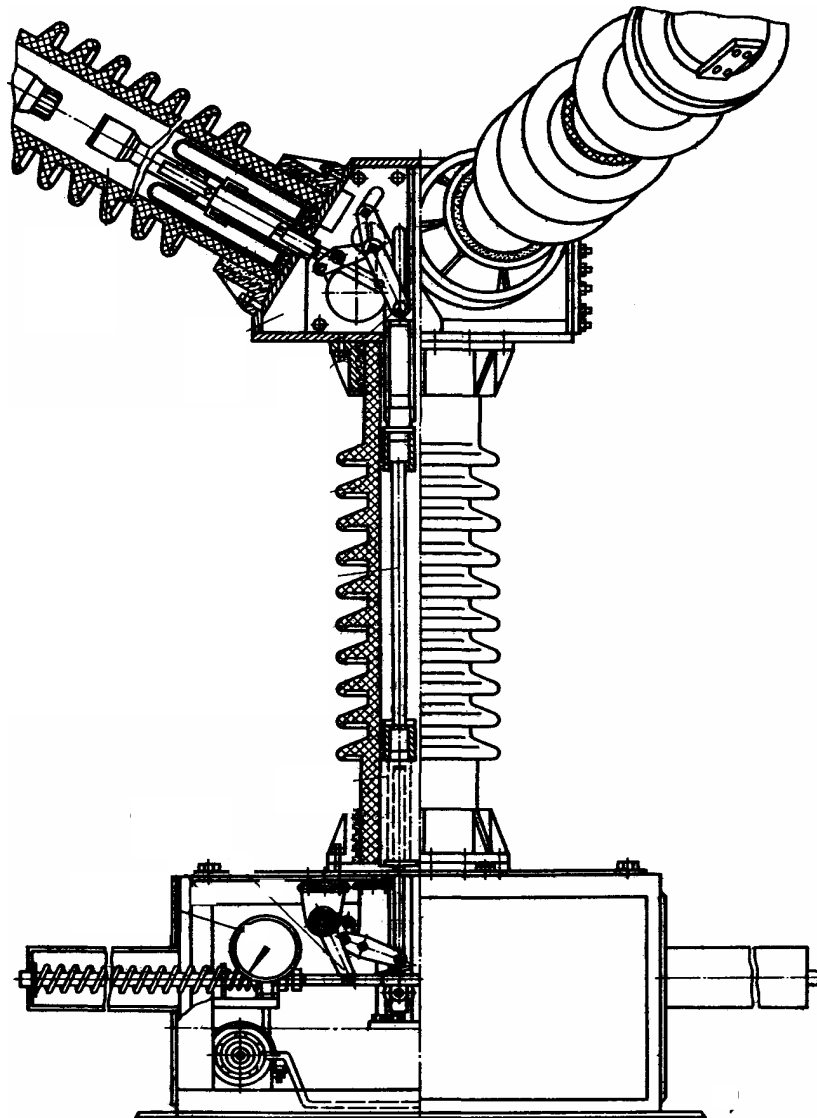


Лежнюк П.Д.
Зелінський В.Ц.

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВОК



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

П.Д. Лежнюк, В. Ц. Зелінський

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВОК

Затверджено Вченою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів енергетичних спеціальностей. Протокол №__ від _____ 200_ р.

Вінниця ВНТУ 2004

Рецензенти:

А.В. Журахівський, доктор технічних наук, професор
Б.С. Рогальський, доктор технічних наук, професор
В.М. Кутін, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Лежнюк П.Д., Зелінський В. Ц.

Л49 Електричні апарати розподільчих установок. Навчальний посібник.
- Вінниця: ВНТУ, 2004. - 128 с.

В посібнику розглянуто принципи роботи і основні типи конструкцій як високовольтних комутаційних електричних апаратів та їх приводів – вимикачів, роз'єднувачів, відділювачів, так і комутаційних апаратів до 1000В - запобіжників, автоматичних повітряних вимикачів, контакторів, магнітних пускачів. Наведено основні технічні параметри нових розробок електричних апаратів як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. Посібник розроблений у відповідності з планом кафедри і програмами до дисциплін "Електричні апарати", "Електрообладнання станцій та підстанцій" і призначений для студентів спеціальностей 7.090601, 7.090602, 7.090603 і може бути корисний для студентів інших енергетичних спеціальностей та інженерів-енергетиків.

УДК 621.313

Навчальне видання

Петро Дем'янович Лежнюк,
Віктор Цезарович Зелінський

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВОК

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор В.О. Дружиніна
Коректор Ю.І. Франко

Навчально – методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе,95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7х42 $\frac{1}{4}$
Друк різнографічний
Наклад _____ прим
Зам №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе,95, ВНТУ

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ РОЗПОДІЛЬЧИХ УСТАНОВОК

Навчальний посібник

Всі цитати, цифровий, фактичний матеріал та бібліографічні відомості перевірені. Написання одиниць відповідає стандартам.

