

**Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**



Кафедра електроенергетики

**ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ**

для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Дніпро
2021

Рекомендовано до видання навчально-методичним відділом (протокол № 1 від 25.01.2022) за поданням методичної комісії спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (протокол № 21/22-01 від 30.08.2021).

Рогоза М.В.

Електричні апарати. Методичні рекомендації до лабораторних занять для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / М.В. Рогоза, Ю.А. Папаїка, О.Г. Лисенко, Є.В. Кошеленко, Н.Ю. Рухлова; Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2021. – 55 с.

Автори:

Рогоза М.В., канд. техн. наук, проф.;

Папаїка Ю.А., д-р техн. наук, проф.;

Лисенко О.Г., канд. техн. наук, доц.;

Кошеленко Є.В., канд. техн. наук, асистент;

Рухлова Н.Ю., канд. техн. наук, доц.

Методичні матеріали призначено для практичної підготовки студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», які здобувають кваліфікаційний рівень бакалавра.

Методичні матеріали стануть у пригоді під час підготовки до модульного контролю за результатами лабораторних занять із нормативної дисципліни «Електричні апарати».

Досліджено будову та принципи роботи електричних апаратів розподільчих пристроїв високої та низької напруги і апаратів електроприводу, а також конструкції вузлів апаратів, режимів їх роботи, експлуатаційні характеристики.

Наведено критерії оцінювання модульних контрольних робіт.

Рекомендації орієнтовано на активізацію виконавчого етапу навчальної діяльності студентів.

ЗМІСТ

1. Лабораторна робота ЕП-1 «Дослідження конструкцій масляних вимикачів»	4
2. Лабораторна робота ЕП-2 «Дослідження конструкції і принципу дії електромагнітних вимикачів»	17
3. Лабораторна робота ЕП-6 «Дослідження конструкції і принципу дії плавких запобіжників»	26
4. Лабораторна робота ЕП-7 «Дослідження конструкції і принципу дії роз'єднувачів, віддільників та короткозамикачів»	37
5. Лабораторна робота ЕП-13 «Дослідження конструкції і принципу дії вакуумних вимикачів»	45
6. Лабораторна робота ЕП-14 «Дослідження конструкції і принципу дії елегазових вимикачів»	50
РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	55

1. Лабораторна робота ЕП-1 «Дослідження конструкцій масляних вимикачів»

Мета роботи: досягти результату навчання: визначати будову та принципи роботи електричних апаратів розподільчих пристроїв високої напруги, а також конструкції вузлів апаратів, режимів їх роботи, експлуатаційні характеристики, через дослідження призначення, конструкції, принципу дії й способу гасіння дуги масляних вимикачів на діючих зразках і по кресленням.

Методичні вказівки

1. Багатооб'ємні (бакові) масляні вимикачі

Масляні багатооб'ємні (бакові) вимикачі з'явилися наприкінці ХІХ століття й довгі роки були єдиним видом апарата, що вимикає, у мережах високої напруги. Перші масляні вимикачі являли собою бак (резервуар) круглої, овальної або прямокутної форми. Крізь кришку цього бака проходили ізолятори, на нижніх кінцях яких закріплювалися нерухомі контакти. Рухомий контакт, що перемикає два нерухомих контакти одного полюса, з'єднувався із приводним механізмом за допомогою ізоляційної тяги. Бак заповнювався трансформаторним маслом до певного рівня, але так, що контактна система виявлялася повністю зануреною у масло. Між поверхнею масла й кришкою бака перебуває повітря при атмосферному тиску ("повітряна подушка").

У таких бакових вимикачах масло служить для гасіння дуги й ізоляції струмоведучих частин.

При напрузі до 10 кВ (у деяких типах вимикачів до 35 кВ) вимикач має один бак, у якому перебувають контакти всіх трьох фаз, при більшій напрузі для кожної фази передбачається свій бак.

На рис. 1 схематично показаний баковий вимикач без спеціальних пристроїв для гасіння дуги. Сталевий бак 1 вимикача підвішений до литої чавунної кришки 3 за допомогою болтів. Через кришку проходять шість фарфорових ізоляторів 4, на нижніх кінцях струмоведучих стрижнів яких закріплені нерухомі контакти 7. Рухомі контакти 8 перебувають на контактному мосту або траверсі. Рух їм передається за допомогою ізолюючої тяги від приводного механізму, розташованого під кришкою вимикача.

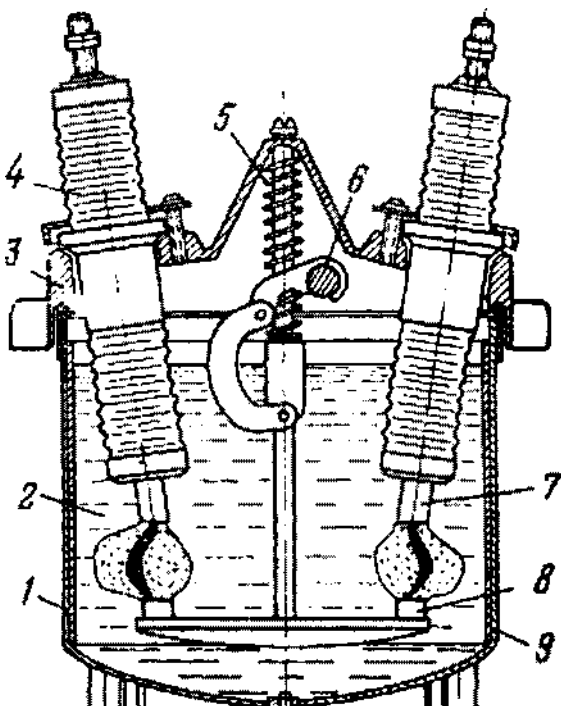


Рис. 1. Схематичне представлення бакового вимикача

У замкненому положенні траверса піднята і контактний міст замикає коло між нерухомими контактами. При цьому відключаюча пружина 5 стисла. Вимикач в увімкненому положенні утримується засувкою привода, з яким він зв'язаний валом 6. При вимиканні автоматично або вручну звільняється засувка й під дією пружини траверса швидко опускається (швидкість руху досягає 1,5 - 2,7 м/с), при цьому утворюється розрив кола у двох точках на кожному полюсі вимикача. Виниклі дуги розкладають і випаровують масло 2, утворюється газопаровий міхур. Останній містить приблизно 70 % водню (причому в області дуги і її ореола втримується атомарний водень), близько 17% ацетилену, 9% метану й інші газоподібні вуглеводні. У дуже малих кількостях виділяється вільний вуглець, що може осаджуватися на поверхні деталей з ізоляційних матеріалів (в основному горизонтально розташованих). Водень має найбільшу теплопровідність і найменшу в'язкість із всіх газів. Ці властивості водню визначають собою його високу охолодну здатність і значною мірою пояснюють гарну дугогасящу здатність трансформаторного масла. Крім того, нагріті дугою газу й пари масла прагнуть розширитися, чому перешкоджає інерція газового міхуру масла й стінки бака. Тому тиск у газовому міхурі навіть при простому розмиканні контактів у маслі підвищується, досягаючи 0,5-1 МПа й більше. Підвищений тиск веде до збільшення електричної міцності залишкового стовбура дуги й підвищує деіонізуючу здатність газів. Дуга гасне через 0,08 - 0.1 с. На стінках бака є захисні ізоляційні покриття 9.

Як показано на рис. 1, масло в бак вимикача заливається не повністю, під кришкою залишається повітряна подушка. Це необхідно, щоб зменшити силу удару в кришку вимикача, обумовленого високим тиском, що виникає в процесі гасіння дуги.

Якщо рівень масла буде неприпустимо низок, то газу потраплять під кришку сильно нагрітими, що може викликати вибух суміші водню з повітрям. У кришці бака є газовідводяча трубка, закрита тонкою діафрагмою; при великому підвищенні тиску в баку діафрагма розривається й стиснені газу, а частково й глива, викидаються назовні, чим запобігається можливий вибух бака вимикача.

У розглянутому вимикачі немає ніяких спеціальних пристроїв для гасіння дуги, тому вимикаюча здатність його невелика.

Вимикачі із **простим розривом у маслі** (рис. 2, а) для вимикання великих струмів короткого замикання непридатні. При великих потужностях короткого замикання надійне гасіння дуги можливо тільки у випадку застосування спеціальних пристроїв - дугогасильних камер, що забезпечують примусову деіонізацію й відновлення електричної міцності дугового проміжку.

Проста гасильна камера (рис. 2, б) являє собою корпус із металу (з ізольованими стінками) або зі спеціальної пластмаси, що має досить велику механічну міцність. У верхньому дні цього корпусу закріплюється нерухомий контакт, а в нижньому є отвір для рухомого контакту циліндричної форми.

Причому кільцевий зазор між рухомим контактом і стінками отвору в дні незначний.

При розмиканні нерухомого й рухомого контактів між ними виникає дуга й утвориться газовий міхур. Внаслідок невеликого обсягу камери тиск у газовому міхурі істотно більше, ніж при простому розриві під маслом. При виході рухомого контакту з отвору в денці слідом за ним з камери виривається потік газу й пари оливи, що перебувають під великим тиском (газomasляне дугтя). Цей момент найбільш сприятливий для гасіння дуги. Однак він може й не збігатися з моментом проходження струму через нуль, і тоді ефективність гасіння дуги істотно зменшується. При вимиканні малих струмів тиск у камері незначно підвищується й гасіння дуги, по суті, відбувається так само, як і при простому розриві у маслі.

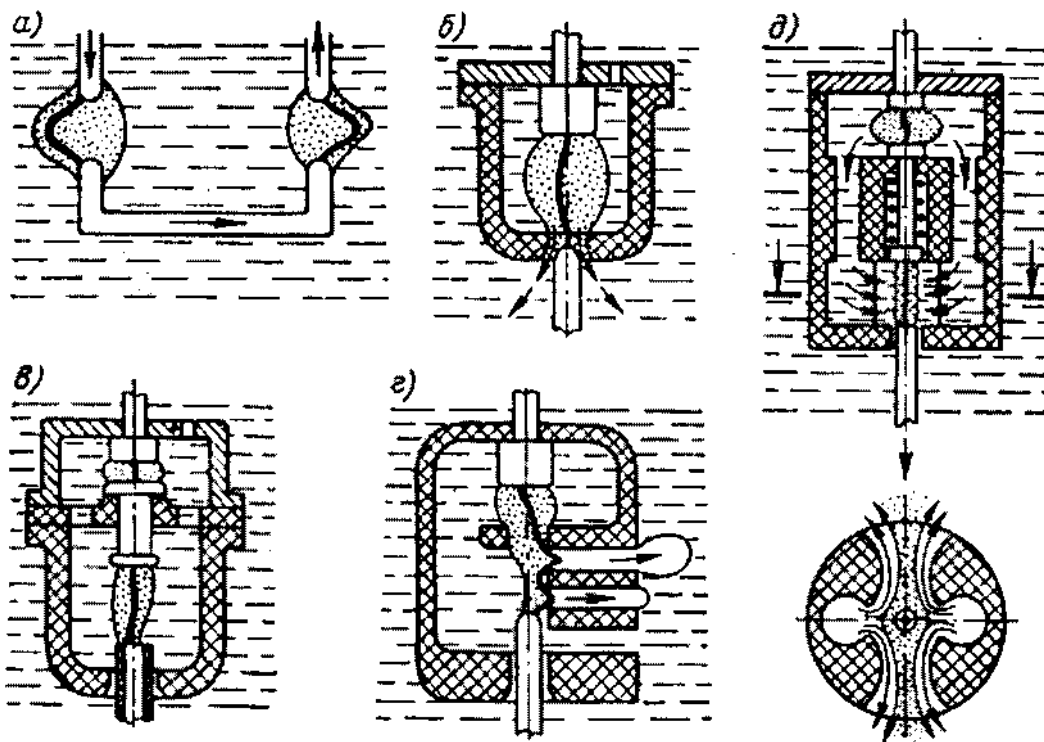


Рис. 2. Конструкції дугогасильних камер бакових вимикачів

У дугогасильних камерах з поздовжнім масляним дугтям (рис. 2, в) корпус розділений ізоляційною перегородкою з отворами на дві частини. У центрі перегородки розташований проміжний контакт, що може пересуватися на невелику відстань. У верхній частині корпуса закріплений нерухомий контакт, а в нижній є отвір для трубчастого рухомого контакту. При увімкненому положенні вимикача нерухомий контакт стикається з верхнім горцем проміжного контакту, а нижній торець останнього - з рухомим контактом. При вимиканні починається одночасне переміщення рухомого й проміжного контактів, утвориться проміжок між проміжним і нерухомим контактами, й між ними виникає генеруюча дуга. Вона створює тиск усередині корпуса. Проміжний контакт проходить відстань 15-20 мм і зупиняється. Тоді між ним і рухомим контактом, що продовжує свій рух, виникає друга дуга, називана гасимою. Під

дією тиску, створеного генеруючою дугою, масло спрямовується до гасильної дуги, входить у тісне зіткнення з нею й через порожнину трубчастого рухомого контакту виходить у бак вимикача, у якому масло перебуває під атмосферним тиском. Таким чином, ефективний вплив газомасляної суміші на дугу відбувається усередині камери ще до виходу з нього рухомого контакту, що сприяє швидкому гасінню дуги при переході струму через нуль

У **дугогасильних камерах з поперечним масляним дуттям** (рис. 2, г) по корпусу приєднаний набір ізоляційних пластин із центральними отворами. Частина пластин (через одну) має по прорізі (щілини), що веде назовні. При розмиканні нерухомого й рухомого контакту між ними виникає дуга, що створює підвищений тиск у камері. Однак вихід масла з камери через прорізи в пластинах закритий рухомим контактом.

Після проходження рухомим контактом першої щілини відкривається вихід масла з камери. Поперечний струмінь масла входить у тісне зіткнення з дугою, сприяючи її гасінню. Якщо після відкриття рухомим контактом першої щілини не відбулося гасіння дуги, то незабаром відкривається друга щілина й на дугу впливають уже два струмені масла й т.д.

Розроблено **камери зустрічно-поперечного дуття** (рис. 2, д), однак через складність конструкції вони не знайшли широкого застосування.

Дугогасильні камери з масляним дуттям дозволили істотно підвищити надійність роботи вимикачів, збільшити їхні струми вимикання й номінальні напруги. Однак ефективність роботи дугогасильних камер з масляним дуттям сильно залежить від струму вимикання. При великих струмах вимикання тиск у камері значний й гасіння дуги відбувається успішно. При малих струмах тиск у камері невеликий й ефективність гасіння дуги знижується. Крім того, тиск змінюється й за напівперіод струму: він більше при максимумі струму й менше при переході струму через нуль. А для успішного гасіння дуги саме при переході струму через нуль необхідно можливо більше ефективний вплив масла на дугу.

Для деякого вирівнювання тиску при вимиканні різних струмів, а також при зміні струму за напівперіод було запропоноване введення в камеру повітряної подушки. Для цього у верхній частині корпусу камери передбачається закритий простір. У ньому при заповненні вимикача маслом залишається деякий обсяг повітря, що, стискаючись, зменшує тиск у камері при максимальному струмі вимикання, а розтискаючись, підвищує тиск при зменшенні струму.

Основні переваги бакових вимикачів: простота конструкції, висока вимикаюча здатність, придатність для зовнішньої установки, можливість установки вбудованих трансформаторів струму.

Недоліки бакових вимикачів: вибухо- і пожежонебезпека; необхідність періодичного контролю за станом і рівнем масла в баку й уведеннях; великий обсяг масла, що обумовлює велику витрату часу на її заміні; необхідність великих запасів масла; непридатність виконання швидкодіючих АПВ; великі витрати металу, велика маса, незручність перевезення, монтажу й налагодження.

2. Масляні вимикачі з малим об'ємом масла (горщиківі)

Масляні вимикачі з малим об'ємом масла (горщиківі) в даний час ще доситьшироко застосовування в закритих і відкритих розподільних пристроях всіхнапруг до 500 кВ включно.Також ці вимикачі застосовуються на закритих розподільних пристроях генераторної напруги 6, 10 і 20 кВ.

В малооб'ємних вимикачах контактна система кожної фази разом згасильною камерою поміщена в невеликий бачок (горщик) циліндричноїформи з трансформаторним маслом.Трансформаторне масло в цих вимикачах не є ізоляцією від струмоведучихчастин, а лише дугогасильним середовищем і лише частково ізоляцією міжрозімкненими контактами.Для гасіння дуги в малооб'ємних вимикачах застосовуються гасильнікамери переважно поперечного і в окремих випадках поздовжнього масляногодутьтя.

Об'єм і вага масла в малооб'ємних вимикачах в десятки разів менше ніж увідповідних бакових вимикачах. Це забезпечило їм загальнерозповсюдження і є однією з головних причин істотної зміни іспрощення конструкцій закритих розподільних пристроїв.

У зв'язку з невеликою кількістю масла і високою міцністю горщиківмалооб'ємні вимикачі є вибухо- і пожежебезпечними порівняльно з баковими масляними вимикачами. Вказані вище обставини дозволили скоротити будівельну частину закритих розподільнихпристроїв, застосувати збірні і полегшені будівельні конструкції і встановитивимикачі у відкритих комірках з легкими огорожами зазбоцементних плит і металевої сітки.

Переваги малооб'ємних масляних вимикачів:

- низька вартість вимикача;
- невелика кількість масла;
- відносно мала загальна маса, зручний доступ до контактної системи;

Недоліки малооб'ємних масляних вимикачів:

- необхідність в періодичному контролі, доливанню і відносно частій зміні масла в дугогасних бачках;
- складність установки вбудованих трансформаторів струму;
- відносно мала гранична вимикаюча здатність.

