивні особливості: малооливних вимикачів ВМГ-10, ВМП-10,

ВМП-10, ВК-10, МГТ-10, ВМТ-110; бакових оливних вимикачів С-35, У-110; електромагнітного вимикача ВЕМ-6; вакуумних вимикачів ВВВ-10, ВВТЕ-10, ВВЛ-35, ВР1-10, ВБЧ-СП-10, вакуумних високовольних контакторів КВМ-10, КВТ-10; пневматичних вимикачів ВВГ-20, ВВШ-110, ВВБ-110, ВНВ-220; електричного вимикача ЛТВ-145; роз'єднувачів РВО-6, РВЗ-10, РВФЗ-10, РВП-20, РНДЗ-110, РП-330; віддільника ОДЗ-110; короткозамикача КЗ-220; вимикача навантаження ВНЗ-16;

Записати паспортні дані розглянутих апаратів та зробити ескізи їх деталей: рухомих та нерухомих контактів, дугогасильних камер.

Випробувати роботу напівавтоматичного приводу ПРА-17 вимкнути навантаження ВНЗ-16 та ручного приводу ПР-2 роз'єднувача РВЗ-10 (знайти механічне блокування одночасного вмикання головних і уземлюючих ножів).

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Паспортні дані, ескізи та умовні позначення розглянутих апаратів.
3. Схема підстанції при використанні віддільників та короткозамикачів.
4. Умови вибору та перевірки розглянутих апаратів.

Література

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс -М.: Энергоатомиздат, 1988-720 с.
2. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций - М.: Энергоатомиздат, 1987-648 с.
3. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / Под ред. В.В. Афанасьева- Л.: Энергоатомиздат. 1987-544 с.
4. Электрические аппараты высокого напряжения Под ред. Г.Н. Александрова - Л.: Энергоатомиздат, 1989-344 с.
5. Доморошин С. В. Визначення спрацьованого ресурсу електричного вимикача типу HGF 100/2 за нечіткою моделлю / С. В. Доморошин, П. В. Махлін // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 72-81.

Лабораторна робота №3

ЗАПОБІЖНИКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Мета роботи: вивчити принцип роботи, особливості конструктивного виконання, основні параметри та характеристики запобіжників, умови вибору.

Загальні відомості

Особливістю поняття "захист" електричного кола є те, що апарати захисту не можуть запобігти появі надструмів, а тільки вимикають пошкоджене коло. До захисних апаратів належать запобіжники, автоматичні вимикачі та теплові реле.

Запобіжником називається апарат, призначений для автоматичного одноразового вимикання кола при короткому замиканні або перевантаженні. Вимикання кола запобіжником здійснюється при розтопленні топки вставки, яка нагрівається струмом, що протікає нею. У нормальному режимі тепло, яке виділяється струмом навантаження, передається в навколишнє середовище і температура усіх частин запобіжника не перевищує допустиму. При перевантаженнях та коротких замиканнях температура топки вставки збільшується, що призводить до її розтоплення. Вставка (калібрований провідник) – це послаблена ділянка кола; вона повинна розтопитися раніше, ніж перегріється ізоляція проводів та інших пристроїв. Вставка може виготовлятися з цинку, міді, стопів срібла, алюмінію. Форми та розміри вставок різні для різних запобіжників та значень номінальних струмів.

Запобіжники характеризуються номінальним струмом топки вставки, тобто величиною струму, на яку розрахована топка вставки при тривалій роботі. В один і той же корпус (патрон) запобіжника, можуть встановлюватися топкі вставки на різні номінальні струми, тому сам запобіжник характеризується номінальним струмом запобіжника, який дорівнює найбільшому з номінальних струмів топких вставок, які призначенні для цієї конструкції запобіжника.

Ще одним параметром запобіжника є граничний струм вимикання, тобто найбільший струм, який вимикається запобіжником без будь-якого пошкодження чи деформації.

Основною характеристикою запобіжника є часострумова характеристика, вона характеризує залежність часу топлення (спрацювання) від струму (рис. 3.1). Розбіжність параметрів вставок зумовлює зону розкиду часу спрацьовування запобіжника, що є однією з його вад.



Рисунок 3.1 – Захисна характеристика запобіжника

Запобіжники напругою до 1000В

У лабораторії є зразки запобіжників пробкових різьбових (ПРС), розбірних (ПР-2), з дрібнозернистим наповнювачем розбірних (ПН-2) та нерозбірних (НПН-2), швидкодійних (ПНБ-5, ПП-57).

Запобіжники ПР-2 випускаються на номінальні струми запобіжника 15÷1000 А. Патрон запобіжника складається з товстостінної фібрової трубки, на кінцях якої закріплені мосяжні втулки з різьбою. На втулки нагвинчуються мосяжні ковпачки. Запобіжники на струми від 15 до 60 А мають спрощену конструкцію. Топка вставка просто притискається ковпачком до втулки. Ковпачки є вихідними контактами. У запобіжників на струми понад 60 А топка вставка приєднується до контактних ножів за допомогою болтів. Топка вставка штампується з цинку у вигляді пластини з вирізами (від одного до чотирьох вирізів в залежності від номінальної напруги). При струмах КЗ вставка перегорає одночасно в усіх або кількох звужених місцях. Після перегорання вставки виникає дуга. Під впливом температури дуги фіброві стінки патрона виділяють газ, внаслідок чого тиск у патроні за частки періоду піднімається до 4÷8 МПа, що сприяє гасінню дуги. Граничний струм вимикання не перевищує 20 кА.

Запобіжники ПН-2 випускають на номінальні струми до 630 А, вони більш досконалі ніж ПР-2. Корпус ПН-2 виготовляється з порцеляни або стеатиту. Усередині корпусу розташовані стрічкові топкі вставки та наповнювач. Топка вставка виготовляється з мідної стрічки завтовшки $0,15 \div 0,35$ мм та завширшки до 4 мм. Для зниження температури топлення вставки використовують металургійний ефект – на стрічки міді налютовані кульки олова. Металургійний ефект – це явище розчинення тугоплавкого металу в рідких, менш тугоплавких. У таких запобіжниках, як наповнювач, використовують сухий кварцовий пісок (99% SiO_2) чи крейду CaCO_3 .

При КЗ топка вставка згорає і дуга горить у вузькій щілині, яка утворена зернами наповнювача. Граничний струм вимикання таких запобіжників сягає 50 кА.

Запобіжники НПН2-15 і НПН2-60 подібні до ПН-2, але мають нерозбірний патрон без контактних ножів і розраховані на струми відповідно до 15 та 60 А. Граничний струм вимикання дорівнює 10 кА.

У малогабаритних розподільних пристроях використовуються запобіжники ПРС до 100А, які мають граничний струм вимикання 60 кА.

Швидкодійні запобіжники ПНБ-5 випускаються з топками вставками на струми $40 \div 630$ А та граничним струмом вимикання 150 кА. Патрон ПНБ-5 за конструкцією подібний до ПН-2, але топка вставка виконана із срібла. Окрім цього ПНБ-5 має пристрій для сигналізації спрацювання.

Тепер промисловість випускає запобіжники нових серій з позначенням ПП. Цифри вказують на параметри цієї серії. Наприклад: ПП-17 – запобіжники на номінальні струми 500, 630, 800 і 1000 А з граничним струмом вимикання до 110 кА;

ПП-31 – розроблені замість ПН-2, вони мають алюмінієві вставки на струми від 32 до 1000 А та граничний струм вимикання 100 кА; швидкодійні запобіжники серії ПП-41, ПП-57, ПП-59, ПП-71 та ін.

Ще одним недоліком запобіжників є одноразовість їх дії, тобто необхідність заміни після розтоплення топки вставки чи усього запобіжника.

Запобіжники напругою понад 1000 В

Запобіжники високої напруги поширені значно менше, ніж запобіжники низької напруги. Вони призначені для захисту силових трансформаторів, повітряних та кабельних ліній, конденсаторів, електродвигунів та трансформаторів напруги.

Найбільше поширення мають запобіжники з дрібнозернистим наповнювачем та вихлопного типу.

Запобіжники з кварцовим наповнювачем серії ПК є струмообмежувальними, вони випускаються на напругу 3, 6, 10, 20 та 35 кВ і номінальні струми до 100 А (при більших струмах до кожної фази може бути встановлено до 4 патронів на загальний струм до 400 А). Варіанти виконання: ПКТ – для захисту силових кіл (ліній, трансформаторів), ПКН – для захисту трансформаторів напруги. Патрон запобіжника ПК складається з порцелянової чи скляної трубки, армованої мосяжними ковпачками. Усередині патрона розташовані мідні або срібні топкі вставки. У запобіжниках на номінальні струми до 7,5 А топка вставка намотується на керамічний каркас, при номінальних струмах понад 7,5 А топка вставка виконується у вигляді паралельних спіралей. Для зниження перенапруг при вимиканні використовують вставки змінного перерізу. Для вимикання струмів перевантаження на ступені меншого перерізу налютовують олов'яні кульки. Патрон має показчик спрацювання.

Запобіжник ПКН не має показчика спрацювання. Топка вставка виконується із константанового дроту з чотириступеневим перерізом і намотується на керамічний каркас.

На напругу 10, 35 та 110 кВ та струми до 100 А випускають вихлопні запобіжники ПВТ (стара назва ПСН – стріляльні). Гасіння дуги – автогазове (у трубці з вініпласту). Застосовуються для захисту ліній та трансформаторів на підстанціях споживачів 2 та 3 категорії.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Розглянути способи гасіння дуги, які використовуються у запобіжниках [1, стор. 246-248; 2, стор. 157-167]

Контрольні запитання

1. Який апарат називається запобіжником?
2. Що таке номінальний струм топкової вставки?

3. Що таке номінальний струм запобіжника?
4. Яка характеристика запобіжника називається захисною?
5. Що таке граничний струм вимикання запобіжника?
6. Як вибирається номінальний струм топки вставки?
7. Що таке металургійний ефект?
8. З яких матеріалів виготовляються топки вставки?
9. Які способи гасіння дуги використовуються в запобіжниках?

Порядок виконання лабораторної роботи

За наочними посібниками та лабораторними зразками, використовуючи рекомендовану літературу, вивчити принцип роботи та конструктивні особливості:

- запобіжників ПР-2, ПН-2, НПН-2, ПРС, ПНБ-5, ПП;
- запобіжників ПКТ, ПКН;
- запобіжників ПВТ.

Записати паспортні дані розглянутих запобіжників, зробити ескізи топких вставок різних типів (2-3 зразки).

Вивчити умови вибору запобіжників.

Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Паспортні дані та ескізи топких вставок.
3. Умови вибору топких вставок.
4. Висновки.

Література

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - М.: Энергоиздат. 1987. - 648 с.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс -М.: Энергоиздат, 1988. - 720с.

Лабораторна робота № 4

АВТОМАТИЧНІ ВИМИКАЧІ

Мета роботи: вивчити призначення, конструктивні особливості принцип дії та умови вибору і перевірки автоматичних вимикачів.

Загальні відомості

Автоматичні вимикачі (автомати) виконують одночасно функції захисту та керування, вони призначені для нечастих вмикань електричного кола при нормальному навантаженні, а також для автоматичного вимикання кола при виникненні перевантаження, короткого замикання, зникнення або зменшення напруги.

Розрізняють кілька видів вимикачів: універсальні (працюють на постійному і змінному струмі), установочні (призначені для установки в загальнодоступних приміщеннях), швидкодіючі постійного струму, гасіння магнітного поля генераторів та ін.

Автоматичні вимикачі випускаються для кіл змінного до 660 В та постійною струму до 440 В одно-, дво- та триполюсними на номінальні струми до 6300 А.

Вимикачі складаються з таких основних елементів: контактної системи, дугогасильних камер, розчеплювачів, приводу, механізму вільного розчеплення та допоміжних контактів.

При номінальних струмах до 200 А використовується одна пара контактів, які для підвищення дугостійкості можуть бути облицьовані металокерамікою. При струмах до 200 А використовують двоступеневі контакти, типу контакту, що перекочується, або пари головних і дугогасильних контактів. В автоматах на великі номінальні струми застосовуються кілька паралельних пар головних контактів.

В автоматах широко використовуються деіонні дугогасильні ґратки зі сталевих пластин (ефект втягування дуги магнітним полем та її поділ на короткі дуги). При великих струмах використовуються лабіринтно-щілинні камери та камери з прямою поздовжньою щілиною (ефект гасіння дуги у вузькій щілині).

Вдування дуги до щілини здійснюється магнітним полем. Замикання та розмикання контактної системи вимикача здійснюється приводом, що механічно зв'язаний з рухомими контактами через

механізм вільного розчеплення. Приводи можуть бути ручними та електромеханічними. Ручні використовуються при номінальних струмах до 200 А. При струмах до 1000 А використовують електромагнітні приводи. В автоматах на струми 1500 А та вище може застосовуватися електродвигунний привід.

Головною особливістю конструкції автоматів є наявність механізму вільного розчеплення, що значно прискорює процес вимикання – до 0,04 с (з електронною системою керування – тисячні частки секунди). Завдяки механізму вільного розчеплення автомати вимикаються у будь-який момент часу, навіть у процесі вмикання на існуюче коротке замикання. Автомати вимикаються незалежно від положення приводу і після цього не можуть самодовільно увімкнутися, навіть якщо привод буде утримуватися у положенні вмикання.

Розчеплювачі в автоматі виконують захисні функції. Вони контролюють заданий параметр кола, яке захищається, та, діючи на механізм вільного розчеплення, вимикають автомат при відхиленні значення параметра від встановленого. В залежності від функцій захисту, які виконують розчеплювачі, вони бувають:

- струмові максимальні миттєвої або сповільненої дії;
- розчеплювачі напруги: мінімальні – спрацьовують при зниженні напруги нижче певного рівня; незалежні – для дистанційного вимикання, що спрацьовують при поданні на них відповідної напруги;
- теплові (подібно тепловим реле) – працюють у залежності від сили струму та часу його проходження, використовуються звичайно для захисту від перевантаження (при струмах до 200 А);
- комбіновані – спрацьовують при поєднанні низки чинників;
- напівпровідникові (мають поліпшені експлуатаційні характеристики: широкий діапазон регулювання струмів та часу спрацювання).

На рис.4.1 наведена типова захисна характеристика (обмежено залежна від струму або двоступенева) автоматичного вимикача. У зоні струмів перевантаження (ділянка *ab*) автомат вимикається із залежною від струму витримкою часу, а в зоні струмів КЗ (ділянка *cd*) вимикається струмовою відсідкою з незалежною від струму наперед

встановленою витримкою часу (для селективних автоматів) або без витримки часу (для неселективних автоматів) – мінімальний час вимикання автомата. Більшість автоматів мають максимальний струмовий електромагнітний розчеплювач миттєвої дії (у паспорті позначається літерою М). Величина струму спрацювання може регулюватися натягом протидійної пружини. Уставка спрацювання автоматів різних серій – від 2 до 17 $I_{ном.}$.

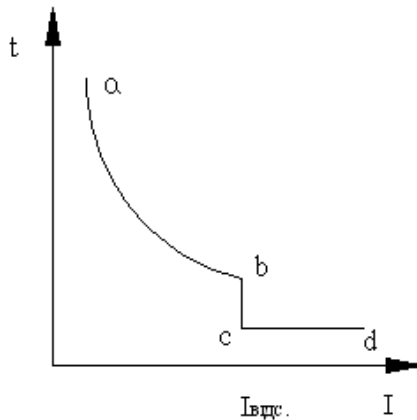


Рисунок 4.1 – Захисна характеристика автомата

Для захисту кола від тривалого перевантаження використовують струмові розчеплювачі інерційної дії з обернено-залежною характеристикою (ділянка ab). Як елементи, що сповільнюють спрацювання струмових розчеплювачів, використовують біметалеві пластини (АП50Б, АЕ2000, А3100, А3700), механічні реле часу з пружиною (АВМ), демпфірування рідиною (гідравлічне сповільнення) в автоматах АК50, АК63, А63, АСТ (у паспорті позначається літерою Г).

Окрім головних контактів вимикачі мають допоміжні контакти, які використовують для комутації кіл керування, сигналізації та блокування.

Звичайно допоміжні контакти механічно зв'язані з головними контактами і можуть бути замкненими чи розімкнутими.

Автомати – це апарати закритого типу, у яких не видно розриву електричного кола, тому згідно з вимогами безпечного обслуговування

встановлюють рубильник з боку збірних шин. Автомати на струми 250 А та вище випускають з роз'ємними контактами (втичне виконання), що дозволяє знімати їх під час ремонту, а при струмах 1000 А та більше – автомати монтуються на спеціальних візках (викотне виконання).