2. Основні технічні характеристики вимикачів

Для більш чіткого розуміння різниці між вимикачами та полегшення їх порівняння при виборі та оцінки роботи користуються загальноприйнятими технічними параметрами:

- **номінальна напруга $U_{ном}$** – лінійна напруга трифазної мережі, у якій апарат повинен працювати (вказується на щитку вимикача). Вимикач повинен надійно працювати при напругах, що перевищують номінальну на 5-10 %. Ця напруга називається **найбільшою робочою напругою**;

- **номінальний струм $I_{ном}$** – найбільший струм (діюче значення), який апарат здатний проводити скільки завгодно довгий час без пошкоджень при номінальній напрузі, частоті та з температурою робочих елементів, не перевищуючих задану;

- **номінальний струм вимикання $I_{в.ном}$** – найбільший струм КЗ (діюче значення періодичної складової), який вимикач здатний вимкнути при найбільшій робочій напрузі та при заданих умовах відновлення напруги і циклі комутаційних операцій;

- **номінальна потужність вимикання $S_{вим.ном}$** – добуток номінального струму вимикання на відповідну найбільшу робочу напругу. Номінальну потужність вимикання також називають вимикаючою здатністю;

- **стійкість при кризних струмах КЗ** – здатність вимикача витримувати у увімкненому положенні без пошкоджень вплив струму КЗ. Розрізняють стійкість електродинамічну (вона характеризується амплітудою струму КЗ, яка дорівнює $2,5 I_{в.ном}$) і термічну стійкість, що характеризується часом протікання струму КЗ;

- **номінальний струм вмикання $I_{вмк.ном}$** – струм КЗ, який вимикач з приводом здатний увімкнути без пошкоджень при найбільшій робочій напрузі;

- **відновлювана напруга на контактах полюса** – напруга, яка з'являється на контактах полюса вимикача безпосередньо після гасіння дуги;

- **власний час вимикання вимикача** – проміжок часу від моменту подання команди на вимикання до початку розходження дугогасних контактів;

- **повний час вимикання** – проміжок часу від моменту подання команди на вимикання до моменту гасіння дуги на всіх полюсах;

- **час вмикання** – проміжок часу від моменту подання команди на вмикання до моменту пробігу проміжка між контактами при номінальній напрузі;

- **безструмова пауза вимикача при автоматичному повторному вмиканні (АПВ)** – проміжок часу від моменту гасіння дуги на всіх полюсах до моменту відновлення струму на будь-якому полюсі вимикача.

- **цикл операцій** – послідовність комутаційних операцій, що виконує вимикач, з заданими інтервалами між ними. У процесі експлуатації вимикач може неодноразово вмикатися на існуюче КЗ. Якщо вимикач забезпечує автоматичне повторне вмикання (АПВ), то повинні бути забезпечені цикли:

О – 180 с – ВО – 180 с – ВО;

О – $t_{бс}$ – ВО – 180 с – ВО;

О – $t_{бс}$ – ВО – 20 с – ВО,

де О – операція вимикання;

ВО – операція вмикання та термінового вимикання;

20, 180 с – проміжки часу в секундах;

$t_{бс}$ – мінімальні безструмова пауза при АПВ.

3. Конструкція та принцип дії вимикача ВМП-10

Вимикач ВМП-10 з малим об'ємом масла (вимикач масляний підвісний) – це апарат на номінальну напругу 10 кВ. Він розрахований на роботу в закритому приміщенні і випускається в двох виконаннях – для звичайних розподільних пристроїв (тип ВМП-10) і для малогабаритних комплектних

розподільних пристроїв (тип ВМП-10К). Вимикач типу ВМП-10 (рис.3) випускається на номінальний струм 630, 1000 і 1600 А.

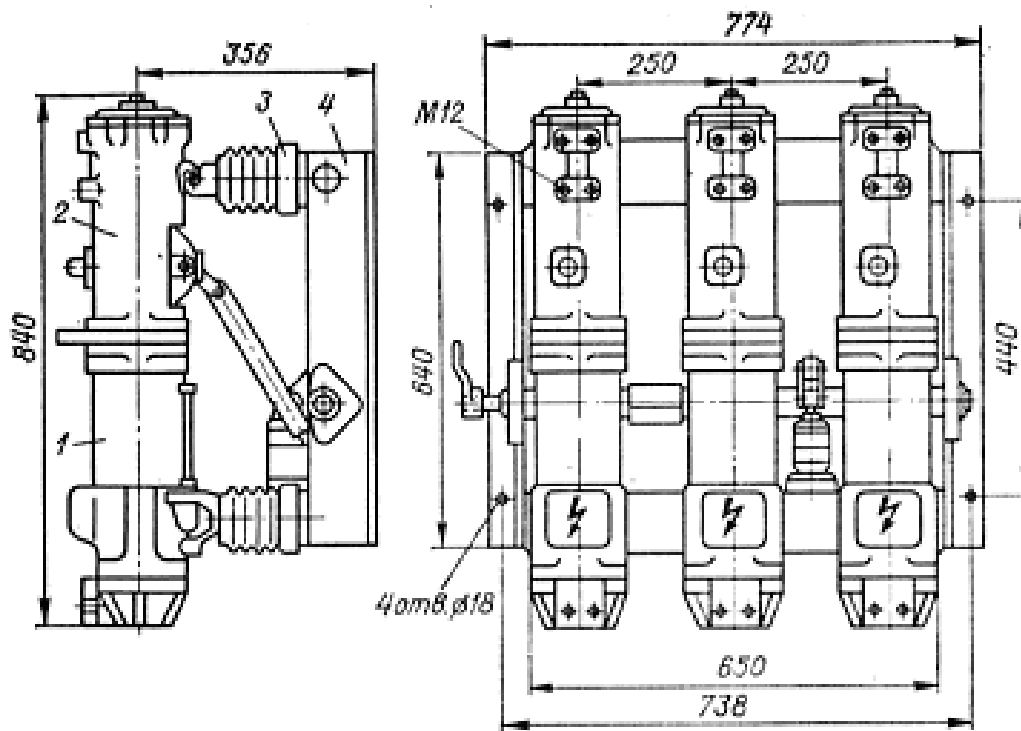


Рис. 3. Загальний вигляд масляного вимикача ВМП-10.

Полюси вимикача складаються з двох частин: нижньої 1, та верхньої 2, змонтовані вони на зварній рамі 4, усередині якої розташовані: головний вал з важелями, вимикаючі пружини, пружинний буфер і масляний буфер (вивчити на діючих зразках).

Опорні фарфорові ізолятори 3 мають внутрішнє еластичне механічне кріплення арматури. Вони встановлені у верхній і нижній частині рами (по два на кожний полюс). Кожний полюс вимикача (рис.4) – це міцний вологостійкий ізоляційний циліндр 5, на кінцях якого заармовані металеві фланці. Кріплення фланців до циліндра здійснено за допомогою нарізі і епоксидно-клейкої маси. На верхньому фланці укріплений корпус з алюмінієвого сплаву, усередині якого розташований приводний механізм 10, пересувний контактний стрижень 12, роликострумознімач 7, масловіддільник 8 та кришка 9. Нижній фланець 1 закритий кришкою, усередині якої розташований нерухомий розетковий контакт 2, а зовні – пробка для зливу масла.

Усередині циліндра над розетковим контактом 2 розташована гасильна камера 4, яка складається з пакета круглих і фігурних пластин з електрокартону, фібри і гетинаксу.

Для контролю рівня оливи у гасильній камері встановлено показник масла 13. Повітряна подушка 3 виконує роль повітряного буфера.

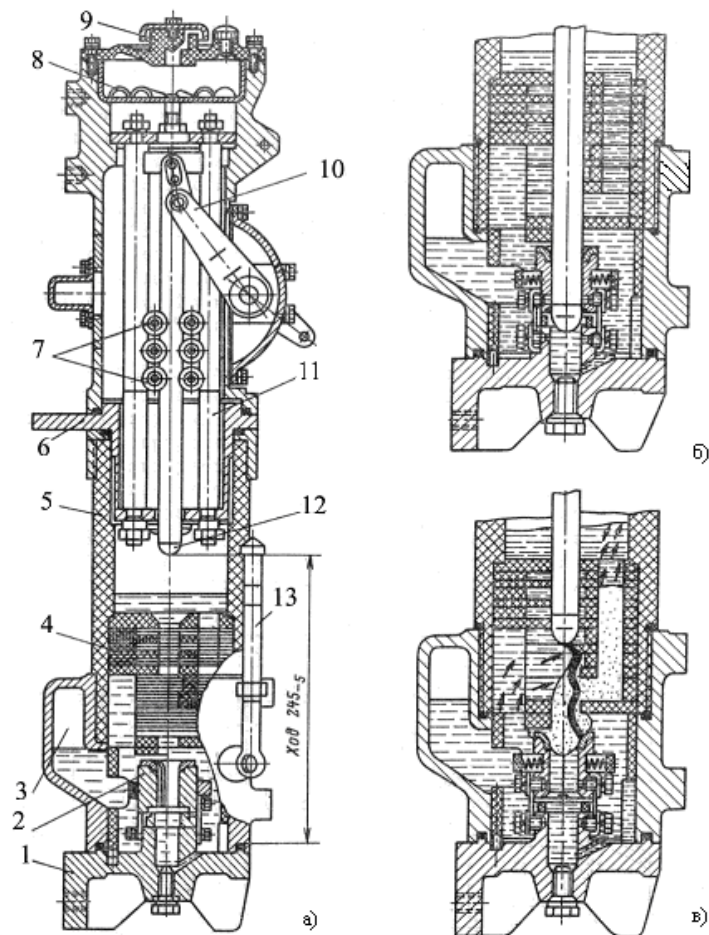


Рис. 4 Розріз полюса вимикача ВМП-10.

Завдяки різній формі внутрішніх отворів в пластинах, з яких зібрана гасильна камера, в останній утворюються три поперечні дуттєві канали, розташовані один над іншим в нижній частині камери, і масляні "кишені", розташовані у верхній частині камери (рис. 5).

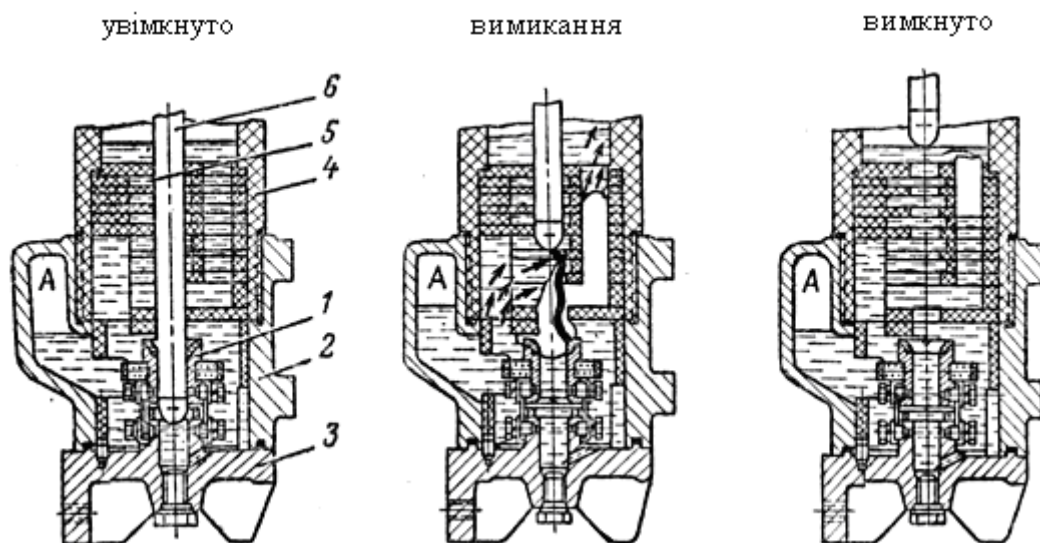


Рис. 5 Процес гасіння електричної дуги у вимикачі ВМП-10

Дуттєві канали мають роздільні виходи, направлені вгору. Процес гасіння електричної дуги в гасильній камері вимикача ВМП-10 показаний на рис. 5 Великі і середні струми гасяться дугтям в поперечних каналах, а малі струми, якщо вони не будуть погашені в каналах, гасяться турбулентним дугтям в масляних „кишенях”.

Підкамерний простір з’єднаний з повітряною порожниною, яка розташована в нижньому фланці циліндра. Ця порожнина є акумулятором тиску: знижує тиск в камері при граничних вимикаючих струмах і ефективно сприяє гасінню дуги у момент проходження струму через нуль.

Після гасіння дуги пара та газу потрапляють у верхню частину корпуса, де пар масла конденсується, а газу виходять через отвори у кришці. Коли камера заповниться маслом, що конденсувалася, вимикач готовий до наступного циклу операцій. Безструмова пауза при АПВ для таких вимикачів досить велика (0,5 с).

Наконечник рухомого контакту 12 (рис. 4) знімний і при необхідності може бути легко замінений. Поверхня наконечника і торці ламелей розеткового контакту має облицьовування з дугостійкої металокераміки, що підвищує їх стійкість до дії електричної дуги і термін служби. Рівень масла в циліндрі контролюється показником масла 13 (рис. 4), встановленому на кожному полюсі вимикача. Якість масла повинна відповідати вимогам до ізоляційної масла. Якщо масло сильно забруднене, а канали обвуглені, то можливе перекриття між контактами у вимкненому положенні. Контакти та дугогасні пристрої вимикача ВМП-10 досяжні для огляду і ревізії.

4. Конструкція та принцип дії вимикача ВК-10

Масляні вимикачі ВК-10 з пружинним приводом та ВКЕ-10 з електромагнітним приводом призначені для роботи у комплектних розподільних пристроях (КРП) внутрішнього та зовнішнього розташування.

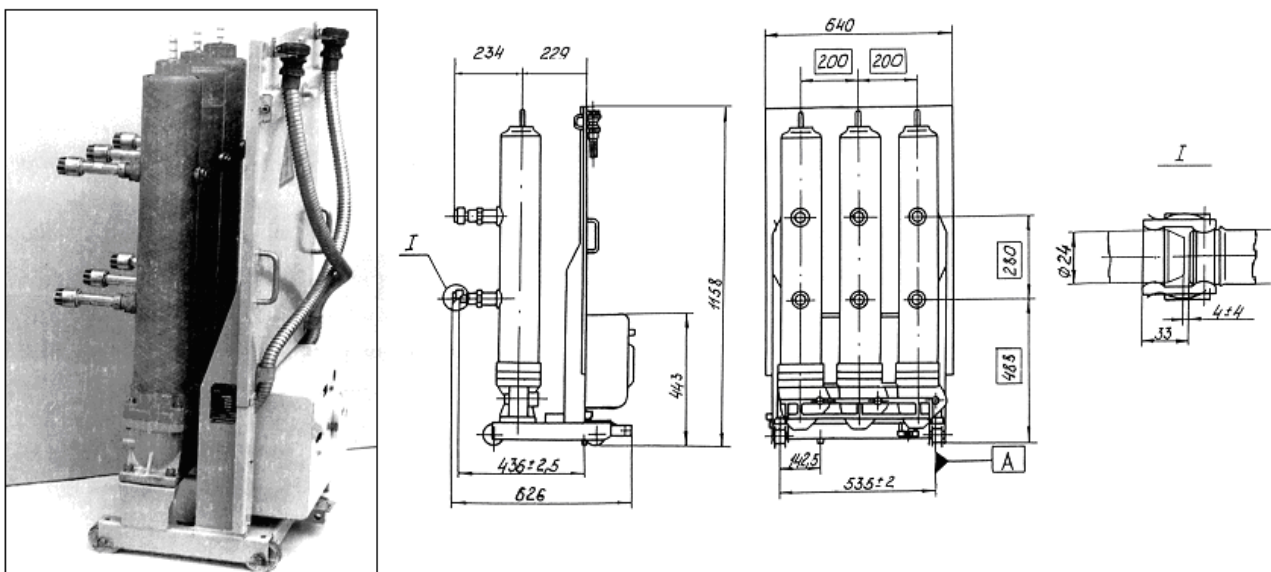


Рис. 6 Зовнішній вигляд та габаритні розміри вимикача ВК-10

Гасіння електричної дуги, яка виникає при розмиканні контактів, відбувається потоком газопарової суміші, що направляється у спеціальний дугогасний пристрій, розміщений у зоні горіння дуги.

Вимикачі серії ВК мають менші габарити та вагу ніж вимикачі серії ВМП, тому цей тип достатньо широко застосовується у КРП.

Номінальний струм вимикачів ВК – 630, 1000, 1600 А;

Номінальний струм вимикання - 20 та 31,5 кА.

Приводи вимикачів комплектуються електромагнітами керування (УАС, УАТ) на номінальну напругу 127 або 220 В змінного струму, та 110 або 220 В постійного струму.

5. Конструкція та принцип дії вимикачів серії ВМТ

В установках напругою 110 та 220 кВ широко застосовуються масляні вимикачі серії ВМТ. Три полюси вимикача ВМТ 110 змонтовані на одній зварній рамі (рис. 5). Вимикач ВМТ-220 складається з трьох окремих полюсів, розміщених на окремих рамах (рис. 5). Керування вимикачами здійснюється за допомогою пружинного приводу.

Полюс вимикача серії ВМТ – це колона, наповнена трансформаторним маслом. Колона герметична та знаходиться під надлишковим тиском (азота чи повітря). Надлишковий тиск підтримує високу електричну стійкість між-контактного проміжку та забезпечує надійне вимикання струмів КЗ. Для контролю надлишкового тиску на кожному полюсі встановлені манометри.