А Автомати серії АП50Б (двополюсні та триполюсні) на струм до 63 А на змінну напругу до 500 В та постійну напругу 220 В випускались у великих кількостях. Автомати цієї серії можуть мати теплові (Т) та електромагнітні (М) розчеплювачі, тільки теплові, тільки електромагнітні, а можуть зовсім не мати розчеплювачів.

А Автомати серії АК63 розраховані на ті ж самі номінальні напруги та струми, що й АП50Б. Але вони мають у 2,5 рази більшу комутаційну здатність. Автомати випускалися одно-, дво- та триполюсними з електромагнітними розчеплювачами максимального струму з гідравлічним сповільненням або без нього. Більша вимикальна здатність (у порівнянні з АП50Б) досягається за рахунок дворазового розриву на полюс та моментного вмикання контактів (швидкість замикання контактів не залежить від оператора).

А Автомати серії А3700 на струми 160÷630 А (третя цифра в позначенні 1 – 160 А, 2 – 250 А, 3 – 400 А, 4 – 630 А) з напругою змінного струму до 660 В, постійного до 440 В випускаються у пластмасовому корпусі з ізолювальними переділами між полюсами у трьох виконаннях: А3700Б – струмообмежувальні з електромагнітними розчеплювачами миттєвої дії та напівпровідниковими розчеплювачами: А3700С – селективні з напівпровідниковими розчеплювачами з регульованою витримкою часу, А3700Ф – нормальної швидкодії з тепловими і електромагнітними розчеплювачами. Вимикачі випускають у двополюсному та триполюсному виконаннях з ручним або малогабаритним дистанційним електромеханічним приводом. Вимикачі можуть бути в стаціонарному чи висувному виконаннях (3-й та 4-й габарит).

Тепер промисловість випускає автомати нових серій, які мають загальне позначення ВА-13 (дво- та триполюсні на номінальні струми 25 А і 63 А з електромагнітними та тепловими розчеплювачами).

Вимикачі серій ВА5Х замінять вимикачі застарілих серій АЕ2000, А3700 та ін., а також серій АВМ та "Електрон" на струми до 1600 А. Серед них:

- ВА51 – не струмообмежувальні з електромагнітними та тепловими розчеплювачами або тільки з електромагнітними;
- ВА52 – струмообмежувальні з електромагнітними та тепловими або тільки з електромагнітними розчеплювачами;
- ВА53 – струмообмежувальні неселективні з напівпровідниковими та з електромагнітними розчеплювачами;
- ВА54 – струмообмежувальні високої комутаційної здатності з напівпровідниковими та електромагнітними розчеплювачами;
- ВА55 та ВА77 – селективні з напівпровідниковими розчеплювачами. Вимикачі ВА77 повністю замінять вимикачі серії АВМ та "Электрон" на струм до 4000 А.

Серія ВА5Х має електромагнітний привод, а ВА77 – електродвигунний.

Автоматичні вимикачі ВА88 призначені для експлуатації в електроустановках з номінальною робочою напругою до 400 В на номінальні струми від 12,5 до 1600 А.

Габарити й вага на 10÷20% менше аналогічних вимикачів.

Автомат працює зі струмообмеженням, це реалізовано за рахунок збільшеної швидкості розриву контактів, динамічна дія магнітного поля й структура дугогасної камери сприяють гасінню дуги в найкоротший час.

Повний діапазон теплових розчеплювачів дає можливість забезпечити селективність при багатоступінчастій системі захисту.

Автоматичний вимикач ВА88-43 забезпечує захист від перевантаження й короткого замикання за допомогою мікропроцесорного розчеплювача надструму. Мікропроцесорний розчеплювач не вимагає окремого живлення й гарантує правильну роботу захисту при струмі навантаження не менше 15% від номінального, навіть при наявності напруги тільки в одній фазі.

Мікропроцесорний розчеплювач має високу точність спрацьовування, надійність і незалежність від температури навколишнього повітря.

Мікропроцесорний розчеплювач містить у собі три трансформатори струму, мікропроцесорний модуль і вимикальну котушку, що впливає безпосередньо на механізм вимикача. Трансформатори струму, установлені усередині корпусу вимикача, живлять розчеплювач і виробляють сигнали, необхідні для виконання

функції захисту. З появою надструму вимикач відключається під впливом вимикальної котушки й замикає контакти сигналізації спрацювання розчеплювача.

Порядок виконання роботи

За наочними посібниками та лабораторними зразками, використовуючи рекомендовану літературу, вивчити конструктивні особливості автоматичних вимикачів (АП, АК, АЕ, А3100, А3700, ВА, АВМ-10Н, ВА55-41, Э25В). Особливу увагу звернути на конструкцію контактної системи, дугогасильної камери, механізму вільного розчеплення, розчеплювачів приводу.

Записати паспортні дані розглянутих автоматів.

Зробити ескізи контактів, дугогасильних камер.

Скласти кінематичну схему найпростішого механізму вільного розчеплення.

Зняти захисну (часострумову) характеристику автомата АЕ2026-10Н. Для цього потрібно скласти на стенді схему за рис.4.2.

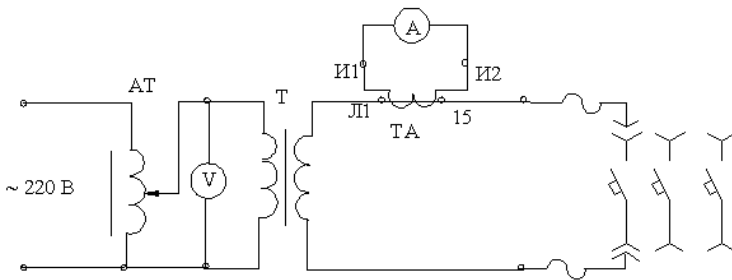


Рисунок 4.2 – Схема для дослідження автомата

Пропускаючи через автомат різні струми фіксувати час вимикання за допомогою секундоміра. Отримані результати записати у табл. 4.1. Побудувати характеристику $t_{\text{спр}} = f(I_p)$.

Таблиця 4.1

I_p				
$t_{\text{спр}}$				

Вивчити умови вибору та перевірки автоматів.

Зміст звіту

1. Тема і мета лабораторної роботи.
2. Паспортні дані автоматичних вимикачів.
3. Захисні характеристики автоматів.
4. Ескізи рухомих та нерухомих контактів, дугогасильних камер.
5. Кінематична схема механізму вільного розчеплення.
6. Електрична схема керування електромагнітним приводом автоматичного вимикача АЗ741Б.
7. Висновки.

Література

1. Рожкова Л.Д. Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций - М.: Энергоатомиздат, 1987-648 с.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс - М.: Энергоатомиздат, 1988-720 с.

Лабораторна робота № 5

ТЕПЛОВІ РЕЛЕ

Мета роботи: вивчити принцип роботи, особливості конструктивного виконання, основні параметри та характеристики теплових реле; засвоїти умови їх вибору та умовне позначення на схемах.

Загальні відомості

Довговічність електричного обладнання значною мірою залежить від перевантажень, яким воно піддається під час роботи. Протікання струму, який перевищує номінальний, призводить до додаткового підвищення температури та додаткового старіння ізоляції. Тому чим більший струм перевантаження, тим меншою повинна бути його тривалість.

Для захисту електрообладнання від струмових перевантажень широко використовують теплові реле з біметалевим елементом. Біметалевий елемент складається з двох пластин з різними коефіцієнтами лінійного розширення α . У місці прилягання одна до одної пластини жорстко з'єднані прокаткою у гарячому стані або зваркою. Якщо такий елемент закріпити з одного боку нерухомо та нагріти, то пластина зігнеться у бік матеріалу з меншим α . Широке застосування в теплових реле отримали такі матеріали як інвар (стоп заліза з 36% нікелю, що має мале значення α) та хромонікельова сталь (велике значення α).

Нагрів біметалевого елемента може відбуватися за рахунок тепла, яке виділяється струмом навантаження у самій пластині чи в спеціальному нагрівачі. Кращі характеристики виходять при комбінованому нагріві, коли пластина нагрівається і за рахунок струму, який проходить нею, і за рахунок тепла, що виділяється спеціальним нагрівачем при проходженні ним того ж струму навантаження або його частини.

Основною характеристикою теплового реле є залежність часу спрацювання (розмикання контакту) від струму навантаження (часо-струмова характеристика). Звичайно вона має гіперболічний характер.

Будь-які теплові впливи інерційні за своєю природою і прогин біметалевої пластини відбувається повільно. Якщо з пластиною безпосередньо зв'язати рухомий контакт, то мала швидкість його руху не забезпечить гасіння дуги при вимиканні кола. Тому дія пластини на контакт передається за допомогою прискорюючих пристроїв, най-

більш досконалим з яких є "стрибальний" контакт (звільнення енергії пружини).

Через інерційність теплового процесу теплові реле непридатні для захисту кіл від коротких замикань.

Номинальний струм реле вибирається рівним номінальному струму об'єкта, що захищають. Спрацювання реле відбувається при $(1,2 \div 1,3)I_{\text{ном}}$. Час спрацювання 20 хвилин. При збільшенні струму час вимикання зменшується.

Основна вимога, що висувається до конструкції теплових реле, це мала залежність установки струму спрацювання від температури навколишнього середовища. Ця вимога задовольняється звичайно шляхом підвищення робочої температури біметалевого пристрою, при якій він спрацюває.

Теплові реле можуть бути однополюсними (ТРП, ТРТ), двополюсними (ТРН) та триполюсними (РТЛ, РТТ).

Двополюсні реле серії ТРН розраховані на номінальну напругу до 660 В та номінальні струми від 3,2 А (ТРН-10) до 40 А (ТРН-40). Такі реле мають два нагрівачі, які діють на свою біметалеву пластину. Обидві пластини діють на один і той самий штовхач. Реле має температурний компенсатор, регулятор струму неспрацювання ($\pm 5\%$), ручне самоповернення та один замкнений контакт.

Триполюсні реле серії РТЛ розраховані на номінальну напругу до 660 В та номінальні струми від 25 А (РТЛ-1000) до 200 А (РТЛ-3000). Реле має температурну компенсацію та ручне повернення. Діапазон регулювання струму неспрацювання $\pm 15\%$. Реле має механізм для прискорення спрацювання при обриванні фази, один розімкнений та один замкнений контакти або лише один замкнений контакт.

Триполюсні реле серії РТТ розраховані на номінальну напругу до 660В та номінальні струми від 16 А до 160 А. Реле має температурну компенсацію та ручне повернення. Діапазон регулювання струму неспрацювання $\pm 15\%$. Реле може мати або один замкнений контакт, або один перемикальний контакт.

На рис. 5.1 наведена схема для дослідження теплового реле КК. Ця схема складається з трьох кіл. Для керування схемою використовують кнопки SB1, SB2 та магнітний пускач КМ. У схемі використовують навантажувальний Т2 та вимірювальний ТА1 трансформатори. Струм у колі теплового реле КК можна встановити, змінюючи напругу на первинній обмотці Т2 автотрансформатором Т1. При підключенні усіх

кіл до джерел живлення струм у кожному колі відсутній. При натисканні на кнопку SB2 на обмотку магнітного пускача КМ подається напруга, він спрацьовує та замикає свої контакти. При цьому з'являється струм у колі теплового реле КК та напруга на секундомірі (РТ), який починає обертатися. Через деякий час теплове реле спрацьовує і розмикає свої контакти КК. При цьому знеструмлюється коло обмотки магнітного пускача КМ, він розмикає свої контакти, струм у колі теплового реле зникає, а секундомір зупиняється.

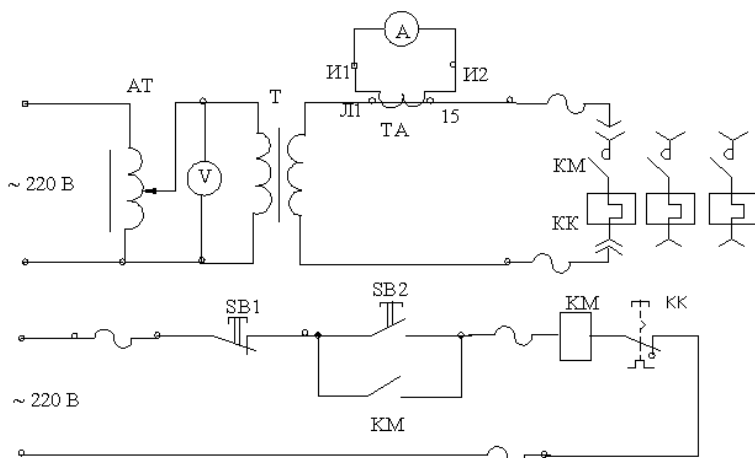


Рисунок 5.1 – Схема для дослідження теплового реле

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Вивчити принцип роботи теплового реле [1, стор. 355-360] Повторити принцип роботи та конструктивні особливості магнітних пускачів [1, стор. 326-331].

Підготувати бланк таблиці для зняття часо-струмової характеристики (табл. 5.1)

Таблиця 5.1 - Результати вимірювань

U, В				
I _н , А				
t _{спр} , с				

Контрольні запитання

1. Яке призначення теплових реле?
2. Які матеріали використовуються для виготовлення біметалевої пластини?
3. Які види нагріву біметалевих пластин використовуються?
4. Яка основна характеристика теплового реле? Який вигляд вона має?
5. Чому не можна використовувати теплові реле для захисту від струмів КЗ?
6. Для чого потрібний "стрибальний контакт"?
7. Яким чином зменшується залежність уставки струму спрацювання від температури навколишнього середовища?
8. Як вибрати теплове реле?

Вказівки з техніки безпеки

Лабораторія відноситься до електроприміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом. З метою детального вивчення елементів та складання схем апарати встановлені на лицевій панелі стенда. Усі дослідження відбуваються при небезпечній для життя напрузі 220 В змінного струму. Вивчення стенда, складання та розкладання схем повинні відбуватися при вимкнутій напрузі. Подачу напруги у лабораторію здійснює тільки викладач (після попередження усіх студентів). Студенти вмикають стенд, після того, як викладач перевірить зібрані схеми. Після виконання роботи студенти вимикають стенд та з дозволу викладача розкладають схему.

Порядок виконання роботи

За наочними посібниками та лабораторними зразками, використовуючи рекомендовану літературу, вивчити принцип роботи та конструктивні особливості теплових реле ТРН, ТРП, РТТ , РТЛ та ін.

Записати паспортні дані розглянутих теплових реле. Зробити ескізи біметалевих елементів, стрибальних контактів. Зняти часострум-ову характеристику реле РТЛ-1006. Для цього потрібно скласти на стенді схему за рис. 5.1. Увімкнути стенд і встановити задану напругу на первинній обмотці Т2, натиснути кнопку SB2, виміряти струм та час спрацювання теплового реле. Через 5 хвилин після спрацювання теплового реле (час потрібний для охолодження біметалевого елемента) встановити наступну напругу на Т2 і знову натиснути кнопки SB2. Виміряти струм та час спрацювання. Отримані результати записати у табл. 5.1. Побудувати характеристику $t_{\text{спр}}=f(I_p)$

Зміст звіту

1. Тема та мета лабораторної роботи.
2. Паспортні дані розглянутих теплових реле.
3. Ескізи біметалевих елементів та стрибальних контактів.
4. Схема для дослідження теплового реле та таблиця з результатами вимірювань.
5. Отримана часострум-ова характеристика $t_{\text{спр}}=f(I_p)$.
6. Висновки.

Література

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. - М.: Энергоатомиздат, 1988-720 с.

Лабораторна робота № 6

АПАРАТИ ЗАХИСТУ ВІД ПЕРЕНАПРУГ

Мета роботи: вивчити принцип роботи, особливості конструктивного виконання, параметри та характеристики апаратів, які використовуються для захисту електричних установок та ліній електропередач від перенапруги.

Загальні відомості

Під перенапругою розуміють підвищення до небезпечних для ізоляції значень напруги відносно землі. Перенапруги бувають грозові (атмосферні) та внутрішні.

Грозові перенапруги виникають при ударі блискавки в електроустановку (перенапруга прямого удару) або поблизу неї у землю (наведена). Тривалість грозових перенапруг – біля 100 мкс.

Внутрішні перенапруги поділяють на резонансні та комутаційні. Резонансні перенапруги виникають внаслідок зміни співвідношень між індуктивностями та ємностями кола при несприятливому сполученні схеми, параметрів та режиму мережі, що призводить до появи резонансу напруг. Резонансні перенапруги можуть існувати тривалий час, аж до зміни схеми чи режиму.