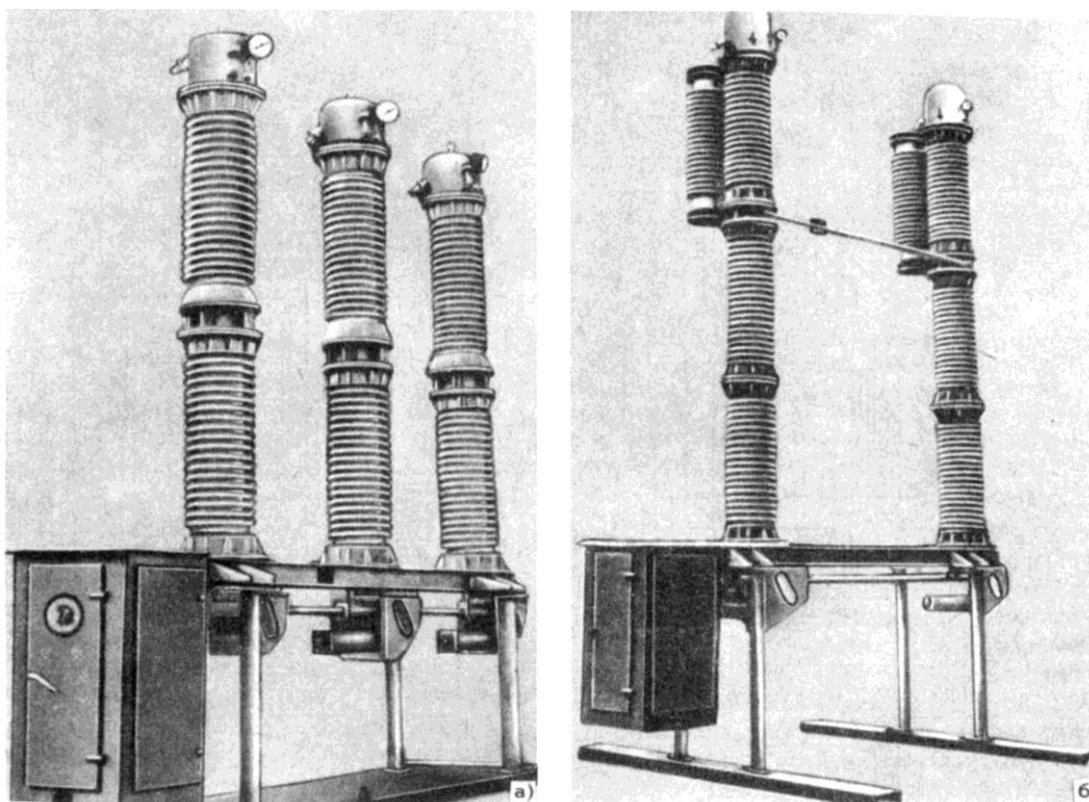
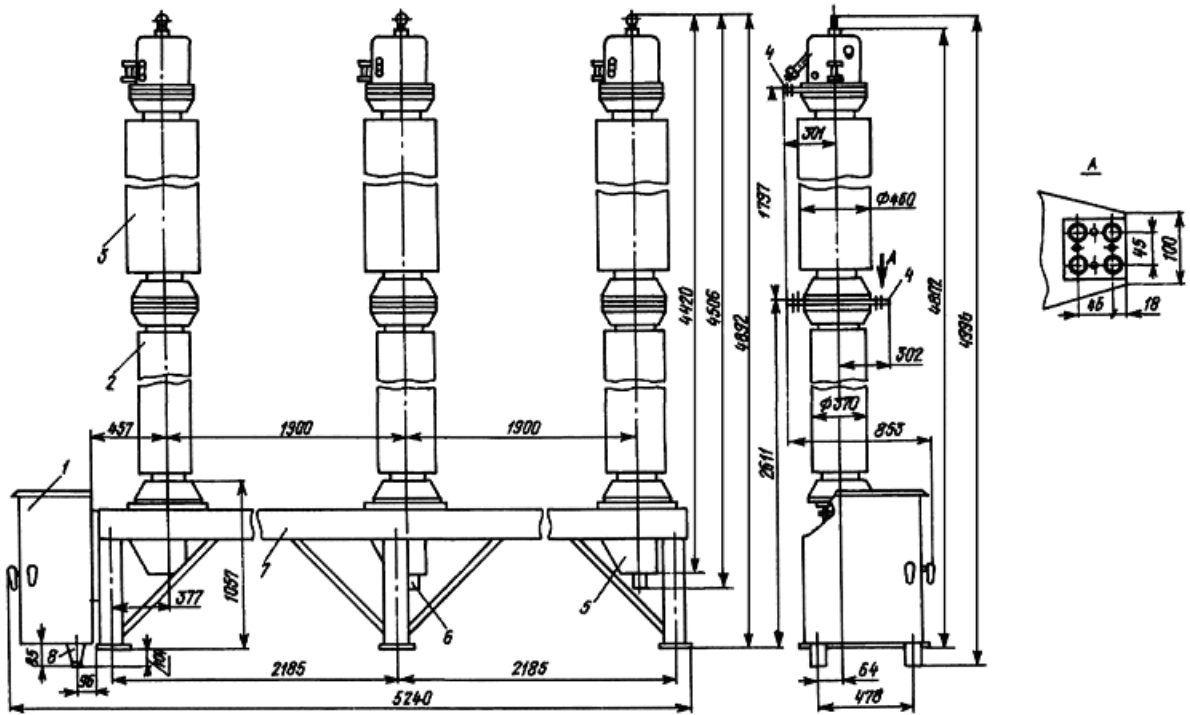


Рис. 7 Зовнішній вигляд вимикачів серії ВМТ на напругу 110 та 220 кВ.



1 – привод; 2 – опорний ізолятор; 3 – дугогасний пристрій; 4 – вивід; 5 – механізм керування; 6 – пристрій підігріву; 7 – рама; 8 – показник положення В та О.

Рис. 8. Габаритні розміри вимикача ВМТ-110.

Усі деталі вимикача ВМТ-220 максимально уніфіковані з вимикачем ВМТ-110 для взаємної заміни деталей та експлуатаційних частин.

6. Основні технічні параметри масляних вимикачів

Тип вимикача	Номинальна напруга $U_{ном}$, кВ	Номинальний струм, $I_{ном}$, А	Номинальний струм вимикання $I_{в.ном}$, кА	Власний час вимикання, с	Повний час вимикання, с
ВМП-10-20/630У3	10	630	20	0,09	0,11
ВМП-10-20/1000У3	10	1000	20	0,09	0,11
ВМПЕ-10-20/1600У3	10	1600	20	0,07	0,095
ВМПЕ-10-31,5/3150У3	10	3150	31,5	0,09	0,12
ВК-10-20/630У2	10	630	20	0,05	0,07
ВК-10-20/1000У2	10	1000	20	0,05	0,07
ВК-10-20/1600У2	10	1600	20	0,05	0,07
ВКЕ-10-31,5/630У3	10	630	31,5	0,07	0,095
ВКЕ-10-31,5/1000У3	10	1000	31,5	0,07	0,095
ВКЕ-10-31,5/1600У3	10	1600	31,5	0,07	0,095

Тип вимикача	Номинальна напруга $U_{ном}$, кВ	Номинальний струм, $I_{ном}$, А	Номинальний струм вимикання $I_{в.ном}$, кА	Власний час вимикання, с	Повний час вимикання, с
ВМТ-110Б-20/1000УХЛ1	110	1000	20	0,05	0,08
ВМТ-110Б-25/1250УХЛ1	110	1250	25	0,035	0,06
ВМТ-220Б-20/1000УХЛ1	220	1000	20	0,05	0,08
ВМТ-220Б-25/1250УХЛ1	220	1250	25	0,035	0,06

Порядок виконання роботи

Перед виконання лабораторної роботи здобувачі вищої освіти повинні теоретично ознайомитись з призначенням, конструкцією, принципом дії й способами гасіння дуги масляних вимикачів.

В ході проведення заняття здобувачі застосовують набуті теоретичні знання з напрямку дослідження лабораторної роботи на діючих зразках електричного обладнання у супроводі з викладачем.

За результатами отриманих знань здобувачі вищої освіти формують звіт.

Оцінювання знань з напрямку лабораторної роботи відбувається шляхом усного опитування за наведеними контрольними запитаннями.

Зміст звіту

Звіт повинен містити короткий опис процесів гасіння дуги в усіх розглянутих вимикачах, а також всі ескізи, пояснюючі процес гасіння. Окрім цього в звіті необхідно помістити ескізи вимикачів ВМП-10, ВК-10 та ВМТ, привести їх технічні дані, дати короткий опис конструкції кожного з них. Вказати переваги та недоліки вимикачів з малим об'ємом масла. Звіт повинен мати критичні зауваження по конструкції ВМП-10 та ВК-10 (**порівняльна характеристика**).

Контрольні запитання

1. Призначення масла в багатооб'ємних масляних вимикачах і вимоги, пропонувані до нього.
2. Основні достоїнства й недоліки багатооб'ємних масляних вимикачів.
3. Чому не можна допускати підвищення або зниження рівня масла у вимикачі проти показчика рівня
4. Причини вибуху багатооб'ємних масляних вимикачів і які міри приймаються з метою їхнього попередження

5. Назвати характерні конструктивні особливості вимикачів з малим об'ємом масла.
6. Перерахувати основні переваги та недоліки малооб'ємних масляних вимикачів.
7. Пояснити принцип гасіння дуги за допомогою газового дуття.
8. Назвати основні технічні дані масляних вимикачів серії ВМП.
9. Назвати основні технічні дані масляних вимикачів серії ВК.
10. Назвати основні технічні дані масляних вимикачів серії ВМТ.
11. Пояснити як виконана ізоляція струмоведучих частин масляного вимикача серії ВМП: а) по відношенню до сусідніх фаз; б) кожної фази по відношенню до землі; в) ізоляція між контактами у відкритому положенні вимикача.
12. Як визначається рівень масла в масляному вимикачі?
13. З якою метою виконується розділення функцій контактів вимикача між головними і дугогасними контактами?
14. Яке призначення буферних повітряних об'ємів в масляних вимикачах?
15. Пояснити конструкцію і принцип дії дугогасної камери вимикача серії ВМП.
16. Пояснити призначення масловіддільника.
17. Як здійснюється відведення газів з вимикача?
18. Як здійснюється спуск шламу (осідання з масла) і доливання свіжого масла у вимикачі ВМП-10?
19. Пояснити принцип дії приводного механізму вимикача серії ВМП.

2. Лабораторна робота ЕП-2 «Дослідження конструкції і принципу дії електромагнітних вимикачів»

Мета роботи: досягти результату навчання: визначати будову та принципи роботи електричних апаратів розподільчих пристроїв високої напруги, а також конструкції вузлів апаратів, режимів їх роботи, експлуатаційні характеристики, через дослідження призначення, області застосування, конструкції електромагнітного вимикача і його дугогасних пристроїв .

Методичні вказівки

Електромагнітний вимикач для своєї роботи не вимагає трансформаторної оливи чи стиснутого повітря, може робити велику кількість вмикань і вимикань без ревізії і знаходить застосування при $U = 6 \div 20$ кВ при частих комутаціях електричного ланцюга.

В електромагнітних вимикачах вимикання ланцюга відбувається у результаті розведення дугогасних контактів з наступним впливом на дугу, що утворилася, електромагнітного поля, під дією якого вона затягується в дугогасний пристрій (ДП).

В останньому дуга охолоджується, її опір різко зростає, що приводить до зменшення струму, що проходить через вимикач. Внаслідок цього напруга в даному ланцюзі виявляється недостатньою для підтримки дуги і вона гасне. Опір дуги може бути підвищено:

- а) подовженням дуги;
- б) охолодженням дуги;
- в) розподілом довгої дуги на ряд коротких дуг, включених послідовно.

Звичайно в ДП одночасно використовується два з названих способів впливу, скомбінованих різним образом.

Технічні характеристики електромагнітних вимикачів, напругою $6 \div 10$ кВ для внутрішньої установки приведені в табл.1.

Таблиця. 1.

Технічна характеристика електромагнітних вимикачів

Тип вимикача	Номинальний струм, А	Номинальний струм вимкнення, кА	Динамічна стійкість, кА	Термічна стійкість при 4 с, кА	Власний час вимкнення, с	Повний час вимкнення, с
ВЕМ-10	1000, 1250,	12,5	52	20	0,05	0,06
	1000, 1250	20	52	20	0,05	0,06
ВЕ-10	1250, 1600,	20	51	20	0,075	0,08
	2500, 3600 1250, 1600, 2500, 3600	31,5	80	31,5	0,075	0,08
ВЕ-6	1600, 2000, 3200	40	128	40	0,075	0,08

Як вказано в таблиці власний час вмикання ВЕ-6 та ВЕ-10 складає 0,075 с, а ВЕМ-10 - 0,05 с. Настільки малий час вимикання досягається спеціальною конструкцією ДП електромагнітних вимикачів.

У найпростішому ДП камера має плоску щілину. Електрична дуга виникає між рогами рухомого контакту і рогами нерухомого і має форму дуги окружності. Для полегшення входження дуги у вузьку щілину її перетин поблизу контактної системи зроблено розширеним. При напрузі $V=10$ кВ і щілини з $\delta = 2$ мм, розрахункова довжина дуги $L_{розр}=1,84$ м, що вимагає ДП великих габаритних розмірів, вимикач виходить громіздким. Такі ДП застосовуються при напругах до 3 кВ і невеликих струмах відключення.

Лабіринтно-щілинний ДП застосовується у вимикачах на напругу до 17,5 кВ і потужність відключення до 500 МВА. Елементи ДП являють собою керамічну пластинку з ребрами перемінної висоти. Ребра однієї половини входять у поглиблення іншої. По мірі переміщення дуги в камеру вона приймає зигзагоподібну форму і її довжина зростає. Поступове зменшення щілини δ забезпечує рівномірне входження дуги в камеру.

За ДП знаходиться вогнегасна решітка, вона являє собою набір ізольованих одна від одної мідних пластин, через які проходить іонізований газ. При цьому газ охолоджується і зменшується зона викиду іонізованих газів, небезпечних для елементів РП, що знаходяться під напругою. Ця ж решітка зменшує звуковий ефект при відключенні.

Слід зазначити, що при відключенні невеликих струмів (від декількох амперів до десятків амперів) початкова електродинамічна сила, що діє на дугу, мала і не може перемістити дугу в положення, при якому будуть включені котушки магнітної системи. Тому з рухливим контактом зв'язаний поршень автопневматичного пристрою. При обертанні рухливого контакту по годинній стрілці стиснуте поршнем повітря по трубці направляє на дугу і переміщає її нагору. Необхідно відзначити, що в області, близької до нуля струму, індукція в камері також мала, що робить магнітне дуття в цей момент малоефективним. Для поліпшення роботи вимикача на магнітну систему ставиться короткозамкнений виток. При цьому потік відстає по фазі від струму в котушці. У результаті в момент підходу струму до нуля індукція не дорівнює нулю, що сприяє переміщенню дуги і її гасінню.

Опис лабораторного стенда

У шафі комплектного розподільного пристрою серії КРУ2-10 на викатному візку змонтований електромагнітний вимикач типу ВЕМ-10Е-1000/12,5У3.

1. Конструкція ВЕМ-10Е

Вимикач ВЕМ-10Е являє собою трьохполюсний апарат, полюси якого змонтовані на сталевій звареній рамі 16 (рис.1), постаченої котушками з підшипниками кочення. У нижній частині рами розташований електромагнітний привід ПЕГ-8 з контактором 1.

На вертикальній площадці рами встановлені опорні фарфорові ізолятори на яких розміщуються контактна і дугогасна системи вимикача. Над рухомими і нерухомими контактами вимикача розміщуються дугогасні камери 8 (рис. 1).

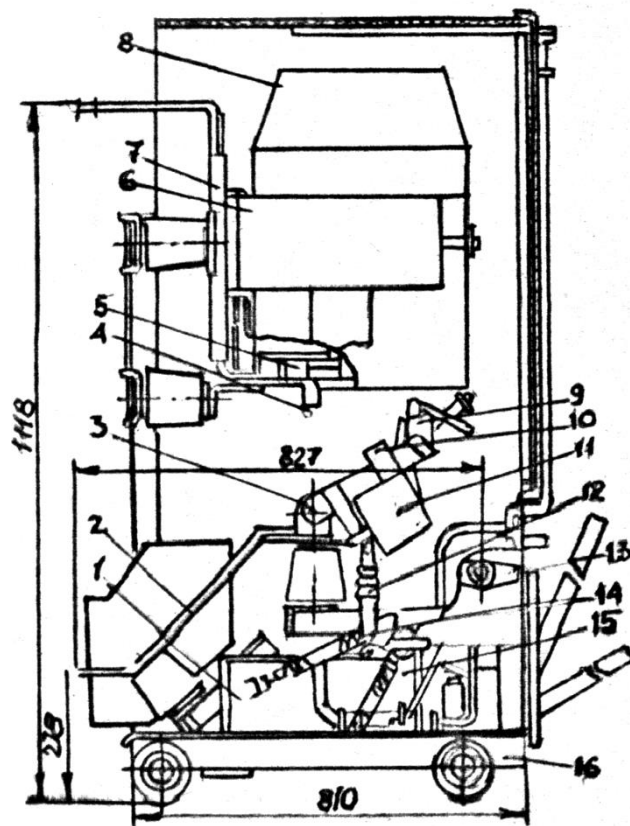


Рис. 1. Електромагнітний вимикач ВЕМ-10Е-1000/12,5 УЗ

1- привод; 2 - струмопровід; 3 - контакт шарнірний; 4 - головний нерухомий контакт; 5 - головний дугогасний контакт; 6 - магнітопровід; 7 - котушка магнітного дуття; 8 - дугогасна камера; 9 - рухомий дугогасний контакт; 10 - контакт головний рухомий; 11 - циліндр повітряного дуття; 12 - тяга фарфорова; 13 - приводний механізм; 14, 15 - вимикаючі пружини; 16 - рама.

Трьохполюсний вимикач ВЕМ-10, що вбудовується в КРУ, монтується на візку разом з електроприводом і контактором, що живить електромагніт включення. Рухлива система (рис. 2) вимикача, зібрана безпосередньо над приводом, складається з робочих 3, 4 і дугогасильних 5, 6 контактів і обертається на опорному ізоляторі 1 за допомогою ізоляційної тяги 2. Тут же закріплені циліндри повітряного дуття 13.

Система нерухомих контактів, котушка магнітного дуття 8 з магнітопроводом, передній ріг 7 і гасильна камера 10 укріплені на опорних ізоляторах 9. Рухливі контакти позначені на малюнку індексом «а», нерухомі — «б».

Струм підводиться до нерухомого контакту «б» і електрично зв'язаному з ним через котушку магнітного дуття передньому рогу. Другий полюс

підводиться до рухливого контакту і шинної 12 до заднього рога 11. Котушка магнітного дуття включається в ланцюг тільки в процесі відключення.

Виникаюча в процесі відключення електрична дуга тепловими потоками й електромагнітними силами піднімається догори, займаючи положення А, потім Б, при цьому частина дуги на ділянці Е-К виявляється зашунтованою котушкою магнітного дуття, яка має малий опір. Ця частина дуги гасне, і котушка включається в електричний ланцюг, створюючи магнітне поле і переміщаючи дугу по передньому і задньому рогах у керамічну дугогасильну камеру. Дуга поступово займає положення В, Г, Д, що забезпечує затягування дуги в пакет пластин, де дуга подовжується й ефективно проохолоджується при зіткненні з керамічними пластинами. При підході струму до нуля стовбур дуги інтенсивно деіонізується і дуга гасне. При відключеннях малих струмів для початкової переміщенні дуги нагору використовується повітря з повітряного циліндра, поршень якого зв'язаний з рухливим контактом. У добу вимикач допускає 150 операцій включення і відключення номінального струму до 1000 А.