Комутаційні перенапруги виникають при нормальних та аварійних комутаціях та пошкодженнях (планові вмикання та вимикання ненавантажених ліній, реакторів та ненавантажених трансформаторів; аварійні розриви електропередачі в процесі ліквідації короткого замикання чи асинхронного ходу, АПВ). Комутаційні перенапруги тривають від кількох тисячних до кількох сотих часток секунди.

Захист від перенапруг здійснюється розрядниками або обмежувачами перенапруг.

Основним елементом розрядника є іскровий проміжок. Вольт-секундна характеристика цього проміжку повинна лежати нижче вольт-секундної характеристики обладнання. При появі перенапруги проміжок повинен пробитися раніше, ніж ізоляція обладнання. Після пробоя лінія уземлюється через опір розрядника. При цьому напруга на лінії визначається струмом, який проходить через розрядник, опорами розрядника та уземлення. Чим менше ці опори, тим ефективніше обмежуються перенапруги. Під час пробоя через розрядник протікає імпульс струму.

Напруга на розряднику при протіканні імпульсу струму певної величини та форми називається напругою, яка залишається. Чим менше ця напруга, тим краще якість розрядника. Після проходження імпульсу струму через розрядник протікає струм промислової частоти, який називається супроводжувальним.

До розрядників висуваються такі вимоги:

- вольт-секундна характеристика розрядника повинна бути поголою та йти нижче характеристики об'єкта захисту;
- іскровий проміжок розрядника повинен мати певну гарантовану електричну міцність при промисловій частоті (50 Гц) та імпульсах;
- напруга, яка залишається на розряднику, не повинна сягати небезпечних для ізоляції обладнання значень;
- супроводжувальний струм частотою 50 Гц повинен вимикатись за мінімальний час;
- розрядник повинен допускати велику кількість спрацювань без огляду та ремонту.

Трубчасті розрядники – це два електроди (один у вигляді кільця, інший – стрижня), які розташовані у фібробакелітовій (РТФ) або вінілпластовій (РТВ) трубці, яка закрита з одного боку металевою кришкою. Розрядник має два проміжки (внутрішній – між електродами та зовнішній – між трубкою та проводом фази). При впливі імпульсу грозової перенапруги обидва проміжки пробиваються і імпульсний струм відводиться у землю. При протіканні слідом за імпульсним супроводжувального струму під впливом високої температури дугового розряду відбувається розклад матеріалу трубки, виділення газу та підвищення тиску. Гази спрямовуються до відкритого кінця трубки та утворюють поздовжнє дуття, яке спричиняє гасіння дуги при проходженні струму через нуль. Для трубчастих розрядників встановлюються верхня та нижня межі струмів вимикання в залежності від розмірів внутрішнього каналу трубки рубки. Верхня межа обумовлена механічною міцністю корпусу розрядника, нижня – тиском, що залежить від струму вимикання, при якому забезпечується надійне гасіння дуги супроводжувального струму.

Розрядники РТФ випускаються на напругу 3, 6, 10, 35 та 110 кВ, а РТВ – 10, 20, 35 кВ. На напругу 110 кВ випускають розрядник з

комбінованою трубкою (зовні склопластик, усередині – вініпласт) РТВС-110.

Основними недоліками трубчастих розрядників є нестабільні характеристики, наявність зони вихлопу та крута вольт-секундна характеристика.

Вентильні розрядники складаються з одного чи кількох іскрових проміжків, увімкнутих послідовно з робочим резистором з нелінійною вольт-амперною характеристикою. В деяких розрядниках паралельно іскровим проміжкам приєднуються шунтувальні резистори та конденсатори. Шунтувальні резистори вирівнюють розподіл за іскровими проміжками напруги промислової частоти, що повільно змінюється у часі та внутрішніх перенапруг. Шунтувальні конденсатори використовуються як для вирівнювання напруги, так і для регулювання вольт-секундної характеристики іскрових проміжків, головним чином при впливі на них грозових перенапруг.

При появі перенапруги пробиваються іскрові проміжки і через них та нелінійний резистор починає протікати на землю спочатку імпульсний, а потім супроводжувальний струм. При протіканні максимального струму грозової перенапруги опір резистора повинен бути мінімальним, а при протіканні супроводжувальних струмів нелінійний резистор повинен збільшувати опір, тим самим зменшувати струм до значень, при яких іскрові проміжки будуть надійно гасити дугу супроводжувального струму.

Нелінійні резистори виготовляються з матеріалів на основі карбїду кремнію з питомим опором біля 10^{-2} Ом·м. На поверхні зерен SiC утворюється плівка оксиду кремнію завтовшки 10^{-7} м, опір якої залежить від прикладеної до неї напруги. При невеликих напругах питомий опір плівки складає $10^4 \div 10^6$ Ом·м. При зростанні напруги опір плівки різко зменшується, опір визначається в основному зернами карбїду кремнію. Резистори виготовляються у вигляді дисків діаметром $0,1 \div 0,15$ м і заввишки $(10 \div 60)10^{-3}$ м. Торцові площини дисків металізуються алюмінієм. Бічна поверхня дисків вкривається обмазками, які захищають диски від перекриття уздовж поверхні.

Для зв'язування зерен карбїду кремнію використовують як матеріали, що не потребують високих температур випалу, так і такі, що потребують високих температур випалу (понад 1000°C). До першої групи матеріалів відноситься віліт, до другої – тервіт та тіріт. Віліт та

тервіт використовуються для виготовлення послідовних резисторів, а тіріт – для шунтувальних резисторів.

В розрядниках використовують іскрові проміжки таких типів: з нерухомою дугою; з дугою, яка обертається; з дугою, яка розтягується.

Промисловість випускає такі серії розрядників: РВП – підстанційні, РВС – станційні, РВО – полегшені, РВМ – магнітні, РВМГ – магнітні грозові, РВМК – магнітні комбіновані, РВТ – струмообмежувальні, РВРД – з дугою, яка розтягується.

Розрядники всіх класів напруг за захисними властивостями поділені на чотири групи: I – серії РВТ і РВРД (іскрові проміжки з дугою, яка розтягується), II – серії РВМ, РВМГ (іскрові проміжки з дугою, яка обертається), III – серії РВС (іскрові проміжки з нерухомою дугою), IV – серії РВП, РВО (іскрові проміжки з нерухомою дугою). Найкращі властивості мають розрядники I групи, а найгірші IV групи.

Розрядники РВМК призначені для захисту електроустановок від грозових і внутрішніх перенапруг, тому вони називаються комбінованими. Вони мають проміжки з дугою, яка обертається, та нелінійні резистори на основі тервіту. Електрична схема з'єднання робочих елементів наведена на рис. 6.1.

При спрацюванні розрядника РВМК від внутрішніх перенапруг пробиваються іскрові проміжки основних елементів ОЕ і струм іде через основні елементи ОЕ та нелінійні резистори R. При спрацюванні розрядника від грозових перенапруг спочатку пробиваються іскрові проміжки ОЕ і струм проходить через ОЕ та R. Як тільки амплітуда імпульсу струму досягне приблизно 2000 А, падіння напруги на R спричиняє пробій елементів ІІІ, резистори R шунтуються і напруга на розряднику знижується.

Розрядники серії РВТ розроблені на напругу $3 \div 10$ та $110 \div 500$ кВ. У них використовуються струмообмежувальні іскрові проміжки з дугою, яка розтягується, та нелінійні тервітові резистори. Схема РВТ наведена на рис.6.2. Іскрові проміжки ІІІ з'єднані послідовно з котушками магнітного дуття КМ. Для захисту ізоляції КМ від підвищених напруг паралельно їм вмикаються обхідні іскрові проміжки ОІІ.

У розрядників серії РВРД використовуються постійні магніти на основі барійових феритів. Це підвищує ефективність гасіння дуги.

Після обриву імпульсного струму і гасіння дуги супроводжувального струму в ОІІ супроводжувальний струм

промислової частоти починає протікати через КМ, які утворюють магнітне поле, під дією якого і відбувається гасіння дуги супроводжувального струму.

У розрядників серії РВРД замість котушок магнітного дуття використовуються постійні магніти на основі барійових феритів (рис. 6.3.). Це підвищує ефективність гасіння дуги.

На основі оксиду цинку, який має дуже різку нелінійність вольт-амперної характеристики, розроблена серія нелінійних обмежувачів перенапруг (ОПН) на номінальну напругу 110 ÷ 500 кВ. ОПН має коефіцієнт нелінійності $\alpha=0,04$ (проти 0,1 ÷ 0,2 для віліту). Він вмикається паралельно об'єкту захисту без розрядних проміжків і обмежує комутаційні та атмосферні перенапруги. Габаритні розміри та маса ОПН набагато менша, ніж у звичайних вентилях розрядників того ж класу напруги.

Тепер "Таврида Електрик ЛТД" (М.Севастополь) виготовляє ОПН на різні напруги.

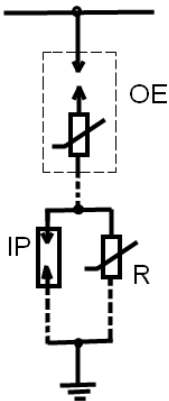


Рисунок 6.1.
- Схема РВМК.

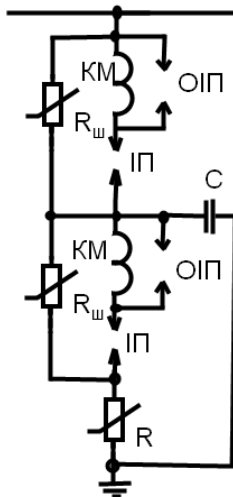


Рисунок 6.2
- Схема РВТ.

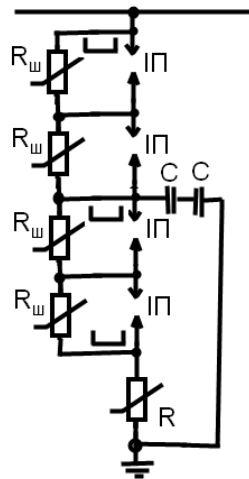


Рисунок 6.3
- Схема РВРД

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Розглянути причини виникнення перенапруг, [1, стор. 629-631]

Вивчити принцип роботи трубчастих розрядників, вентильних розрядників та обмежувачів перенапруг нелінійних [1, стор. 63 1-640]

Контрольні запитання

1. Що таке перенапруга? Які види перенапруг Ви знаєте?
2. Що таке вольт-секундна характеристика?
3. Що таке супроводжувальний струм?
4. Що таке напруга, яка залишається?
5. Які вимоги висуваються до розрядника?
6. Поясніть принцип дії трубчастого розрядника.
7. Поясніть принцип дії вентильного розрядника.
8. Яке призначення шунтувальних резисторів і конденсаторів?
9. Які переваги має ОПН?

Порядок виконання лабораторної роботи

За лабораторними зразками та рекомендованою літературою вивчити принцип роботи та конструктивні особливості трубчастих розрядників РТФ, РТВ; вентильних розрядників РВТ, РВС, РВО, РВП, РВМ, РВРД, РВМК; обмежувачів перенапруг нелінійних.

Записати паспортні дані, зробити ескізи іскрових проміжків (з нерухомою дугою; з дугою, що обертається; з дугою, що розтягується).

Зміст звіту

1. Тема та мета роботи.
2. Умовне позначення розрядників та обмежувачів перенапруг на електричних схемах.
3. Паспортні дані розглянутих апаратів.
4. Ескізи іскрових проміжків.
5. Схеми РВМК, РВТ, РВРД (рис. 6.1.-6.3.)
6. Висновки.

Література

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. -М.: Энергоатомиздат, 1988-720 с.

Лабораторна робота № 7

ТРАНСФОРМАТОРИ СТРУМУ

Мета роботи: вивчити принцип роботи, конструктивні особливості, електричні схеми та сферу застосування вимірювальних трансформаторів струму, засвоїти умови їх вибору та умовне позначення на схемах, дослідити залежність похибки трансформатора струму від вимірювального струму та від навантаження вторинної обмотки.

Загальні відомості

Вимірювання параметрів електричної енергії та приєднання реле захисту при великих струмах, а також при напругах понад 1000 В неможливе без застосування спеціальних перетворювачів – вимірювальних трансформаторів струму (позначення ТА). Змінюючи масштаб струму, ці трансформатори одночасно здійснюють гальванічну розв'язку кіл – відокремлюють кола високої напруги від вимірювальних кіл.

ТА перетворюють первинний струм (номінальний) у стандартну величину вторинного струму 5 А (при $U \geq 110$ кВ – також і 1 А). Найбільше поширення отримали електромагнітні ТА, які складаються з магнітопроводу та первинної і вторинної обмоток. Первинна обмотка може бути у вигляді стрижня, шини чи пакета шин (ТПОЛ, ТШЛ, ТЛШ). Одновиткові ТА застосовуються при струмах понад 400 А. При первинних струмах понад 2 кА застосовуються шинні ТА, у яких первинною обмоткою слугує пакет шин розподільного пристрою, що проходить через вікно магнітопроводу. При малих струмах (нижче 400 А) використовують багатовиткові первинні обмотки – у вигляді котушки (ТК), чи петлі з кількох витків (ТПЛ). Одновиткові ТА використовуються також як вбудовані в інші апарати – вимикачі, силові трансформатори.

Особливу групу складають трансформатори струмів нульової послідовності, які застосовуються у схемах контролю ізоляції у кабельних мережах 6, 10 кВ та колах генераторної напруги.

На відміну від звичайних ТА, первинна обмотка яких вмикається послідовно з фазою, ТА нульової послідовності являють собою магнітопровід з вторинною обмоткою, який охоплює усі три фази кабелю (ТЗЛ) або шинопроводу (ТНШП). Струм у вторинній обмотці з'являється тільки при несиметрії трьох фазних струмів.

Більшість ТА на напругу 0,66...24 кВ виконані у вигляді блока, залитого компаундом (лита ізоляція – літера Л в позначенні типу: ТЛ, ТШЛ, ТОЛ тощо).

Для зовнішньої установки ($U \geq 35$ кВ) обмотки ТА розташовують у порцеляновому циліндрі, який заповнюється трансформаторною оливою (наприклад, ТФЗМ – трансформатор струму з порцелянковою ізоляцією, заповнений оливою, з обмотками ланкового типу).

Режим роботи ТА близький до режиму короткого замикання.

Вторинні обмотки усіх трансформаторів струму з метою безпеки обслуговування повинні бути уземлені на випадок пробою ізоляції між обмотками ВН і НН. Слід пам'ятати одну особливість ТА: при проходженні струму у його первинній обмотці не можна залишати розімкнутою вторинну обмотку, бо на її кінцях внаслідок зникнення магнітного потоку, який протидіє магнітному потоку, створюваному первинною обмоткою, з'являється підвищена та небезпечна напруга.

Основними параметрами ТА є такі: номінальна напруга, номінальні первинний та вторинний струми, номінальний коефіцієнт трансформації, клас точності, номінальне навантаження.

У реальних ТА внаслідок недосконалості конструкції та втрат у магнітопроводі та обмотках виникають похибки, які знижують точність вимірювань. Розрізняють похибку струму у відсотках, та кутову похибку, яка визначається кутом δ між векторами первинного I_1 та вторинного I_2 струмів.

$$\Delta I\% = \frac{I_2 \cdot K_{TA} - I_1}{I_1} 100$$

де K_{TA} – номінальний коефіцієнт трансформації;

I_1, I_2 – струм у первинній та вторинній обмотках.

ТА виготовляють з класами точності 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10.

Ці цифри являють собою струмову похибку у відсотках номінального струму при навантаженні первинної обмотки струмом $100 \div 120\%$ для перших чотирьох класів та $50 \div 120\%$ для трьох останніх. Для класів 0,1; 0,2; 0,5 та 1 нормується також кутова похибка. Похибка ТА залежить від вторинного навантаження (опір приладів проводів та контактів) та від первинного струму. Номінальним навантаженням ТА називають найбільшу потужність S при якій він працює у вищому класі точності.

Клас точності ТА визначається їхнім призначенням. ТА призначені для лабораторних вимірювань повинні мати клас точності 0,1 або 0,2. Якщо до ТА приєднуються розрахункові лічильники електроенергії, то клас точності повинен бути не нижче 0,5; у разі приєднання тільки щитових вимірювальних приладів достатньо класу точності 1, а інколи (амперметр у колі секційного або шиноз'єднувального вимикача) можна прийняти ТА з класом точності 3, решта – тільки для пристроїв релейного захисту.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Вивчити принцип роботи трансформатора струму, його векторну діаграму та схеми вмикання у комплектах [1, стор. 348-353; 2, стор. 640-664].

Вивчити умови вибору та перевірки трансформаторів струму [1, стор. 373-375; 2, стор. 664-665].