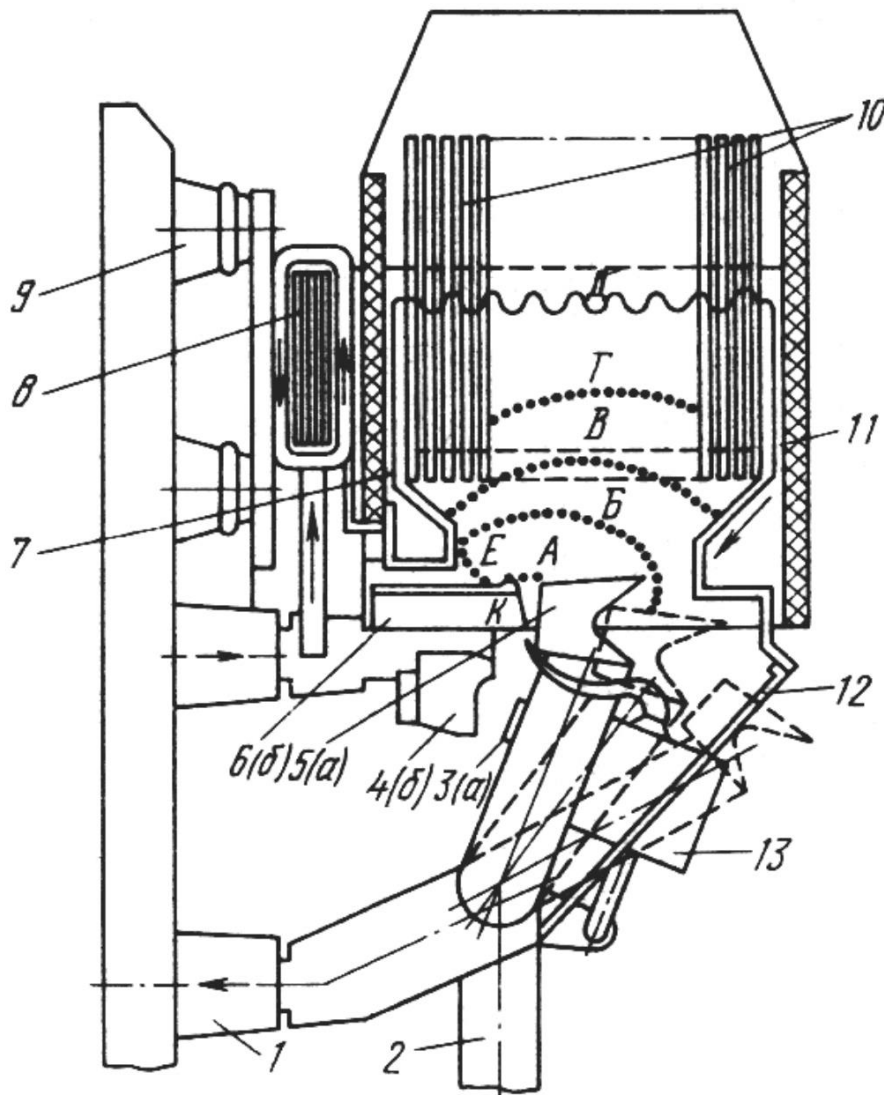


Рис. 2. Дугогасильна система електромагнітного вимикача ВЕМ-10Е

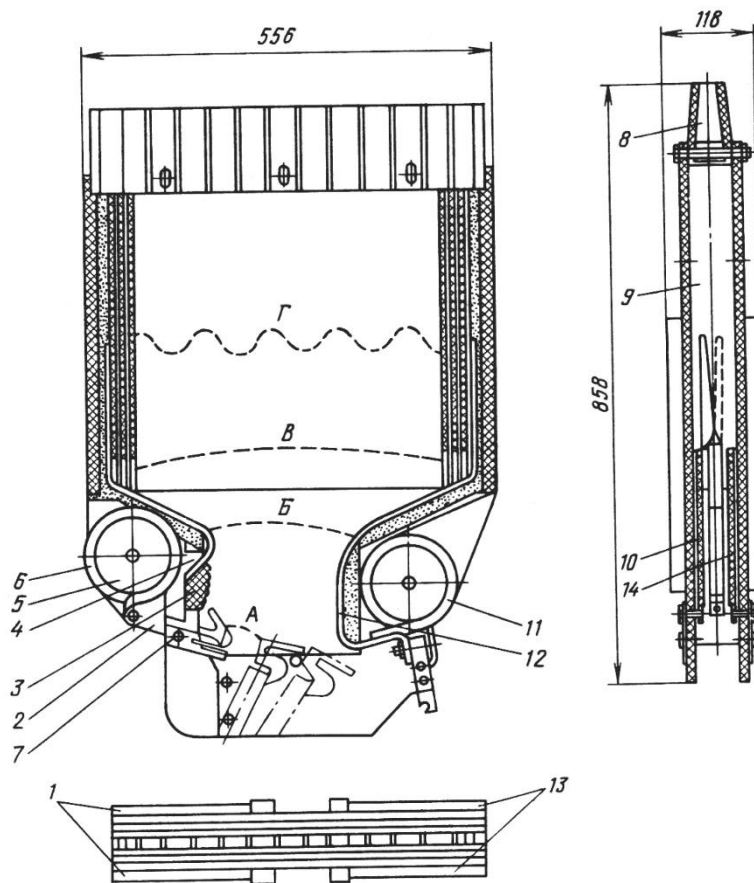


Рис. 3. Дугогасильний пристрій вимикача ВЕМ-10Е

Дугогасильна камера (рис. 3) складається з пластин цирконієвої кераміки з Λ -образним вирізом 9, склеєних між собою в єдиний блок. Кераміка має високу електричну міцність і дугостійкість, мале газовиділення і водопоглинання. Камера виконана так, щоб забезпечити максимальну швидкість руху повітряних потоків нагору. Пластини мають лівий і правий вирізи, і їхнє чергування дозволяє при малих розмірах камери мати зигзагоподібну дугу довжиною 1,5—1,8 м. У нижній частині камери до пластин притискаються керамічні плити 10 і 14, що обмежують зону горіння дуги, а у верхній частині установлений вихлопний пристрій 8, що складається з вертикально розташованих ізоляційних пластин, призначених для запобігання пробоям щілин камери по гарячих газам. По краях пакета поміщені роги 4 і 12, по яких переміщається дуга в процесі відключення. Система магнітного дуття складається з двох котушок 6 і 11, сердечника 5 і бічних щік 1, 13, набраних з ізольованих друг від друга сталевих листів. Котушка ліва 6 з'єднується одним кінцем з переднім рогом, іншим — через нерухомий контакт 7 з верхнім виводом вимикача. Права котушка з'єднується з заднім рогом і через проміжну шинку з нижнім виводом вимикача. Мається екран 2, що ізолює зону горіння дуги від лівої котушки, і гребінка 5, що сприяє охолодженню і загасанню дуги повітрям з циліндра повітряного дуття, що проходить через неї, у момент, коли дуга шунтує котушку магнітного дуття.

При вимиканні вимикача спочатку розмикаються робочі контакти, а потім — дугогасильні. При розмиканні дугогасильних контактів між ними виникає

дуга, що під дією електродинамічних сил контуру і теплових потоків переміщається нагору і займає положення А. Частина дуги розташовується між переднім рогом і нерухомим контактом, шунтує ліву котушку магнітного дуття. Як тільки дуга відірветься від нерухомого контакту, весь струм почне проходити через котушку магнітного дуття. Тепер дуга горить між рогом 4 і рухливим контактом. Тим часом рухливий контакт підійде до заднього рога, на який перекинеться другий кінець дуги (положення Б). Могутнє магнітне дуття, створюване послідовно включеними котушками електромагнітів, буде переміщати дугу у вузькі щілини-канали дугогасильної камери. Напруженість магнітного полю буде пропорційна току, а полярність магнітного полю повинна забезпечувати переміщення дуги нагору. Під впливом магнітного дуття дуга послідовно займає положення В, Г. Швидко зростаюче в гасильній камері опір дуги відіграє роль обмежувального опору в ланцюзі, що відключається, що зменшує значення струму КЗ і полегшує умови гасіння дуги.

Принципова електрична схема керування приводом, що відповідає вимкненому положенню вимикача (від ключа керування) показана на рис.4.

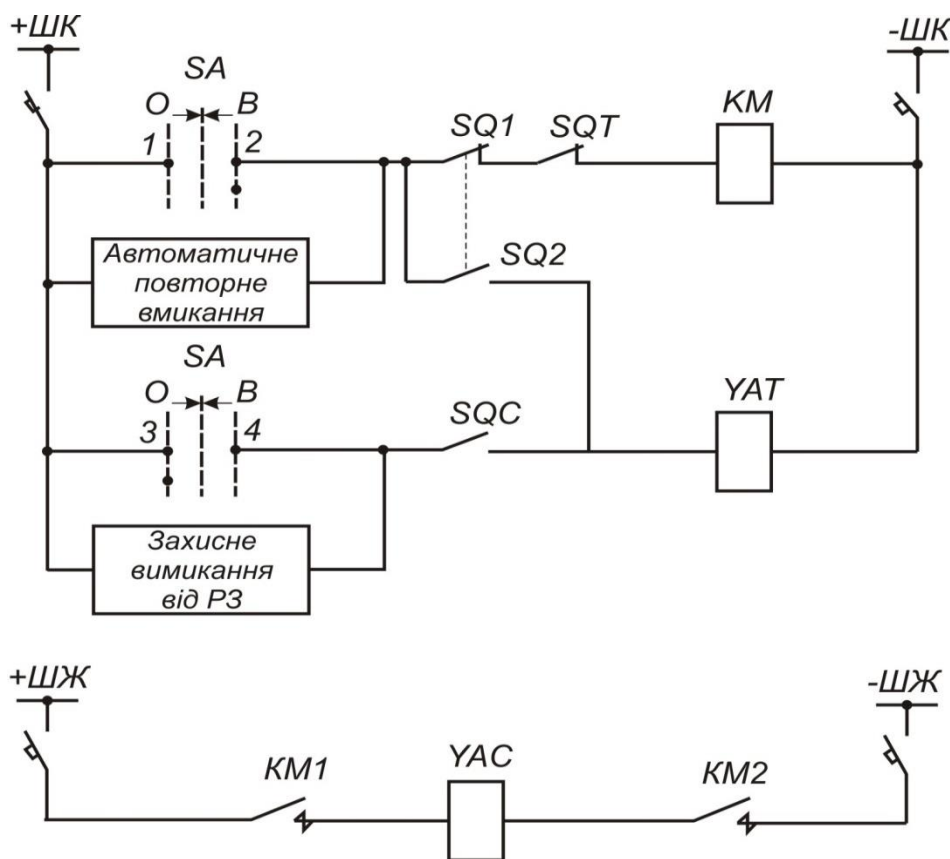


Рис. 4. Принципова схема керування вимикачем

Принцип дії вимикача при включенні:

Для вмикання вимикача ключем керування (рис. 4) замикають контакти 1-2, при цьому котушка контактора включення КМ виявляється замкнутою через блок-контакти SQT і SQ1. Контактор спрацьовує і замикає ланцюг електромагніта включення YAC. Серцевик електромагніта вмикання втягується

і через механізм вільного розчіплювання і відповідні важелі повертає вал вимикача на вмикання.

При вмиканні вимикача спочатку замикаються дугогасні контакти, які у повністю включеному положенні шунтуються головними контактами.

Одночасно при повороті вала на вмикання розтягуються вимикаючі пружини і переключаються блок–контактів вимикача. Наприкінці ходу вмикання механізм приводу захищається на засувку, контакт SQT розмикається і знеструмлює котушку контактора КМ а, отже, електромагніт вмикання.

Принцип дії вимикача при вимиканні:

При подачі команди на вимикаючу котушку бойок котушки вибиває засувку приводу. Вимикаючі пружини повертають вал вимикача на вимикання і надають руху рухомим контактам. Спочатку розмикаються головні контакти, а потім дугогасні.

Дуга, що виникає при розмиканні дугогасних контактів, під дією електродинамічних сил контуру струму і теплових конвекційних потоків видувається нагору, у дугогасну камеру. Різні положення, що займає дуга, піднімаючись нагору по камері показані на рис. 2 пунктирними лініями.

Відразу ж після розмикання дугогасних контактів дуга утворює маленьку петлю між металокерамічними наконечниками цих контактів (положення А). Поступово подовжуючись, петля дуги наближається до переднього рога, торкається його і приймає положення Б. При цьому частина дуги між наконечниками нерухомого контакту і рогом виявляється зашунтованою котушкою магнітного дуття, Ділянка дуги, шунтована котушкою швидко гасне, і через котушку починає протікати повний струм, що протікає через вимикача. Між полюсними наконечниками електромагніта створюється інтенсивне магнітне поле, що пронизує камеру перпендикулярно площині, у якій рухається дуга. Це магнітне поле взаємодіє з струмом дуги і при відповідному напрямку швидко зтягує дугу всередину камери, де вона займає послідовне положення В, Г і т.д. Дуга, піднімаючись нагору у вирізах керамічних пластин, здобуває зигзагоподібну форму, входить у тісне зіткнення з холодною поверхнею керамічних пластин і віддає останнім своє тепло. Завдяки цьому опір дуги збільшується. Одночасно зростає і довжина дуги, що також приводить до збільшення її опору. Досягши визначеної довжини усередині камери, дуга гасне при черговому переході струму через нуль.

При струмах більш 1000 А час горіння дуги не перевищує 0,01 – 0,02 с. При менших струмах він трохи збільшується, досягаючи при струмах близько 1000 А 0,03–0,04 с.

При струмах менш 1000 А сили взаємодії між магнітним полем і струмом дуги не можуть забезпечити швидке зтягування дуги в камеру. У цьому діапазоні струмів на допомогу приходять повітряний піддув. Потік повітря, створений цим пристроєм при кожній операції відключення, сприяє переміщенню дуги в камеру і полегшує умови її гасіння. Завдяки цьому тривалість горіння дуги в найбільш важких випадках відключення струмів

менших за 1000 А, коли коефіцієнт потужності близький до нуля, не перевищує 0,08 с.

Гарячі гази, що утворюються при горінні дуги, частково викидаються з камер униз, але здебільшого впливають нагору по вузьким щілинам між пластинами. При цьому гази в значній мірі охолоджуються так, що викид полум'я з камери спостерігається лише при струмах КЗ близьких до граничного.

Дуга, виникаюча при розмиканні дугогасних контактів, утримується на них лише протягом часу, необхідного для перекидання струму в котушку магнітного дуття. При струмах КЗ цей час складає частки півперіоду, чи тисячні секунди. Після цього дуга біжить по рогах, не затримуючи на одному місці. Завдяки цьому дугогасні контакти електромагнітного вимикача мало ушкоджуються дугою. Контакти вимикача допускають десятки вимикань струмів рівних 50% граничного струму відключення.

Електромагнітний вимикач ВЕМ-10Е з вбудованим ПЕГ-8 має блокування від багаторазового вмикання на існуюче КЗ (блокування від "стрибання"), виконану з використанням спеціальних блокувальних контактів SQ1-SQ2.

При вмиканні вимикача на КЗ ключем керування чи пристроями автоматики спрацьовує релейний захист даного приєднання, подаючи команду на вимикання вимикача. Створюється положення, коли одночасно існують дві команди: на вмикання контактами ключа (якщо оператор ще не встиг відпустити рукоятку ключа) та від пристрою автоматичного вмикання і на вимикання - контактами релейного захисту. Неправильна робота приводу вимикача в цьому випадку блокується за допомогою блоків-контактів.

Після вмикання вимикача на КЗ і спрацьовування реле захисту створюється ланцюг вимикання: + ШК, контакти релейного захисту, допоміжні контакти вимикача SQС, обмотка електромагніта відключення УАТ, – ШК. Сердечник електромагніта вимикання утягується і вибиваючи засувку приводу, одночасно розмикає механічно зв'язаний з ним контакт SQ1 і замикає контакт SQ2.

Відбувається вимикання вимикача і створюється ланцюг + ШК, контакт SQ2, електромагніт вимикання, – ШК, що забезпечує підтягнутий стан якоря електромагніта вимикання протягом усього часу, поки зберігається положення ключа "включити" чи будуть замкнуті контакти пристроїв автоматичного включення.

Контакти SQ1 блокують ланцюг вмикання і забороняють повторне вмикання вимикача. Після зняття команди на вмикання (наприклад, відпусканням рукоятки ключа) схема керування повертається у вихідне положення.

Порядок виконання роботи

1. Дослідити призначення, область застосування і принцип дії електромагнітних вимикачів.
2. Дослідити на стенді конструкцію вимикача ВЕМ-10Е і дугогасної камери.

3. Дослідити принцип дії вимикача ВЕМ-10Е на стенді і схему керування вимикачем.

4. Зробити вмикання і вимикання вимикача.

За результатами отриманих знань здобувачі вищої освіти формують звіт.

Оцінювання знань з напряму лабораторної роботи відбувається шляхом усного опитування за наведеними контрольними запитаннями.

Зміст звіту

Звіт повинний містити опис принципу дії електромагнітних вимикачів, їхні основні технічні характеристики, а також ескіз ДП вимикача ВЕМ-10Е, короткий опис конструкції вимикача. Необхідно також привести схему керування вимикачем.

Контрольні запитання

1. Область застосування електромагнітних вимикачів.
2. Призначення електромагнітних вимикачів.
3. Принцип дії електромагнітного вимикача.
4. Способи гасіння дуги в ДП електромагнітного вимикача.
5. Основні технічні дані вимикачів типу ВЕ 6-10, ВЕМ-10.
6. Чим досягається малий час вимикання вимикача?
7. Чим пояснюється обмежена область застосування вимикачів з ДП найпростішої конструкції?
8. Конструкція ДП вимикачів з $U_{ном} = 6-10$ кВ.
9. Призначення мідних пластин у ДП.
10. Спосіб гасіння малих струмів.
11. Призначення короткозамкнутого витка.
12. Конструкція вимикача ВЕМ-10Е,
13. Гасіння дуги в ДП вимикача ВЕМ-10Е.
14. Конструктивні елементи для створення магнітного дуття.
15. Як проводиться включення вимикача?
16. Гасіння дуги в ДП при струмах вимикання більш 1000 А.
17. Гасіння дуги в ДП при струмах вимикання 10-100 А.
18. Чим пояснюється підвищена зносостійкість дугогасних контактів?
19. Переваги електромагнітних вимикачів.
20. Призначення контактів SQ1-SQ2 у ланцюгах керування вимикачем.
21. Пояснити за схемою принцип роботи ключа керування.
22. Недоліки електромагнітних вимикачів.
23. Порядок проведення профілактичних оглядів вимикача типу ВЕМ-10Е.
24. Тип приводу вимикача типу ВЕМ-10Е.
25. Як здійснюється блокування від "стрибання"?

3. Лабораторна робота ЕП-6 «Дослідження конструкції і принципу дії плавких запобіжників»

Мета роботи: досягти результату навчання: визначати будову та принципи роботи електричних апаратів розподільчих пристроїв високої напруги, а також конструкції вузлів апаратів, режимів їх роботи, експлуатаційні характеристики, через дослідження призначення, конструкції і принципу дії плавких запобіжників.

Методичні вказівки

1. Призначення запобіжників

Запобіжник – це найпростіший електричний апарат, який служить для захисту електричних установок від струмів перевантаження і короткого замикання. Запобіжник містить плавку вставку, яка калібрується на певний струм. Плавка вставка є штучно ослабленою ланкою в електричному колі, що захищається і при небезпечному (для електроустаткування) збільшенні струму розплавляється і тим самим від'єднує коло від джерела живлення.

2. Захисні характеристики запобіжників

При протіканні через плавку вставку номінального струму, на який вона калібрується, вставка не перегоряє досить тривалий час, який визначений природним старінням матеріалу. При протіканні через неї струму, перевищує номінальний, вона перегоряє, причому тим швидше, чим більше це перевищення. При температурі навколишнього середовища 25°C плавка вставка найпоширеніших типів топких запобіжників не повинна плавитися протягом однієї години при струмі, рівному $1,3 I_n$, а при струмі, рівному $1,6 I_n$ повинна розплавитися за час від 13 с до 9 хвилин. Криві, які показують залежність часу перегорання плавкої вставки від величини протікаючого через неї струму, називаються захисними (часо-струмовими) характеристиками запобіжників.

Струм, який необхідний, щоб плавка вставка розплавилася миттєво, коли досягнуто сталого теплового стану (час протікання цього струму повинен бути не менше години), називається прикордонним. Бажано, щоб прикордонний струм був можливо близький до номінального. Цьому перешкоджають:

- а) зниження прикордонного струму в експлуатації через корозію вставки і контактів;
- б) відхилення в розмірах вставки і в питомому опорі матеріалу;
- в) підвищена температура сусідніх частин при експлуатації;
- г) неточне визначення прикордонного струму в умовах масового виробництва.

Практично відношення прикордонного струму до номінального знаходиться в межах 1,2...1,8.

Розрізняють мінімальний плавлячий і номінальний струми плавкої вставки. Мінімальним плавлячим струмом називають той найбільший струм, при

протіканні якого плавка вставка ще не перегорає. Теоретично час вимикання при цьому нескінченно великий. Практично при випробуваннях цим струмом час вимикання складає 1...2 год.

Номінальним струмом плавкої вставки називається струм, на який розрахована плавка вставка для тривалої роботи її в нормальному режимі. Номінальний струм указується на плавкій вставці.

В нормальному режимі нагрів запобіжника в цілому не повинен перевищувати допустимої температури тривалого нагріву. У зв'язку з цим однією з характеристик запобіжника є номінальний струм запобіжника.

Вимикаюча здатність запобіжника характеризується граничним струмом вимикання або розривною потужністю, які є відповідно найбільшим струмом або найбільшою потужністю короткого замикання, при яких запобіжник розриває коло без яких-небудь пошкоджень, перешкоджаючих його подальшій роботі після зміни плавкої вставки.

3. Вплив матеріалу вставки на її захисну характеристику

Розрізняють плавкі вставки двох типів:

1) плавкі вставки, які мають малий перетин (значно менший, ніж у проводів кола що захищається). Такі вставки виготовляється з металів з високою електричною провідністю;

2) плавкі вставки, які виготовляється з металів з великим питомим опором. Вони виготовляються з свинцю, сплавів свинцю з оловом, олова, цинку, алюмінію, тобто легкоплавких металів і з піроплавких металів, наприклад, мідь, срібло. Кращі характеристики мають вставки з легкоплавкого металу, дякуючи порівняно низькій температурі його плавлення (327-420°C). Проте свинець, олово, цинк володіють малою електропровідністю, тому плавкі вставки з цих металів мають значний перетин, особливо при великих номінальних струмах. В цьому відношенні перевага на стороні вставок з тугоплавких металів.

Вельми бажаними є плавкі вставки, які мають, з одного боку, переваги вставок з легкоплавких металів, тобто низьку температуру плавлення, а з іншого – переваги вставок з піроплавких металів, тобто малий перетин і високу розривну здатність. Такими плавкими вставками є вставки, в яких використовується так званий металургійний ефект. Вони виготовляються з мідного або срібного дроту з олов'яним розчинником, який прискорює процес плавлення вставки. Такий олов'яний розчинник напаюється посередині плавкої вставки. Це робить захисну характеристику більш прийнятною при малих кратностях струму. Плавка вставка перегорає в місці нанесення розчинника. Дуга, яка виникає в місці розриву, розплавляє плавку вставку по всій її довжині. Довжина вставки і її форма також робить вплив на її характеристику: із збільшенням довжини вставки її захисна характеристика погіршується.

4. Класифікація запобіжників

Плавкі запобіжники класифікуються:

- по номінальній напрузі;
- по номінальному струму плавкої вставки;

- по номінальному струму запобіжника;
- по допустимій розривній здатності;
- по місцю приєднання проводів або шин: передньому або задньому;
- по конструктивному виконанню: з відкритою плавкою вставкою; з напівзакритим патроном, з закритим розбірним або нерозбірним патроном, що найбільш часто зустрічається;
 - по характеру заходів, забезпечуючих швидке гасіння дуги: без наповнювача, коли гасіння дуги відбувається внаслідок високого тиску в патроні і руху газів; з наповнювачами, в яких дуга гаситься внаслідок їх великої теплоємності;
 - по формі: пластинчаті, що майже не використовуються; пробкові, вживані украй рідко; і трубчасті, які в даний час в силових установках застосовуються найбільш часто;
 - по виду захисної характеристики: інерційні, малоінерційні, безінерційні, швидкодійні.

5. Область використання

Плавкі запобіжники широко застосовуються в мережах до 1000 В. В даний час вони також застосовуються в розподільних мережах високої напруги до 110 кВ включно.

Правилами пристроїв електроустановок передбачається застосування запобіжників в електроустановках напругою вище 1000 В у всіх випадках, коли вони:

- а) задовольняють параметрам, що вимагаються (номінальна напруга і струм, граничний вимикаючий струм та ін.);
- б) задовольняють вимогам селективності і чутливості;
- в) дають можливість застосовувати необхідну за умов роботи автоматику (АПВ, АВР).

В установках напругою вище 1000 В плавкі запобіжники використовують в основному для захисту силових трансформаторів потужністю до 6,3 МВА, трансформаторів напруги, де застосування дорогих вимикачів в комплекті з трансформаторами струму і релейним захистом економічно не виправдано.

6. Конструкція плавких запобіжників

6.1 Запобіжники для електроустановок до 1000 В

В даний час широко застосовуються запобіжники серії ПР-2 з плавкими вставками на номінальний струм $I_{вс.ном}=6...1000$ А $U_{пр.ном}=380-500$ В (рис.1). Патронзапобіжника ПР-2 складається з товстостінної фібрової трубки 1, на кінцях якої щільно укріплені латунні трубки 2. На втулках є ковпачки 3, які закріплюють плавку вставку 5, пригвинчену до контактних ножів 4. Така конструкція дозволяє легко проводити заміну плавкої вставки в умовах експлуатації. Плавка вставка запобіжника виконана з листового цинку. Вона має перешийки, які полегшують гасіння дуги при струмах КЗ. Гасінню дуги сприяє виділення газів фібровою трубкою, які поступають в стовбур дуги, деіонізують

його і створюють підвищений тиск в патроні. При струмах КЗ розвивається значний тиск. Вимикаюча здатність запобіжників ПР-2 порівняно невелика. Вони застосовуються в невеликих, переважно пересувних установках.

Досконалішими є запобіжники з наповнювачем серії ПН-2 (рис. 2) на номінальні струми $I_{пр.ном}=100...1000$ А і напруги $U_{пр.ном}=380-500$ В.

Номінальний струм вимикання досягає $I_{в.ном}=50$ кА.

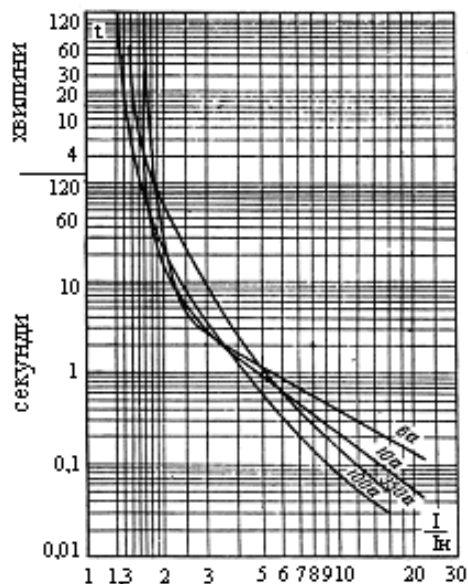
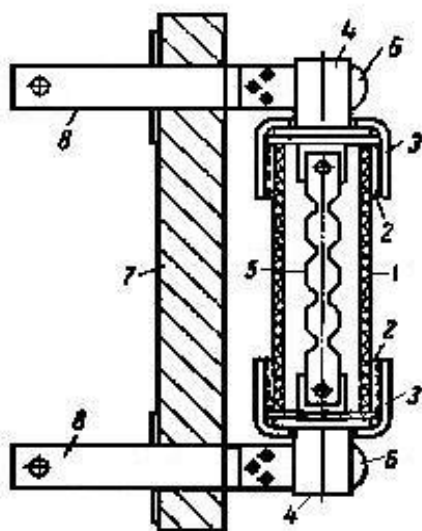


Рис. 1 Конструкція запобіжника серії ПР-2 (а) і його захисні характеристики (б).

Запобіжник ПН-2 (рис. 2) складається з фарфорового патрона 3, заповненого кварцовим піском (наповнювачем) і плавкої вставки 4. Плавка вставка виконана вузькими стрічками з штапованими отворами. В середині кожної стрічки на широкій частині знаходиться олов'яний розчинник. Наповнювач охолоджує газ, знижує тиск усередині патрона, деіонізує стовбур дуги при спрацьовуванні запобіжника. Запобіжник закріплений на основі 1 за допомогою затискачів 2.

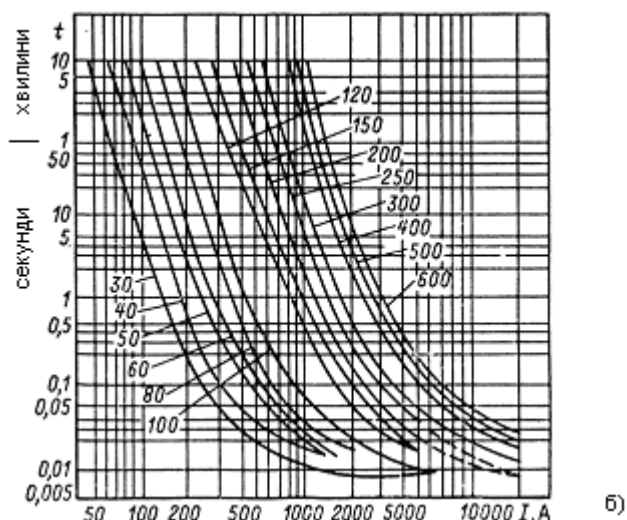
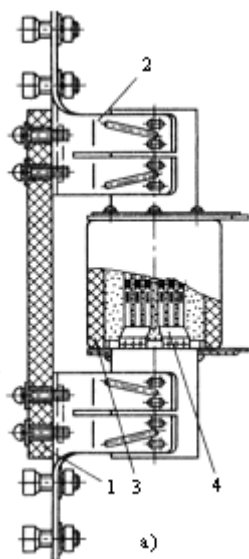


Рис. 2 Конструкція запобіжник серії ПН-2 (а) і його захисні характеристики (б).

Більш досконалі насипні запобіжники серії ПП-31 з нерозбірним патроном на струм $I_{\text{НОМ}}=32\dots1000$ А, напругою $U_{\text{НОМ}}=600$ В змінного та $U_{\text{НОМ}}=440$ В постійного струму. Всі струмоведучі частини запобіжника, у тому числі плавка вставка, виконані з алюмінію. Номінальний струм вимикання не менше $I_{\text{В.НОМ}}=100$ кА. Заміна запобіжників загальнопромислового виконання серії ПН-2 на запобіжники ПП-31 дозволить заощадити значну кількість мідного прокату.

6.2 Запобіжники для установок вище 1000 В

6.2.1. Запобіжники з кварцовим наповнювачем

В установках вище 1000 В широке розповсюдження отримали запобіжники з дрібнозернистим наповнювачем (кварцем). Металева плавка вставка поміщається в ізолювану трубку, заповнену кварцовим піском.

Гасіння електричної дуги, виникаючої в результаті перегорання вставки, відбувається особливо інтенсивно завдяки тому, що дуга горить у вузькому звивистому каналі, контактуючи з сипким піском. При цьому вона швидко охолоджується, а металеві пари, що утворюються при розплавленні, конденсуються в значному об'ємі піску.

При випаровуванні плавкої вставки опір дуги наростає настільки швидко, що вимикання кола відбувається раніше, ніж струм короткого замикання досягає найбільшого, тобто ударного значення. У зв'язку з тим, що запобіжник з кварцовою засипкою обмежує струм в колі, його називають струмообмежуючим.

Повний час вимикання струму короткого замикання запобіжників складає 0,005...0,007 с. При такому швидкому вимиканні у колі можуть виникати значні перенапруження, для попередження і зменшення яких застосовують ряд заходів.

Вимикання струмів короткого замикання проводиться запобіжниками абсолютно безшумно і не супроводжується підвищенням тиску.

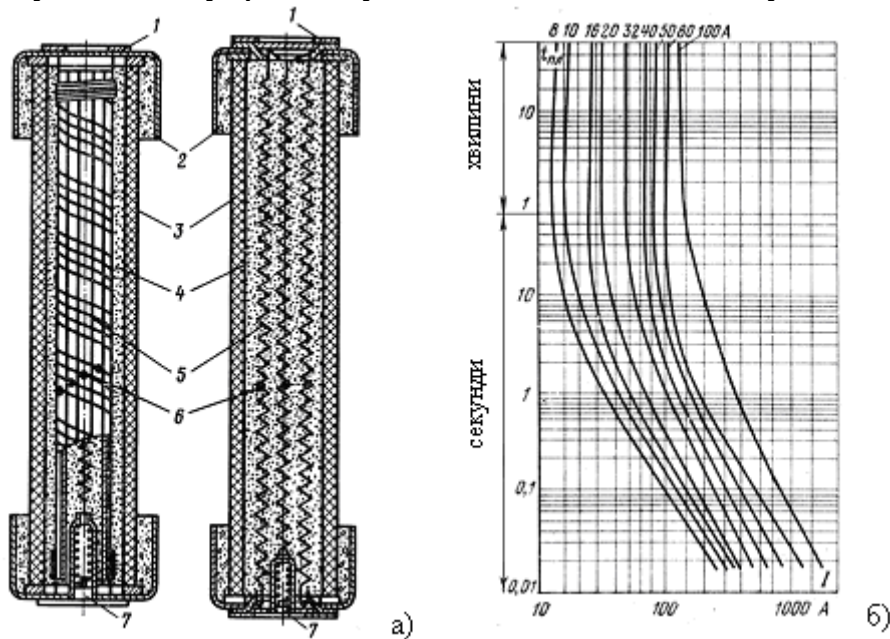


Рис. 3. Конструкція запобіжника серії ПК (а) і його захисні характеристики (б).

Для силових мереж з напругою до 35 кВ випускаються запобіжники типу ПК для внутрішньої вставки на номінальний струм до 400 А з потужністю вимикання до 300 МВА; для захисту трансформаторів напруги служать запобіжники типу ПКТ з потужністю вимикання до 1000 МВА.

Патрон запобіжника ПК (рис. 3а) - це фарфорова трубка 3, армована по кінцях латунними ковпачками 2 на цементному розчині. Плавка вставка 5 складається з декількох мідних посріблених дротин. В запобіжниках на струми до 7,5 А дріт намотаний на ребристий керамічний сердечник; при великих струмах вони розташовуються у вигляді вільних спіралей.

Патрон зі вставкою засипаний кварцовим піском 4, закритий з торців кришками 1 і герметично запаяний. Запобіжники ПК мають показчик спрацьовування 7 на нижній кришці патрона. Тут закріплена втулка з пружиною, яка натягує один дріт плавкої вставки 5, при перегоранні дроту пружина звільняється і вискакує з втулки назовні.

Запобіжники типу ПКТ не мають подібних показчиків спрацьовування і в них немає необхідності, оскільки запобіжники цього типу, включаються в коло трансформаторів напруги, і перегорання запобіжника негайно буде відзначено приладами, які живляться від вторинної обмотки трансформатора напруги.

При струмах, більших за 10 А, застосовують дві або більше паралельних дротин різних діаметрів з напайкою в середній частині олов'яних розчинників 6 діаметром 1...3 мм.

Плавка вставка, складається з декількох паралельних дротин, вільно розміщених в патроні, що призводить до кращого розподілу тепловіддачі. Крім того, застосування дротин двох різних діаметрів по довжині або допоміжних дротин знижує перенапруження при перегоранні, обмежуючи їх 2,5-кратним значенням робочої напруги.

Перевагою запобіжника типу ПК є велика потужність вимикання, простота пристрою, невеликі розміри і низька вартість. Завдяки цим перевагам, запобіжник ПК застосовується в нових компоновках розподільних пристроїв знижуючих підстанцій без вимикачів на стороні вищої напруги, що значно спрощує і здешевлює всю установку.

Слід зазначити, що плавкі вставки запобіжників ПКТ виконуються з однієї константової дротини, намотаної на керамічний сердечник, що має три різні перетини по довжині. Активний опір плавкої вставки ПКТ значний: 45...144 Ом в залежності від номінальної напруги. Патрони запобіжників вставляються в контактні губки, які монтується на відповідних опорних ізоляторах.

6.2.2. Запобіжники з автогазовим гасінням дуги

Запобіжники з автогазовим гасінням дуги виконуються на напругу 10 кВ і вище. Для відкритих розподільних пристроїв набули поширення вихлопні запобіжники типу ПВТ (рис. 4). Основною частиною запобіжника є газогенеруюча трубка 2 (рис. 4,б), усередині якої розташований гнучкий провідник 3 з плавкою вставкою 4 і контактним наконечником 1. Паралельно мідній вставці розташована сталева вставка 5, що сприймає зусилля пружини, прагнучої витягнути гнучкий провідник. Головка патрона запобіжника 1 (рис. 4.)