Підготувати бланки таблиць.

Таблиця 7.1 - Залежність похибки від величини первинного струму

I_1, A	10	20	30	40	50
I_2, A					
$\Delta I\% = \frac{I_2 \cdot K_{TA} - I_1}{I_1} 100$					

Таблиця 7.2. - Залежність похибки від вторинного навантаження

R_2, Ω	0	0, 5	1	2	3
I_2, A					
$\Delta I\% = \frac{I_2 \cdot K_{TA} - I_1}{I_1} 100$					

Контрольні запитання

1. Які функції ТА в електричних мережах?
2. Що таке клас точності ?
3. Назвіть умови, при яких нормуються похибки ТА?
4. Як компенсують струмову та кутову похибки ТА?
5. Чому режим розімкнутої вторинної обмотки для ТА є аварійним?

6. З якою метою уземлюють один з кінців вторинної обмотки ТА?
7. Які умови вибору ТА та їх перевірки?
8. Які схеми з'єднань ТА у комплектах Ви знаєте?

Матеріали, прилади, обладнання

У лабораторній роботі досліджують трансформатор струму ТКМ-0,5 (клас 0,5, коефіцієнт трансформації 30/5). Схема стенда наведена на рис. 7.1. у схемі використовують лабораторний автотрансформатор Т1 (струм навантаження $I_H \leq 4,5$ А), навантажувальний трансформатор Т2 (220/3.5 В). Як зразковий (1ТА) використовується лабораторний трансформатор типу УТТ-0,5 (клас 0,2 коефіцієнт трансформації 50/5). У вторинне коло 2ТА (ТКМ-0,5) підключають астатичний амперметр (на столі) з двома межами вимірювання 5А (до $I_1 \leq 30$ А) та 10А (при $I_1 \geq 30$ А), а у вторинне коло 1ТА (УТТ-0,5) підключають амперметр Э377 (клас 1,5; діапазон вимірювання 0-50А).

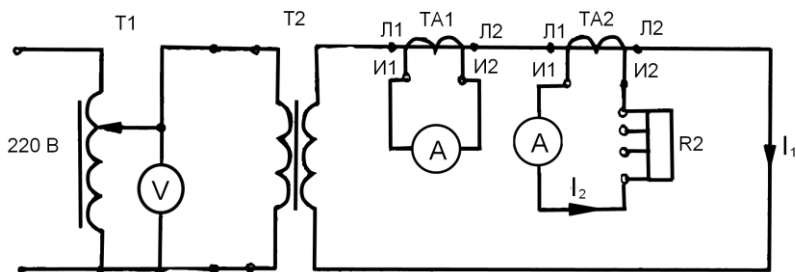


Рисунок 7.1 - Схема дослідження ТКМ-0,5

Вказівні з техніки безпеки

З метою детального вивчення елементів та складання схем апарати встановлені на лицевій панелі стенда. Усі дослідження відбуваються при небезпечній для життя напрузі 220 В змінного струму. Вивчення стенда, складання та розкладання схем повинні відбуватися при вимкнутій напрузі. Подачу напруги у лабораторію здійснює тільки викладач (після попередження усіх студентів). Студенти вмикають стенд після того, як викладач перевірить зібрані схеми. Для заміни опорів у вторинній обмотці трансформатора струму потрібно вимика-

ти стенд. Не можна вмикати стенд при розімкнутих вторинних обмотках трансформаторів струму.

Порядок виконання лабораторної роботи

За лабораторними зразками вивчити конструктивні особливості та електричні схеми трансформаторів струму для мереж напругою до 1000 В – ТК, ТШ, ТНШ, УТТ; для мереж напругою 10 та 35 кВ - ТПЛ-10, ТПОЛ-10, ТОЛ-10, ТЛШ-10, ТФЗМ-35; для вимірювання струмів нульової послідовності – ТЗЛ, ТЗР.

Записати паспортні дані розглянутих трансформаторів струму, зробити ескізи трансформаторів та їх елементів, навести електричні схеми трансформаторів.

Зібрати на стенді схему та провести експериментальне дослідження залежності похибки трансформатора струму ТКМ-0,5

а) від зміни вимірювального струму $\Delta I\% = f(I_1)$ при значеннях струму $I_1 = 10; 20; 30; 40; 50$ А. Зовнішній опір $R_2 = 0$;

б) від зміни опору вторинного кола (навантаження) $\Delta I\% = f(R_2)$ при значеннях $R_2 = 0; 0,5; 1; 2; 3$ Ом. Струм I_1 підтримувати постійним $I_1 = I_{1\text{ном}} = 30$ А.

Виконати вимірювання, заповнити таблиці 7.1 та 7.2 і побудувати залежності $\Delta I\% = f(I_1)$ та $\Delta I\% = f(R_2)$. Зробити висновки.

Зміст звіту

1. Тема та мета роботи
2. Векторна діаграма ТА
3. Паспортні дані та ескізи ТА, їх електричні схеми
4. Схема дослідження ТКМ-0,5 (рис. 7.1), результати вимірювань та розрахунків (табл. 7.1 та табл. 7.2)
5. Графіки залежностей $\Delta I\% = f(I_1)$ і $\Delta I\% = f(R_2)$
6. Умови вибору та перевірки ТА
7. Висновки

Література

1. Рожкова Л.Д. Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. -М.: Энергоатомиздат, 1987-648 с.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. -М.: Энергоатомиздат, 1988-720с.

Лабораторна робота № 8

ТРАНСФОРМАТОРИ НАПРУГИ

Мета роботи: вивчити принцип роботи, конструктивні особливості, векторну діаграму, електричні схеми та сфери застосування трансформаторів напруги; засвоїти умови їх вибору та умовне позначення на схемах.

Загальні відомості

Трансформатор напруги (TV) призначений для зниження напруги до стандартної величини 100 або 100/3 В та для відокремлення кіл вимірювання та релейного захисту від первинних кіл високої напруги.

В установках напругою до 18 кВ використовують трифазні та однофазні TV, при більш високих напругах – тільки однофазні. При напругах до 20 кВ є велика кількість типів TV: сухі (НОС), оливні (НОМ, ЗНОМ, НТМИ, НТМК, НАМИ), з литою ізоляцією (НОЛ, ЗНОЛ). В установках напругою від 110 до 330 кВ використовують TV каскадного типу (НКФ – з порцеляновими циліндрами, що заповнені оливою), для найновіших конструкцій герметизованих елегазових розподільних пристроїв використовуються TV типу ЗНОГ (з газовою ізоляцією). При напругах понад 330 кВ використовуються ємнісні подільники напруги (НДЕ). Зарубіжні зразки – від 150 кВ на Дніпро-ГЕС.

В залежності від призначення можуть використовуватися різні схеми вмикання трансформаторів напруги. Два однофазні трансформатори напруги, з'єднані в неповний трикутник, дозволяють вимірювати лінійні напруги. Така схема доцільна для приєднання лічильників та ватметрів. Для вимірювань лінійних та фазних напруг використовують три однофазні триобмоткові трансформатори, з'єднані за схемою "зірка-зірка" або трифазний типу НТМИ, третя обмотка яких з'єднана у розімкнутий трикутник і використовується для приєднання реле сигналізації замикань на землю. Всі обмотки – на одному осердді.

Тепер в електричних мережах 6 та 10 кВ починають використовувати трансформатори НАМИ (А – антирезонансний), які за своєю схемою подібні до трифазного НТМИ. Завдяки антирезонансним властивостям він має підвищену надійність і стійкість до дугових замикань на землю. Такий TV являє собою з'єднання конструктивно в одне ціле

двох триобмоткових трансформаторів: первинна обмотка одного вмикається на лінійні напруги "AB"; "BC", а іншого (уземленого) на фазну напругу "BX" (див. рис.8.1). Клас точності 0,2 при потужності основних вторинних обмоток по 75 ВА на вводах "ав" і "вс". Третя обмотка – відкритий трикутник для контролю ізоляції.

Основними параметрами TV є: номінальні напруги обмоток, номінальний коефіцієнт трансформації, клас точності; номінальне вторинне навантаження.

В залежності від похибки розрізняють класи точності 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3.

Цифра класу відповідає найбільшій похибці в напрузі, яка виражена у відсотках. Похибка за напругою та кутова похибка виникають внаслідок втрат потужності в трансформаторі, вони нормуються за таких умов: частота 50 Гц, первинна напруга в межах $0,8 \div 1,2$ номінальної, навантаження в межах $0,25 \div 1,0$ номінального та коефіцієнт потужності $\cos\phi = 0,8$

$$\Delta U\% = \frac{U_2 \cdot K_{TV} - U_1}{U_1} 100$$

де K_{TV} - номінальний коефіцієнт трансформації.