затиснута спеціальним утримувачем на ізоляторі 2. На нижньому ізоляторі на осі 4 закріплений контактний ніж 5 із спіральною пружиною, яка прагне повернути ніж в положення 5'. Ніж охоплює шийку контактної наконечника 6.

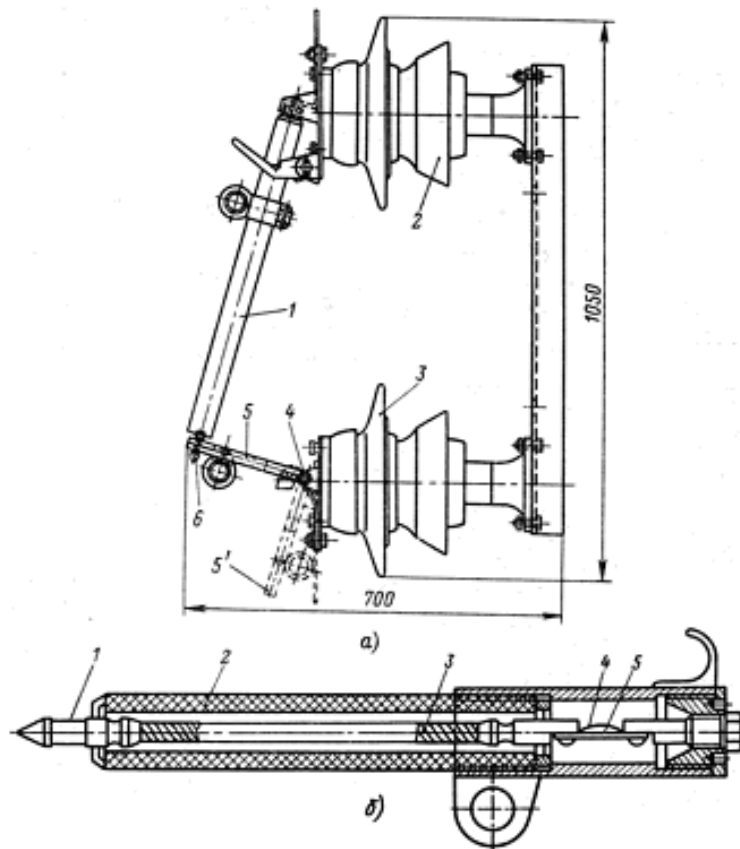


Рис. 4 Запобіжник серії ПВТ:
а – загальний вигляд;
б – патрони запобіжника

При КЗ спочатку розплавляється мідна, потім сталева вставка. Під дією пружини ніж 5 обертається і викидається гнучкий провідник. Дуга, що утворилася після розплавлення вставок, затягується в трубку, де інтенсивно виділяється газ. Тиск в трубці досягає 10...20 МПа, створюється інтенсивне повздовжнє автодутьтя, що гасить дугу. Гасіння супроводжується викидом розпечених газів і могутнім звуковим ефектом – пострілом. У зв'язку з цим запобіжники ПВТ встановлюються на відкритих РП так, щоб в зоні вихлопу не було електричних апаратів. В процесі вимикання довжина дуги збільшується у міру викиду гнучкого зв'язку, тому перенапружень не виникає.

Раніше ці запобіжники називалися стріляючими (ПСН).

6.2.3. Запобіжники з відкритим гасінням дуги (рогові)

Для зовнішньої установки в мережах 35 кВ використовуються рогові запобіжники типу ПРН-35 (рис.5). Оскільки ці запобіжники не мають спеціального дугогасильного пристрою, їхня розривна потужність обмежена. Вони застосовуються для захисту малопотужних установок напругою 35 кВ за умови, що струм КЗ не перевищує 60 А.

На електростанціях вони застосовуються тільки для захисту трансформаторів напруги 35 кВ з додатковим опором типу СДН-35, що обмежує струм КЗ.

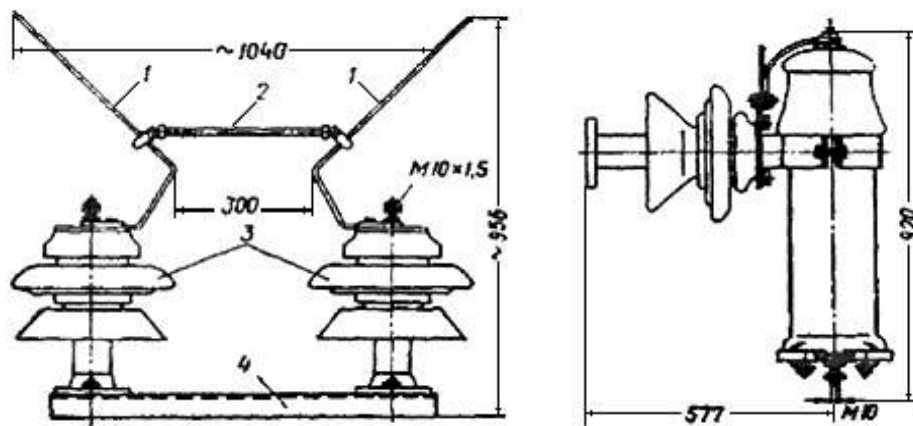


Рис. 5 Запобіжник роговий ПРН-35

Плавкі вставки запобіжників типу ПРН-35 виготовляються з мідного, сталевого або константанового дроту, поміщеного в заповнену тальком скляну трубку. При плавленні вставки тальк розкладається, тиск в трубці збільшується, через що скляна трубка руйнується. Відкрита дуга під дією електродинамічних сил підіймається вгору по рогах, розтягується до критичної довжини і гасне.

Випускається також стріляючий (газогенеруючий) запобіжник типу ПС - 35МУ1 для захисту мереж і електроустаткування зовнішніх установок напругою 35 кВ. Плавка вставка розташована усередині патрона. При перегоранні плавкої вставки контактний ніж під дією пружини тягне за собою гнучкий зв'язок. Дуга, що виникла на місці перегорання плавкої вставки, визиває виділення газу із стін винилпластового патрона. Тиск в трубці підвищується і утворюється повздовжньо-поперечне дугтя, яке гасить дугу. Запобіжник здатний вимикати струми $I_{в.ном} = 0,015 \dots 3,2$ кА.

Також використовується запобіжник ПС-110У1 для захисту установок 110 кВ на номінальний струм $I_{в.ном} = 50$ А. Порівняно висока вимикаюча здатність запобіжника досягається за рахунок спеціальної конструкції дугогасної камери. Запобіжник вимикає струми $I_{в.ном} = 0,01 \dots 2,5$ кА.

Область застосування запобіжників обмежена такими наступними їх недоліками:

- а) не завжди забезпечується селективність в роботі і узгодження своїх захисних характеристик з характеристиками інших захисних апаратів, встановлених в мережі послідовно з ними;
- б) можливість помилкового спрацьовування запобіжників і перегорання їх в одній фазі приводять до неповнофазного режиму роботи;
- в) застосування кварцових запобіжників для захисту кабелів викликає деяке завищення перетину останніх, що збільшує вартість електричної мережі;
- г) нестабільність захисних характеристик запобіжників.

При роботі запобіжник виконує дві задачі: по-перше, він повинен витримувати навантаження, що змінюються протягом терміну служби, і по друге, вимикати струми перевантаження і КЗ. Ці вимоги суперечливі, оскільки в першому випадку надійність роботи запобіжника підвищується у міру збільшення перетину плавкої вставки, в той же час для швидкого і надійного вимикання струмів перевантаження і КЗ доцільне використання невеликого перетину.

Вказані недоліки і суперечності усуваються застосуванням для захисту трансформаторів і кабелів керованих запобіжників.

Розроблені конструкції керованих запобіжників виконані на основі принципу механічного розриву кола плавкої вставки згідно сигналу релейного захисту.

Керовані запобіжники виконують дві функції – комутаційного апарату, замінюючи вимикач, і захисного пристрою, замінюючи пристрої найпростішого (струмового) релейного захисту. У всіх випадках, коли запобіжник може успішно виконувати вказані функції, його рекомендується застосовувати, оскільки він значно дешевше вимикачів та релейного захисту разом узятих.

6.3 Керовані запобіжники напругою до 1000 В

Такі запобіжники виконані на основі запобіжника ПН-2 (рис. 6). При перевантаженні захищеного елемента спрацьовує максимальний струмовий захист (МСЗ) та виходить в дію привод, пов'язана з ним втулка 4 повертається і натягує плавку вставку 1. Різучі ножі 3 врізаються в плавку вставку і розривають її. Виникла дуга гасне і відбувається вимикання відповідно до характеристики релейного захисту. При КЗ керований запобіжник працює як звичайний, оскільки його плавка вставка перегорає раніше, ніж спрацює релейний захист і вступає в дію привод.

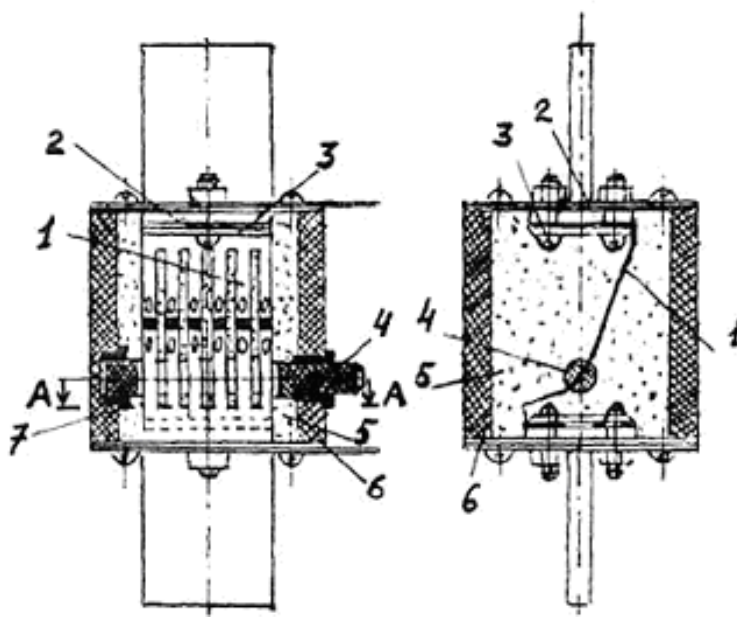


Рис. 6 Керований запобіжник напругою до 1000 В

Технічні дані деяких запобіжників

Тип запобіжника	Номинальна напруга, В	Номинальний струм запобіжника, А	Номинальний струм плавкої вставки, А	Номинальний струм вимикання, кА
НПН-2	500	63	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 63	10
ПН-2		100	31.5, 40, 50, 63, 80, 100	100
		250	80, 100, 125, 160, 200, 250	100
		400	200, 250, 315, 355, 400	40
		630	31.5, 400, 500, 630	25
ПН-22	380	100	31.5, 40, 50, 63, 80, 100	80
		250	80, 100, 125, 160, 200, 250	80
		400	200, 250, 315, 400	40
		630	315, 400, 500, 630	25
ПП-17	380	1000	500, 630, 800, 1000	120
ПП57-31	220	100	25, 40, 63, 100	–
	380		40, 63, 100	–
	660		63, 100	–
ПКТ	3000	2, 3.2, 5, 8, 10, 16, 20, 31.5		40
	6000			31,5
	10000			8
	35000			
ПКН	10000	–	–	–
	20000			–
	35000			–
ПВТ	10000	100		5
	35000			3,2
	110000			2,5

Порядок виконання роботи

На наочних установках в лабораторії необхідно вивчити конструкцію і принцип дії запобіжників. Ознайомитися з їх технічними характеристиками.

За результатами отриманих знань здобувачі вищої освіти формують звіт.

Оцінювання знань з напряму лабораторної роботи відбувається шляхом усного опитування за наведеними контрольними запитаннями.

Зміст звіту

1. Вказати назву і мету роботи;
2. Привести короткий зміст роботи, технічні характеристики плавких запобіжників, встановлених в лабораторії та наведених у методичних вказівках; Привести ескізи запобіжників і їх короткий опис.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення захисної (часо-струмової) характеристики запобіжників. Приведіть захисні характеристики запобіжників типу ПК -10.
2. Якими параметрами характеризується плавка вставка запобіжника?
3. Що впливає на захисну характеристику запобіжника?
4. По яких параметрах проводиться вибір запобіжників?
5. По яких параметрах проводиться вибір плавкої вставки запобіжника, виходячи з умов пуску електродвигунів в мережі що захищається?
6. Умови вибору плавкої вставки запобіжника у разі застосування запобіжника з плавкою вставкою з легкоплавкого матеріалу.
7. Умови вибору плавкої вставки запобіжника в мережі, де встановлений магнітні пускачі або контактори.
8. Що таке чутливість і селективність плавких запобіжників?
9. Як проводиться перевірка селективності між запобіжниками на стороні 10 і 0,4 кВ трансформатор?
10. Приведіть характеристику запобіжників, розділяючи за способом гасіння дуги.
11. Вкажіть переваги кварцових запобіжників?
12. Поясніть, в чому полягає струмообмежуючий ефект запобіжників серії ПК, приведіть його характеристику.
13. Як забезпечується захист від перенапружень в запобіжниках?
14. Приведіть ескіз і короткий опис роботи вихлопного запобіжника на 10 кВ.
15. Поясніть призначення керованих запобіжників і принцип їх роботи.
16. В чому відмінність захисної характеристики стандартного і керованого запобіжника?

4. Лабораторна робота ЕП-7 «Дослідження конструкції і принципу дії роз'єднувачів, віддільників та короткозамикачів»

Мета роботи: досягти результату навчання: визначати будову та принципи роботи електричних апаратів розподільчих пристроїв високої напруги, а також конструкції вузлів апаратів, режимів їх роботи, експлуатаційні характеристики, через дослідження основних вимог, призначення і конструктивного виконання роз'єднувачів, короткозамикачів і віддільників внутрішньої та зовнішньої установки.

Методичні вказівки

1. Роз'єднувачі.

Загальні відомості.

Роз'єднувач – це контактний комутаційний апарат, призначений для вмикання і вимикання електричного кола без струму або з незначним струмом, а також для створення видимого розриву кола.

Роз'єднувачі виготовляють без дугогасильних пристроїв, вони мають невелику вимикаючу здатність. Застосовуються, як правило, на додаток до вимикачів. У разі помилкового вимкнення струмів навантаження виникає стійка дуга, яка виводить з ладу роз'єднувач, може призвести до міжфазного короткого замикання і нещасних випадків з обслуговуючим персоналом. Перед операцією з роз'єднувачем лінія повинна бути знеструмлена вимикачем.

Проте в спрощених схемах допускається за допомогою роз'єднувачів вмикання і вимикання кіл з невеликими струмами. До таких операцій відносяться: вмикання і вимикання ненавантажених силових трансформаторів і ліній, трансформаторів напруги тощо.

Правила технічної експлуатації суворо нормують види операцій і допустимі параметри ліній, що вимикаються роз'єднувачами.

Роз'єднувачі виготовляють для внутрішньої (РВ) і зовнішньої (РНД) установки однополюсного (РВО) і трьохполюсного виконання (РВ, РВК) (в останньому випадку буква «Т» не позначається) і з заземлюючими ножами (РНДЗ) і без них («Д» – позначає двоколонкову конструкцію).

Позначення типу роз'єднувача має наступний вигляд:

РВФ-6/400 11У3 – роз'єднувач внутрішньої установки з фігурним виконанням прохідних ізоляторів на номінальну напругу 6 кВ і номінальний струм 400 А. Цифра 11 показує, що прохідні ізолятори встановлені з боку шарнірних контактів. Буква «У» - кліматичне виконання, вказує, що роз'єднувач призначений для роботи в районах з помірним кліматом, а цифра 3 – категорія розміщення (в закритих приміщеннях з природною вентиляцією).

РЛНД-10/630У1 – роз'єднувач лінійний (з лінійними контактами), зовнішньої установки, двоколонковий на номінальну напругу 10 кВ і

номінальний струм 630 А, та призначений для роботи в районах з помірним кліматом на відкритому повітрі.

По конструкції розрізняють роз'єднувачі рубаючого типу (рух ножа у вертикальній площині); поворотного типу (рух ножа в горизонтальній площині), а також типів, що котяться, пантографа і підвісного.

Роз'єднувачі для внутрішньої установки

На рис. 1 приведена контактна система роз'єднувача рубаючого типу. На ізоляторі 1 укріплена мідна шина, зігнута під прямим кутом, яка є нерухомим контактом 2. Бічні частини контакту 2 оброблені під циліндричну поверхню, тому з пластинами ножа 6 утворюється лінійний контакт. Пружини 4, насаджені на стрижень 5, натискають на сталеві пластини 3, які своїми виступами притискають ножі 6 до нерухомого контакту. Чим більше тиск на контакт, тим менший перехідний опір.

При проходженні струмів i по пластинах ножа 6 виникають електродинамічні зусилля, що притягують пластини одна до одної, оскільки струми протікають у будь-який момент часу в одному напрямку. В місцях переходу струмів з пластин ножа 6 в нерухомий контакт 2 струми змінюють свій напрям і створюються відштовхуючі електродинамічні зусилля. При великих струмах короткого замикання сили відштовхування можуть привести до відбросу пластин ножа від нерухомого контакту, при цьому утворюється дуга, що призводить до аварії. Щоб уникнути відкидання пластин, у роз'єднувачах передбачається пристрій магнітного замка. Він складається з двох сталевих пластин 3, розташованих зовні ножа, які, по-перше, служать для передачі тиску від пружин 4, а по-друге, намагнічуючись струмами КЗ, притягуються один до одного і створюють додатковий тиск на контакт. Контактна система роз'єднувача на другому ізоляторі має таку ж конструкцію, але контакти виходять ковзаючими, оскільки ніж обертається навкруги осі 7. Такі роз'єднувачі призначені на номінальні струми до 1000 А, наприклад: РВ-10/1000У3. При номінальних струмах від 2000 до 8000 А застосовують роз'єднувачі з ножами коробчатого типу. Наприклад: РВК-10/2000У1 або РВР-24/2000Т3 (для районів з тропічним кліматом, установка в закритих приміщеннях).

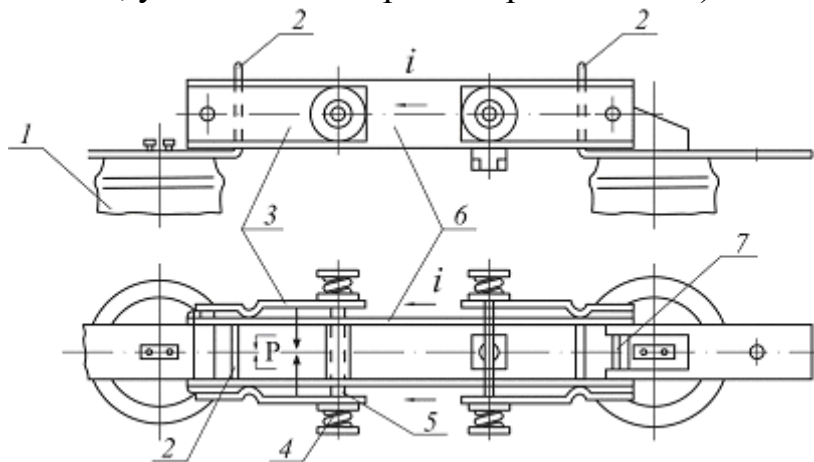


Рис. 1. Роз'єднувач внутрішньої установки.

Для управління головними й заземлюючими ножами передбачають приводи, пристрій яких залежить від номінального струму роз'єднувача. При номінальних струмах до 4000 А звичайно застосовують ручні приводи важелів типу ПР. Роз'єднувачі з номінальними струмами 4000 А і вище забезпечують приводами з черв'ячною передачею, оскільки значно зростають сили тертя в контактах. Черв'ячні передачі можуть забезпечуватися ручним управлінням типу ПЧ-50, або електродвигунним типу МРВ. Для заземлюючих ножів встановлюють ручні приводи важелів, які забезпечують блокуванням для виключення помилкових вмикань.

Роз'єднувачі для зовнішньої установки

В даний час в Україні найбільше розповсюдження мають роз'єднувачі горизонтально-поворотного типу з ножами, що обертаються в горизонтальній площині, паралельній підставі, типу РНД. Вони виготовляються для напруг від 35 до 500 кВ включно.

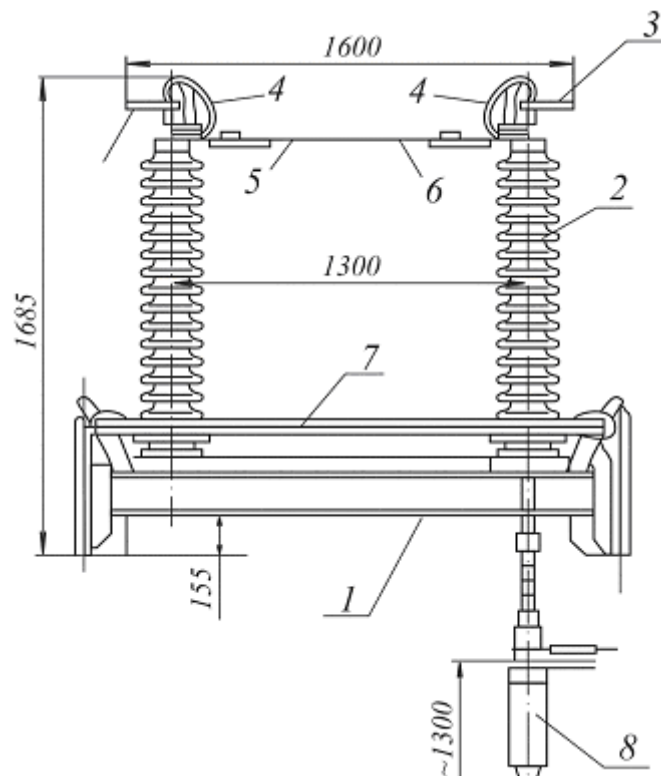


Рис. 2. Роз'єднувач зовнішньої установки.

На рис. 2 показаний роз'єднувач типу РНД3.2-110/1000У1 з двома заземлюючими ножами. Він має дві колони ізоляторів 2, встановлені вертикально в підшипниках на сталевій рамі 1. При повороті ізоляторів повертаються і ножі 5 і 6, укріплені на головках ізоляторів. Затиски 3 для приєднання шин до роз'єднувача укріплені на головках ізоляторів шарнірно і з'єднані з ножами гнучкими стрічками 4. Контакти роз'єднувача знаходяться в місці стику ножів. Вони складаються з ряду ламелей на головному ножі 5 і

“лопатки” на головному ножі 6. Тиск в контактах створюється пружинами. Ножі роз’єднувача пристосовані для роботи в зимовий час при ожеледі.

В процесі вимикання ніж як би “ламається” й руйнує кригу, що утворилася на контактах. Роз’єднувач забезпечений ножами для заземлення 7, двома на полюс. Полюси трьохполюсного роз’єднувача зв’язані між собою системою важелів і керуються за допомогою загального приводу 8. Заземлюючі ножі мають окремі приводи, блоковані з приводами головних ножів.

2. Короткозамикачі і віддільники

Короткозамикач – це комутаційний апарат, призначений для створення штучного короткого замикання в електричному колі.

Короткозамикачі застосовуються в спрощених схемах підстанцій для того, щоб забезпечити вимикання пошкодженого трансформатора.

Віддільники призначені для вимикання пошкодженого трансформатора в безструмову паузу коли лінія, яка живить трансформатор, вимкнена.

Розглянемо схему, приведену на рис. 3, яка пояснює призначення короткозамикачів і віддільників.

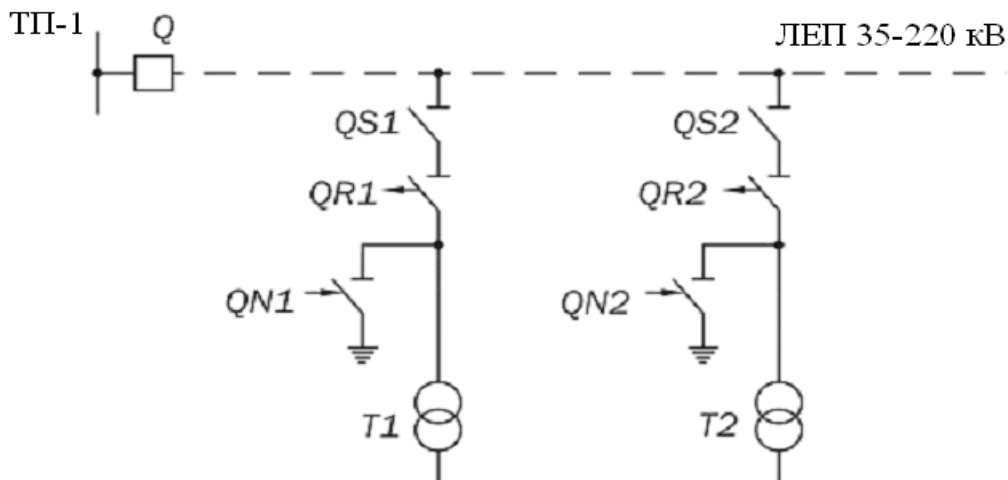


Рис. 3. Спрощена схема електропостачання з короткозамикачами та віддільниками.

До одиночної лінії електропередачі (ЛЕП) напругою 35-220 кВ приєднано два знижувальних трансформатора Т1 і Т2 через роз’єднувачі QS1 і QS2 або вимикачі навантаження але без силових вимикачів в цілях економії засобів. При такій схемі електропостачання, у разі пошкодження одного з трансформаторів, наприклад Т1, він повинен бути вимкнений разом з ЛЕП лінійним вимикачем Q, розташованим на значній відстані від Т1 на живлячій підстанції ТП-1. Релейний захист, встановлений на початку ЛЕП на ТП1, може не спрацювати при внутрішньому пошкодженні трансформатора, якщо струм малий. Спрацює більш чутливий захист трансформатора Т1 (диференціальний, газовий). Захист подає команду на вмикання короткозамикача QN1, що створює штучне КЗ в системі електропостачання при цьому струм в лінії різко збільшується, і релейний захист

вимкне вимикачем Q лінію разом з трансформаторами T1 і T2. Після вимкнення ЛЕП спрацьовує віддільник QR1 і ізолює пошкоджений трансформатор від мережі. Лінія вмикається АПВ (автоматичне повторне вмикання вимикача Q) і електропостачання споживачів (T2 та інших), приєднаних до ЛЕП, відновлюється.

Короткозамикач або двополюсний роз'єднувач забезпечені пружинним приводом для автоматичного вмикання. В установках із заземленою нейтраллю (110 кВ і вище) застосовується один короткозамикач (рис. 4а), що достатньо для створення короткого замикання. В мережах з ізолюваною нейтраллю (35 кВ) застосовують два полюси короткозамикача, при спрацьовуванні яких створюється штучне двофазне коротке замикання (рис. 4б). При вмиканні короткозамикача, щоб уникнути виникнення дуги і пошкодження апарату необхідно забезпечити велику швидкість руху ножа. В існуючих конструкціях час вмикання короткозамикача складає 0,4...0,5 с.

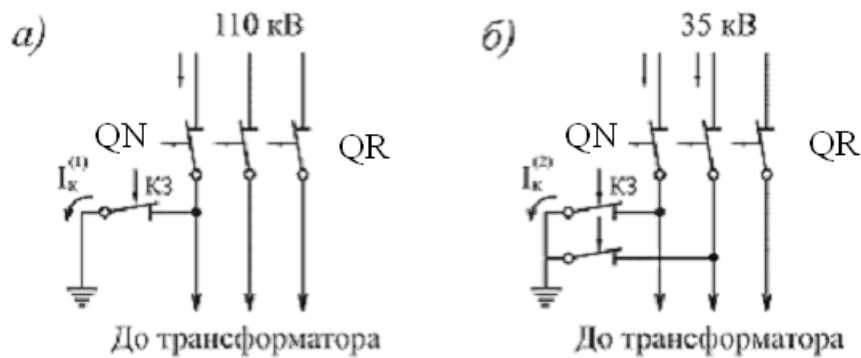


Рис. 4. Схеми приєднання короткозамикачів до мереж 35...110 кВ;

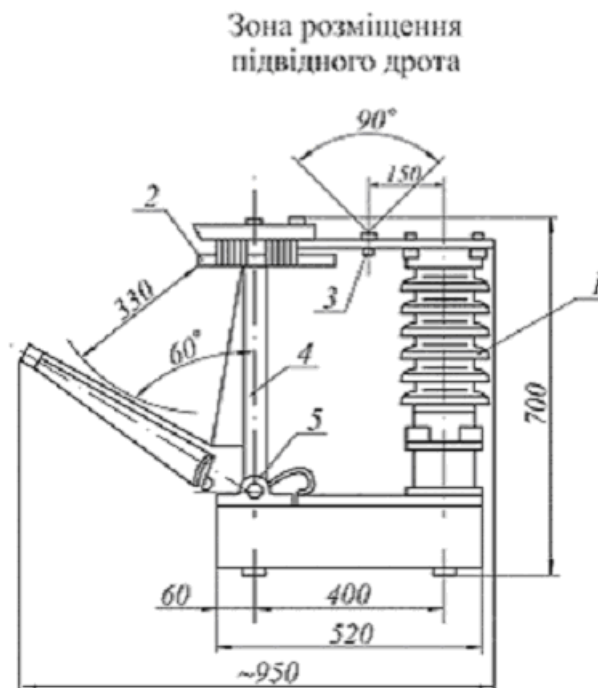


Рис. 5. Короткозамикач напругою 35 кВ.

На рис. 5 показаний короткозамикач типу КЗ-35 на 35 кВ. Він має один опорний ізолятор 1, на головці якого встановлений нерухомий контакт 2 і затиск 3 для приєднання дроту. Заземлюючий ніж 4 укріплений на валу 5 і при вмиканні повертається на кут 60°. Короткозамикач забезпечений пружинним приводом, діючим на включення. Відключення проводиться вручну.

Конструктивно віддільник – це звичайний трьохполюсний роз'єднувач, забезпечений приводом для автоматичного управління. Він дозволяє проводити операції вмикання і вимикання ділянок кола, заздалегідь вимкнених вимикачами. Час вимикання пружинним приводом складає 0,5-1 с. Вмикання проводиться рукоміць. Застосовують віддільники типу ОД.

Недоліком існуючих віддільників і короткозамикачів є відносно великий час спрацьовування, у наслідок чого, перерва в подачі електроенергії виходить значною. З другого боку, ці апарати недостатньо надійні у несприятливу погоду. В зимовий час при морозі і ожеледі мають місце випадки відмов.

Технічні дані деяких роз'єднувачів, короткозамикачів та віддільників

Тип апарата	Номинальна напруга, кВ	Номинальний струм, А	Струм динамічної стійкості, кА	Струм термічної стійкості, кА	Тип привода
Роз'єднувачі					
РВ-6/400У3	6	400	41	16	ПР-10, ПР-11
РВФ-10/400 ІУ3	10	400	41	16	ПР-10, ПР-11
РЛНД-10/630У1	10	630	35,5	12,5	ПРН-10МУ1
РНД-35/1000У1	35	1000	63	25	ПВ-20У2
РНД-110/630Т1	110	630	80	31,5	ПР-Т1
Короткозамикачі					
КЗ-35Т1	35	–	42	12,5	ШПКТ
КЗ-110Б-У1	110	–	32	12,5	ПРК-1У1
КЗ-220У1	220	–	51	20	ПРК-1У1
Віддільники					
ОД-35/630У1	35	630	80	12,5	ПРО-1У1
ОД-110/800Т1	110	800	80	31,5	ПРО-1Т1
ОД-220/1000У1	220	1000	80	31,5	ПРО-1У1

В даний час розроблена конструкція віддільників і короткозамикачів з контактною системою, розташованою в закритій камері, заповненій елегазом. Перевагою елегазових віддільників і короткозамикачів являється їх чітка робота в умовах несприятливої погоди (мороз, ожеледь), а також малий час вмикання короткозамикачів і вимикання віддільників.

Порядок виконання роботи

Дослідження конструкцій роз'єднувачів, короткозамикачів і віддільників проводиться на стендах в лабораторії, а також на діючій підстанції.

При виконанні роботи студент повинен звернути увагу на конструктивні особливості різних комутаційних апаратів залежно від їх призначення і області застосування, а також вивчити основні технічні характеристики апаратів.

В результаті виконання лабораторної роботи здобувач вищої освіти повинен:

- знати типи і призначення роз'єднувачів (*QS*), короткозамикачів (*QN*) і віддільників (*QR*) (в дужках вказаний буквенний код згідно діючого ДЕСТУ);
- знати конструктивне виконання, переваги і недоліки *QS*, *QN* і *QR*;
- уміти вибирати типи *QS*, *QN* і *QR* в залежності від напруги і роду установки.

За результатами отриманих знань здобувачі формують звіт.

Оцінювання знань з напряму лабораторної роботи відбувається шляхом усного опитування за наведеними контрольними запитаннями.

Зміст звіту

Звіт повинен містити призначення, основні типи, короткі технічні характеристики і конструктивне виконання роз'єднувачів, короткозамикачів і віддільників та схему підстанції з блоками «віддільник-короткозамикач». Матеріали звіту студент повинен використовувати при підготовці до здачі екзамену з дисципліни.

Контрольні запитання

1. Визначення і призначення роз'єднувачів, короткозамикачів і віддільників, їх буквенний код.
2. Назвіть область застосування роз'єднувачів.
3. Які застосовують типи роз'єднувачів?
4. Як влаштований магнітний замок роз'єднувача, його призначення?
5. Для чого застосовують заземлюючі ножі роз'єднувачів?
6. Які приводи застосовують для роз'єднувачів?
7. Розкажіть принцип дії роз'єднувача типу РНДЗ 2-110/1000.

8. Розкажіть послідовність роботи комутаційних апаратів у спрощеній схемі підключення знижувальних трансформаторів за допомогою віддільників і короткозамикачів.
9. В яких випадках застосовують однополюсні та двополюсні короткозамикачі?
10. Які застосовують типи віддільників і короткозамикачів?
11. Недоліки повітряних короткозамикачів і віддільників.
12. Чому віддільником не можна розривати коло під навантаженням?
13. Назвіть основні переваги елегазових віддільників і короткозамикачів.

5. Лабораторна робота ЕП-13 «Дослідження конструкції і принципу дії вакуумних вимикачів»

Мета роботи: досягти результату навчання: визначати будову та принципи роботи електричних апаратів розподільчих пристроїв високої напруги, а також конструкції вузлів апаратів, режимів їх роботи, експлуатаційні характеристики, через дослідження конструкції і принципу дії, призначення та області застосування, дугогасильних пристроїв вакуумного вимикача.

Методичні вказівки

Електрична міцність вакууму значно вище міцності інших середовищ, застосовуваних у вимикачах. Пояснюється це збільшенням довжини середнього вільного пробігу електронів, атомів, іонів і молекул при зменшенні тиску. У вакуумі довжина вільного пробігу часток перевищує розміри вакуумної камери. У цих умовах удари часток об стінки камери відбуваються значно частіше, чим зіткнення між частками. При настільки високій електричній міцності відстань між контактами може бути дуже мала (2 — 2,5 мм), тому розміри камери можуть бути також відносно невеликими.

Процес відновлення електричної міцності проміжку між контактами при відключенні струму протікає у вакуумі значно швидше, ніж у газах, що обумовлює високу ефективність вакууму, як дугогасильного середовища.

Переваги вакуумних вимикачів:

- відсутність необхідності в заміні і поповненні дугогасильного середовища;
- висока зносостійкість при комутації номінальних струмів і струмів КЗ;
- мінімум обслуговування, зниження експлуатаційних витрат;
- швидке відновлення електричної міцності $(10\div 50) \cdot 10^3$ В/мкс;
- повна вибухо - і пожежобезпечність;
- надійна робота у випадку, коли в процесі відключення малого струму в ланцюзі виникає струм КЗ (ДП масляних вимикачів можуть вибухнути);
- широкий діапазон температур навколишнього середовища, у якому можлива робота ВДК (від -70 до +200°C);
- підвищена стійкість до ударних і вібраційних навантажень;
- довільне робоче положення вакуумного ДП;
- безшумність, чистота, зручність обслуговування, обумовлені малим виділенням енергії в дузі і відсутністю зовнішніх ефектів при вимиканні КЗ;
- відсутність забруднення навколишнього середовища;
- висока швидкодія.

Принцип роботи вакуумного вимикача

Пристрій вакуумної камери показаний на рис. 1. Вона складається з наступних частин: склокерамічної оболонки 1, сталевих торцевих фланців 2, мідних контактних стрижнів — нерухомого 3 і рухомого 4, електродів 5, сталевого

ребристого силфона 6, привареного до рухомого контактної стрижня 4, екранів 7, 8, 9.