U_1 , U_2 - відповідно первинна і вторинна напруги.

TV класів точності 0,1 та 0,2 використовують як зразкові, а також для точних вимірювань у лабораторіях. TV, призначені для приєднання лічильників, повинні відповідати класу 0,5. Для приєднання щитових вимірювальних приладів використовують TV класів 0,5 та 1. Вимоги, що висуваються до трансформаторів для релейного захисту, залежать від виду захисту. Тут використовують TV класів 0,5; 1,0; 3,0.

Трансформатори каскадного типу (НКФ) складаються з кількох ступенів (трансформаторів), первинні обмотки яких з'єднані послідовно. Вторинна обмотка розташована на нижньому трансформаторі. Кількість ступенів визначається номінальною напругою з розрахунку приблизно 100 кВ на кожний ступінь.

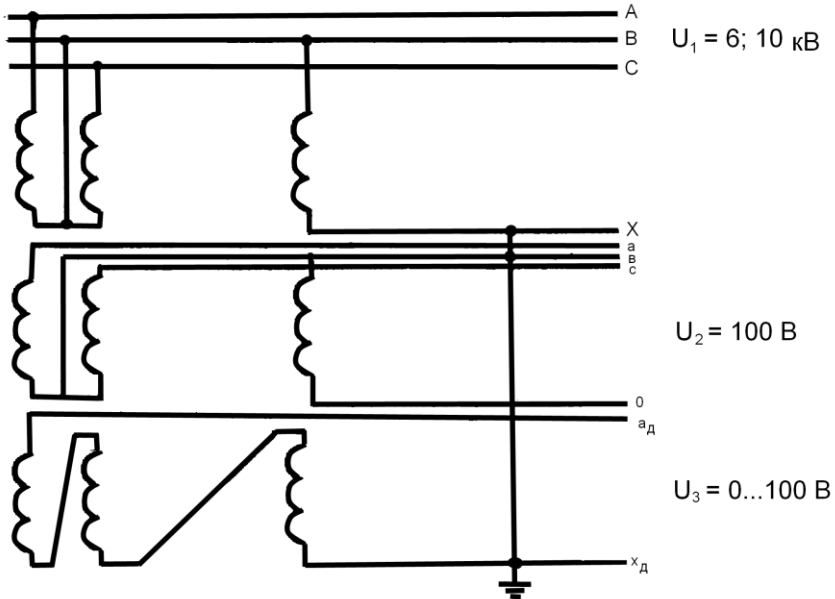


Рисунок 8.1 – Електрична схема НАМИ-10.

Ємнісні трансформатори напруги складаються з низки конденсаторів (ємнісний подільник напруги), узгоджувального реактора та трансформатора напруги TV на 35 кВ (оливний), до вторинних обмоток якою приєднують вимірювальні прилади та реле схем захисту.

На рис. 8.2 наведена схема комплекту з трьох однофазних трансформаторів напруги, що використовується в сучасних КРП (заземлена не нульова точка вторинної обмотки, а фаза В).

Крім TV в кожній фазі встановлено розрядник РВО для захисту збірних шин від перенапруги. Звичайно використовують таку схему, коли до КРП підключені електричні двигуни великої потужності або коли вибирають шафи КРП з вакуумними вимикачами.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Вивчити принцип роботи трансформатора напруги, його векторну діаграму та схеми вмикання у комплектах [1, стор. 665-677; 2, стор. 355-361; 3, стор. 197-208].

Вивчити принцип роботи та векторну діаграму ємнісного подільника напруги [1, стор. 677-680; 3, стор. 208-212].

Вивчити умови вибору та перевірки трансформаторів напруги [2, стор. 375-379; 3, стор. 212-213].

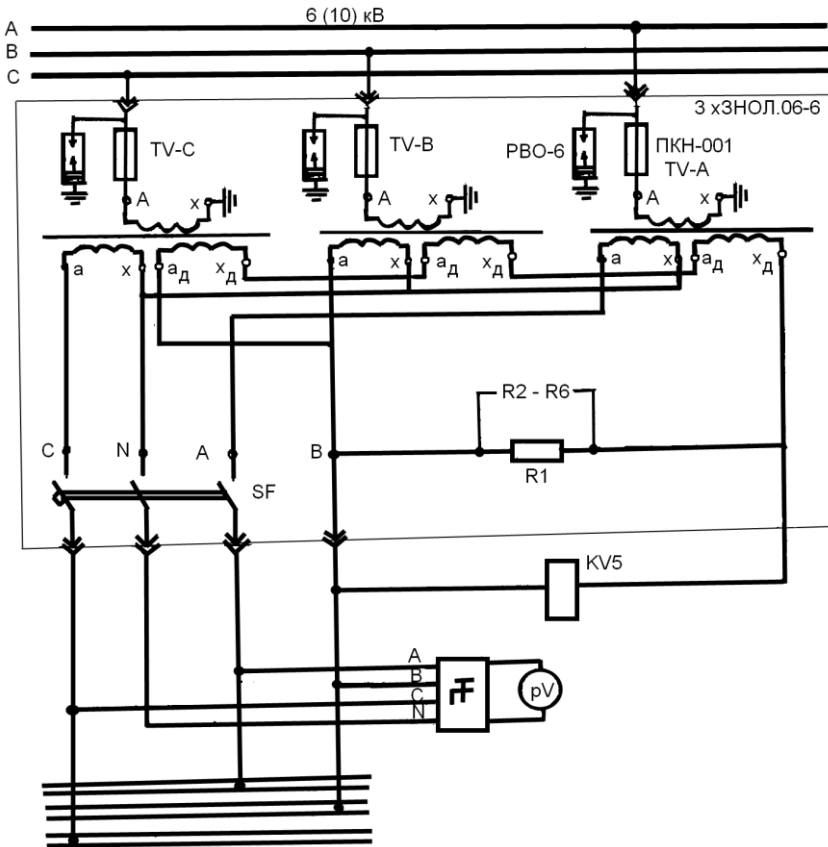


Рисунок 8.2 - Схема комплексу TV та FV

Контрольні запитання

1. Які функції TV в електричних мережах?
2. Що таке клас точності TV ?

3. Назвіть умови, при яких нормуються похибки TV?
4. Як компенсують похибки TV?
5. Чим відрізняється TV від звичайного трансформатора?
6. Які особливості конструкції каскадного трансформатора напруги Ви знаєте?
7. Які переваги має ємнісний подільник напруги?
8. Назвіть умови вибору та перевірки TV.
9. З якою метою уземлюють один з виводів вторинної обмотки трансформатора напруги?
10. Чим відрізняється трансформатор напруги ЗНОЛ від НОЛ?
11. За якими схемами з'єднуються однофазні трансформатори напруги ?

Порядок виконання лабораторної роботи

За лабораторними зразками, наочними посібниками та рекомендованою літературою вивчити конструктивні особливості та електричні схеми трансформаторів напруги НОМ-6, НОЛ-10, ЗНОЛ-10, НТМИ-6 (3хЗНОМ), НТМК-10, НАМИ-10, НКФ-110, комплекту 3хЗНОЛ 06 (на візку КРП), НДЕ

Записати паспортні дані розглянутих трансформаторів напруги та зробити ескізи TV.

Зміст звіту

1. Тема та мета лабораторної роботи
2. Векторні діаграми трансформатора напруги та ємнісного подільника напруги.
3. Паспортні дані та ескізи TV
4. Схеми: НАМИ, НОМ (НОЛ), ЗНОМ (ЗНОЛ), 3хЗНОЛ, НКФ, НДЕ.
5. Умови вибору та перевірки TV
6. Висновки

Література

1. Чунихин Л.Л. Электрические аппараты: Общий курс. - М.: Энергоатомиздат, 1988-720 с.
2. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - М.: Энергоатомиздат, 1987-648 с.
3. Электрическая часть станций и подстанций. /Под ред. А.А. Васильева - М.: Энергоатомиздат, 1990-576 с.
4. Ніценко В. В. Дослідження похибок трансформаторів струму у системах релейного захисту в усталених та перехідних режимах енергосистеми / В. В. Ніценко, Д. О. Кулагін, П. В. Махлін // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 59-71.