Тиск у камері складає близько $1,3 \cdot 10^{-5}$ Па. Метали, використовувані для контактів, повинні мати механічну міцність, високою провідністю, стійкістю щодо ерозії і зварювання. Застосування одержали бінарні сплави Cu—Bi, Cu—Te, Ag—Bi та ін.

У положенні «увімкнено» електроди притиснуті друг до друга пружиною привода із силою близько 3000 Н. У процесі вимикання контакти розмикаються. Швидкість руху контактів складає близько 1,5 м/с. При цьому струм проходить через невеликі площадки торкання в яких опір швидко збільшується, що веде до виділення великої кількості тепла і плавленню металу електродів. Утворюється рідкий металевий місток, який під дією високої температури нагрівається і випаровується. Загоряється так звана вакуумна дуга, що фактично горить у середовищі пар металу електродів. Іони, що утворюються під дією високої температури, рухаються до електродів, створюючи поблизу їх відповідні об'ємні заряди.

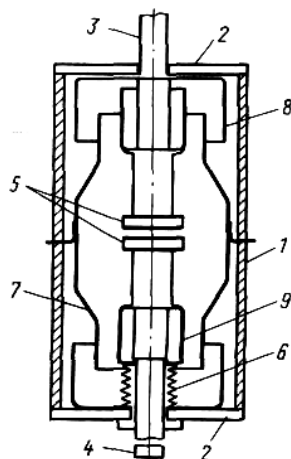


Рис 1. Вакуумна дугогасильна камера

Потік електронів направляєтся до анода і робить його бомбардування. Вивільнювані з анода позитивні іони рухаються до катода і руйнують його. Мала щільність газу в колбі обумовлює дуже швидко дифузію зарядів через велику різницю щільностей часток у дузі і вакуумі. Швидка дифузія часток, висока електрична міцність вакууму дозволяє ефективно гасити дугу у вакуумному вимикачі. Коли струм підходить до нульовому значенню, дуга вгасає і пароутворення припиняється. Якщо швидкість електричної міцності проміжку, що відновлюється, перевищує швидкість повторного відновлення напруги, ланцюг виявляється розімкнутою. При змінному струмі після проходження струму через нуль унаслідок дифузії відбувається швидке зменшення кількості зарядів і через 10 мкс між контактами відновлюється електрична міцність вакууму.

Для того, щоб зменшити кількість зарядів у дузі, що утворилася, як матеріал для електродів застосовують вольфрам, що має високу температуру

плавлення і велику роботу виходу електронів, крім того, контакти з вольфраму стійкі проти зварювання.

Для роботи вакуумного вимикача має велике значення дегазація контактів, тому що гази, адсорбовані контактами, при розігріві електродів виділяються і погіршують вакуум вимикача. З метою видалення газових включень з контактів їх нагрівають на протязі декількох годин до червоного розжарювання.

При роботі вимикача розпилені матеріали контактів осаджуються на поверхню ізоляційного циліндра, що створює можливість перекриття ізоляції апарата. Для захисту циліндра від часток металу електроди захищаються спеціальними металевими екранами.

Контактна система вакуумного вимикача працює в тяжких умовах. Наявність вакууму, що оточує контакти, погіршує охолодження, яке відбувається в основному за рахунок теплопровідності тіла контактів і випромінювання. За рахунок удосконалювання конструкції камери і застосування нових контактних матеріалів струм вимикання вакуумних камер доведений до 40 кА при напрузі 15 кВ.

В даний час основними виробниками вакуумних вимикачів є фірми Siemens, Tawrida Elektric, РЗВА та АВВ.

Вакуумні вимикачі ВВ/ТЕ (надалі - вимикачі) призначені для роботи в комплектних розподільних пристроях (КРП) і камерах стаціонарних однобічного обслуговування (КСО) внутрішньої і зовнішньої установки класу напруги до 20 кВ трифазного змінного струму 50 Гц для систем з ізолюваної і заземленої нейтралі. В основі конструктивного рішення вимикача лежить використання пофазних електромагнітних приводів з «магнітною засувкою», механічно зв'язаних загальним валом-синхронізатором. Паралельно з'єднані котушки електромагнітних приводів фаз вимикача при виконанні команд підключаються до попередньо заряджених конденсаторів у блоках керування. Така конструкція дозволила досягти наступних відмінних рис у порівнянні з традиційними вакуумними вимикачами (ВВ):

- високий механічний і комутаційний ресурс;
- мале енергоспоживання по шинах оперативної напруги;
- малі габарити і вага;
- легкість і простота адаптації в будь-які типи КРП, КСО;
- можливість використання в широкому діапазоні оперативної напруги живлення вторинних ланцюгів;
- необслуговування протягом усього терміну експлуатації.
- низька трудомісткість виробництва і, як наслідок, помірна ціна.

На відміну від більшості існуючих вимикачів, в основу пристрою ВВ/ТЕ закладений принцип роздільного керування контактами вакуумних дугогасильних камер фаз апарата. Даний принцип дозволив істотно зменшити кількість частин привода, що рухаються.

Технічні характеристики вакуумних вимикачів ВВ/TEL приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики вимикачів ВВ/TEL

Найменування показника	Значення
Номінальна напруга, кВ	10; 20
Найбільша робоча напруга, кВ	12; 24
Номінальний струм, А	630; 1000; 1600
Номінальний струм вимикання, кА	12,5; 20
Тік термічної стійкості, кА	12,5; 20
Наскрізний струм короткого замикання, кА	32; 52; 81
Час протікання струму термічної стійкості, с	3
Повний час вимикання, с	0,09
Власний час вимикання вимикача, с	0,015
Власний час вмикання, с	0,07
Повний час вмикання, с	0,1
Неодночасність замикання і розмикання контактів, с	0,004
Номінальна напруга котушок електромагнітів, В	220
Механічний ресурс, циклів	50000
Термін служби до списання, років	25

Вакуумні дугогасильні камери встановлені усередині порожніх опорних ізоляторів, закріплених на загальній підставі. Рухомі контакти дугогасильних камер жорстко з'єднані зі своїми приводами за допомогою ізоляційних тяг, що також розташовуються усередині опорних ізоляторів. Таким чином, всі елементи конструкції полюса мають загальну вісь симетрії, уздовж якої роблять зворотно-поступальний рух деталі механізму. Це дозволяє істотно спростити кінематичну схему ВВ/TEL, відмовитися від застосування навантажених шарнірних і підйомних ланок, що, у свою чергу, дає можливість створення комутаційного апарата з високим механічним ресурсом, не потребуючого

обслуговування і регулювання протягом усього терміну служби. Приводи фаз розташовуються усередині основи вимикача. Вони механічно з'єднані між собою за допомогою загального вала, що виконує наступні функції:

- забезпечує синхронізацію фаз, охороняючи від неповнофазних режимів роботи;
- пускає в хід допоміжні контакти вимикача;
- забезпечує механічне блокування роботи РП, у якому установлений ВВ/TEL;
- керує візуальними індикаторами положення ВВ/TEL.
- У додатку 1, 2 представлений приклад конструкції вимикача з номінальним струмом 1000 А.

Порядок виконання роботи

Перед виконання лабораторної роботи здобувачі вищої освіти повинні теоретично ознайомитись з призначенням, конструкцією, принципом дії й способом гасіння дуги вакуумних вимикачів.

В ході проведення заняття здобувачі застосовують набуті теоретичні знання з напряму дослідження лабораторної роботи на діючих зразках електричного обладнання у супроводі з викладачем.

За результатами отриманих знань здобувачі вищої освіти формують звіт.

Оцінювання знань з напряму лабораторної роботи відбувається шляхом усного опитування за наведеними контрольними запитаннями.

Зміст звіту

Звіт повинен містити опис принципу дії вакуумного вимикача, основні технічні характеристики; короткий опис конструкцій вакуумного вимикача та його дугогасильних приладів, а також ескіз вимикача та вакуумної дугогасильної камери.

Контрольні запитання

1. Принцип дії вакуумної дугогасильної камери.
2. Переваги вакуумних дугогасильних пристроїв.
3. Як відбувається гасіння дуги постійного струму у вакуумному вимикачі?
4. Призначення екранів ДП у вакуумному вимикачі.
5. Вимоги до матеріалу електродів вакуумного вимикача.
6. Гасіння дуги змінного струму у вакуумному вимикачі.
7. Переваги вакуумних вимикачів.

6. Лабораторна робота ЕП-14 «Дослідження конструкції і принципу дії елегазових вимикачів»

Мета роботи: досягти результату навчання: визначати будову та принципи роботи електричних апаратів розподільчих пристроїв високої напруги, а також конструкції вузлів апаратів, режимів їх роботи, експлуатаційні характеристики, через дослідження конструкції і принципу дії, призначення та галузі застосування елегазових вимикачів.

Методичні вказівки

Елегазовий вимикач - це комутаційний апарат, що використовує елегаз для гасіння електричної дуги, яка виникає при комутації навантажених електричних кіл.

Елегаз (електричний газ, SF_6) -неорганічна речовина, за стандартних умов являє собою важкий газ (у 5 разів важчий за повітря). Сполука була вперше отримана та описана у 1900 році. Практично не має кольору, не має смаку та запаху. Характеризується високою пробивною напругою – 89 кВ/см, що утричі вище, ніж у повітря за нормального тиску. Відносна діелектрична проникність – 1,0021.

Гексафторид сірки (елегаз) – достатньо інертна нетоксична хімічна сполука, не реагує з водою, воднем та киснем, що особливо важливо при витоків газу з резервуарів у разі їх пошкодження.

При витоків елегаз опускається вниз. При значних об'ємах витоків елегаз витісняє повітря знизу догори, при утворенні шару газу вище 1 м над підлогою створюються умови, коли обслуговуючий персонал об'єкта, де стався виток, може зазнати задухи або втратити свідомість через нестачу кисню в атмосфері або повну його відсутність у разі заповнення приміщення елегазом на весь зріст людини. Тому на об'єктах, де використовується елегаз, ведеться постійний контроль та облік кількості наявного елегазу для попередження витоків та безпечної роботи обслуговуючого персоналу.

Область застосування елегазу:

- в якості ізолятора та теплоносія у високовольтній електротехніці;
- в якості технологічного середовища в електронній та металургійній промисловості;
- у системах газового пожежогасіння в якості речовини, що здатна загасити полум'я;
- в якості холодоагента завдяки високій теплоємності, низькій теплопровідності та низькій в'язкості;
- для покращення звукоізоляційних властивостей у склопакетах;
- у напівпровідниковій промисловості для плазмохімічного травлення кремнію.

Електрична міцність при атмосферному тиску становить 89 кВ/см. Характерним є дуже великий коефіцієнт теплового розширення та висока щільність. Це важливо для енергетичних установок, у яких проводиться охолодження певних частин пристрою, оскільки при значному коефіцієнті теплового розширення легко утворюється конвективний потік, що уносить тепло.

Елегазові вимикачі призначені для оперативного вмикання та вимикання окремих електроустановок напругою 6 – 1150 кВ та електрообладнання в енергосистемах у нормальних та аварійних режимах роботи при ручному, дистанційному та аварійному управлінні.

На сьогоднішній день використання елегазу в якості середовища для дугогасіння є більш ефективним порівняно зі стисненим повітрям та маслом і використовується у вимикачах змінного струму високої та надвисокої напруги. Основними перевагами елегазового обладнання є висока надійність та значні міжревізійні терміни. За умов правильної експлуатації елегаз не зазнає старіння та не потребує постійного контролю та заміни, як трансформаторне масло. Сучасне елегазове обладнання не потребує заміни елегазу протягом усього терміну експлуатації. Також перевагами елегазових вимикачів є компактність, широкий діапазон номінальних напруг (6 - 1150 кВ); пожежобезпечність та підвищена порівняно з масляними вимикачами безпечність обслуговування.

Елегазові вимикачі призначені для роботи у складних атмосферних умовах: при температурах повітря від -35 до + 40 °С, можуть встановлюватися на висоті понад 1000 м над рівнем моря. В процесі експлуатації таких апаратів здійснюються цикли увімкнення та вимикання електричних кіл. При експлуатації вимикача в межах номінального струму (2000 А), він здатний здійснити операцію вимикання 6000 разів, а при аварійному режимі через нього проходить, як правило, струм короткого замикання, в такому режимі апарат здатний витримати 400 циклів «вмикання/вимикання».

Елегазовий вимикач на 35 кВ має номінальний струм більший, ніж в апаратах, розрахованих на 110 кВ, він становить 3150 А, а номінальний струм вимикання – 50 кА. Ці прилади розраховані на найбільший піковий струм вимикання 127,5 кА.

Конструкція елегазового вимикача

За конструкцією розрізняють колонкові та бакові вимикачі. Колонкові зовнішньо за розмірами принципово не відрізняються від маломасляних вимикачів, окрім того, що в сучасних елегазових вимикачах до 220 кВ є лише один розрив електричного кола на кожну фазу.

Бакові елегазові вимикачі мають суттєво менші розміри у порівнянні з масляними вимикачами, мають один спільний привод на три полюси, вбудовані трансформатори струму.

В елегазових вимикачах застосовуються різні способи гасіння електричної дуги в залежності від номінальної напруги, номінального струму вимикання та експлуатаційних особливостей у місці встановлення. В елегазових

дугогасильних пристроях на відміну від повітряних дугогасильних пристроїв при гасінні дуги проходження газу через сопло відбувається не в атмосфері, а в замкнений об'єм камери, заповнений елегазом при порівняно незначному надмірному тиску (тиск елегазу в робочому режимі становить 6 атм. або 0,6 МПа). За способом гасіння дуги в елегазі розрізняють наступні типи елегазових вимикачів:

- автокомпресійні з дуттям в елегазі, створюваним за допомогою компресійного пристрою (елегазові вимикачі з одним рівнем тиску), в яких гасіння дуги в дугогасильних пристроях забезпечується обертанням її на кільцевих контактах під дією поперечного магнітного поля, що створюється струмом, який вимикається (елегазові вимикачі з електромагнітним дуттям);
- з дугогасильним пристроєм поздовжнього дуття, в якому попередньо стиснений газ потрапляє з резервуара з відносно високим тиском елегазу (елегазові вимикачі з двома рівнями тиску);
- з дугогасильним пристроєм поздовжнього дуття, в якому підвищення тиску елегазу відбувається за рахунок розігрівання газового середовища дугою вимикання у спеціальній камері (елегазові вимикачі з автогенеруючим дуттям).

Приводи вимикачів забезпечують управління вимикачем – увімкнення, утримання в увімкнутому положенні та вимикання. Вал приводу з'єднують з валом вимикача системою важелів та тяг. Привод вимикача повинен забезпечувати необхідну надійність та швидкість роботи, а при електричному управлінні – найменше споживання електричної енергії.

В елегазових вимикачах застосовують два типи приводів:

- пружинний привод, керуючим органом якого є кінематична система важелів, кулачків та валів;
- пружинно-гідравлічний привод, керуючим органом якого є гідросистема.

Переваги елегазових вимикачів

- можливість застосування в електричних установках відкритого та закритого виконання на усі класи напруги вище 1 кВ;
- гасіння електричної дуги відбувається у замкненому об'ємі без викидів в атмосферу (екологічно чистий пристрій);
- відносно невеликі габарити та маса;
- пожежо- та вибухобезпечність;
- швидкодія;
- висока вимикаюча здатність;
- надійне вимикання невеликих індукційних та ємнісних струмів у момент переходу через нуль без зрізання та виникнення перенапруги;
- значний комутаційний ресурс контактної системи;
- безшумна робота;
- надійність та простота конструкції, можливість створення серій з уніфікованими вузлами;
- придатність для зовнішнього та внутрішнього встановлення.

Недоліки елегазових вимикачів:

- високі вимоги до якості елегазу;
- складність та висока вартість виготовлення елегазових вимикачів, необхідність підтримувати високу чистоту поверхонь та точність монтажу;
- температурні недоліки SF₆, необхідність підігрівання та використання сумішей елегазу з азотом, хладоном та іншими речовинами, що дозволяють працювати елегазовим вимикачам в умовах низьких температур оточуючого середовища;
- використання спеціального обладнання, необхідного для періодичного обслуговування комутаційних пристроїв;
- у процесі експлуатації приладу утворюються шкідливі для організму людини речовини – фториди.
- необхідність спеціальних пристроїв для наповнення, перекачування та очищення SF₆;
- відносно велика вартість SF₆;
- потребує відповідальне відношення до використання та обліку елегазу.

Таблиця 1

Технічні характеристики елегазових вимикачів

Найменування показника	Значення
Номинальна напруга, кВ	35; 110; 220; 330; 750; 1150
Найбільша робоча напруга, кВ	42; 132; 264; 396; 900; 1380
Номинальний струм, А	400 – 3150
Механічний ресурс, циклів	50000
Термін служби до списання, років	25

Порядок виконання роботи

1. Вивчити призначення, область застосування і принцип дії елегазових вимикачів;
2. Дослідити конструкції і принципи дії дугогасильних камер елегазових вимикачів.

За результатами отриманих знань здобувачі формують звіт.

Оцінювання знань з напряму лабораторної роботи відбувається шляхом усного опитування за наведеними контрольними запитаннями.

Зміст звіту

Звіт повинен містити короткі відомості про елегаз; опис принципу гасіння електричної дуги в елегазових вимикачах; схеми дугогасильних камер; короткий опис конструкції елегазового вимикача та його технічні характеристики.

Контрольні запитання

1. Область застосування елегазових вимикачів.
2. Основні технічні данні вимикача LF-10.
3. Принцип дії автокомпресійної дугогасильної камери.
4. Принцип дії дугогасильної камери з обертаючим магнітним полем.
5. Переваги елегазових вимикачів.
6. Недоліки елегазових вимикачів.
7. Фізичні та хімічні властивості елегазу.

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основні

1. Рогоза М.В. Електричні апарати / М.В. Рогоза. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2012. – 208 с.
2. Клименко Б.В. Електричні апарати комутації та захисту. Загальний курс / Б.В. Клименко. – Харків: Точка, 2012. – 340 с.

Інформаційні ресурси

1. Література на сайті кафедри електроенергетики:
<https://se.nmu.org.ua/ua/studentam/metod/>

Методичне видання

Рогоза Михайло Валентинович
Папаїка Юрій Анатолійович
Лисенко Олександра Геннадіївна
Кошеленко Євгеній Валерійович
Рухлова Наталія Юріївна

Методичні рекомендації до лабораторних занять
з дисципліни «Електричні апарати»
для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Підготовлено до друку та видруковано
у НТУ «Дніпровська політехніка»
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004 р.
49005, м Дніпро, просп. К. Маркса, 19.