Зауваження рецензентів враховані.

Автори:

П.Д.Лежнюк

В.О.Леонтьєв

В.Ц.Зелінський

Вимогам, які пред’являються до інструктивно - методичної літератури, відповідає.

До друку і в світ дозволяю на основі пар. 2 пункту 15 "Єдиних правил ..."

Проректор з навчальної та науково-методичної роботи

Затверджено на засіданні кафедри ЕЕС, протокол № 9 від 13 січня 2004 р.

Зав.кафедри ЕСС

П.Д.Лежнюк

Вінниця ВНТУ 2004

Зміст

	Стор.
Зміст	3
Вступ	5
Розділ 1. Високовольтні вимикачі	7
1.1. Загальні положення.....	7
1.2. Масляні бакові вимикачі.....	11
1.3. Масляні малооб'ємні вимикачі	16
1.4. Повітряні вимикачі.....	25
1.5. Електромагнітні вимикачі.....	36
1.6. Вакуумні вимикачі.....	38
1.7. Автогазові вимикачі.....	41
1.8. Елегазові вимикачі	42
1.9. Синхронизовані вимикачі	47
1.10. Вибір вимикачів.....	48
1.11. Приводи вимикачів.....	49
 Розділ 2 Роз'єднувачі, короткозамикачі , відділювачі.....	 58
2.1. Загальні положення.....	58
2.2. Роз'єднувачі внутрішньої установки.....	59
2.3. Роз'єднувачі зовнішньої установки.....	62
2.4. Короткозамикачі та відділювачі.....	66
2.4. Вибір роз'єднувачів та відділювачів.....	70
 Розділ 3 Комутаційні електричні апарати до 1000 В.....	 71
3.1. Неавтоматичні комутаційні апарати	71
3.1.1. Перемикачі та рубильники	71
3.1.2. Вибір рубильників	74
3.1.3. Запобіжники	74
3.1.4. Вибір запобіжників.....	80
3.2. Низьковольтні автоматичні комутаційні апарати.....	81
3.2.1. Автоматичні вимикачі.....	81
3.2.2. Вибір автоматичних вимикачів.....	92
3.2.3. Контактори та магнітні пускачі	93
3.2.4. Вибір контакторів та магнітних пускачів.....	98
 Розділ 4 Нові розробки вітчизняних та зарубіжних виробників електричного обладнання	 99
4.1 Електричне обладнання Рівненського заводу високовольної апаратури (РЗВА)	99
4.1.1 Роз'єднувачі.....	99
4.1.2 Вимикачі вакуумні типу ВБЗЕ(П)-35-20/1000.....	101

4.1.3. Вакуумні вимикачі типу ВБЗЕ-27.5.....	102
4.1.4 Вакуумні вимикачі серій VM1S та ВР.....	103
4.1.5 Вакуумні вимикачі типу ВВЭ-10	105
4.1.6 Універсальні модулі	106
4.1.7 Викатні елементи з вакуумним вимикачем типу ВВ(Э)-10.....	107
4.1.8 Загальнопідстанційний пункт управління ЗПУ.....	108
4.2 Комплектні розподільчі установки напругою 10 кВ.....	109
4.3 Комутаційне обладнання КРУ.....	113
4.3.1 Елегазовий вимикач типу ВГП 10.....	114
4.3.2 Елегазові вимикачі серії HD4 концерна ABB	116
4.3.3 Вакуумні вимикачі VD4 і VM1 концерна ABB.....	117
4.4 Електричне обладнання КРУ концерна SIEMENS.....	119
Література	122
Додаток А.....	123
Додаток Б.....	124

ВСТУП

Ствердження України як самостійної держави є неможливим без створення потужної енергетичної бази, яка забезпечила б ефективний розвиток усіх галузей народного господарства. Лише проведення комплексного, науково виваженого та технологічно обґрунтованого переозброєння в першу чергу паливно-енергетичного сектора економіки дасть можливість Україні увійти в Європейське Співтовариство технологічно розвинутою країною з енергоефективною економікою. Характерною рисою сучасного етапу розвитку енергетики нашої держави є реалізація концепції по енергозбереженню та впровадженню у виробництво нових сучасних типів електричного обладнання та апаратів. Збільшення потужностей на атомних електричних станціях та модернізація обладнання на теплових та гідравлічних електричних станціях потребує більшої кількості електричних апаратів, які задовольняли б новим вимогам по енергоємності, надійності та ресурсу.

Електричні апарати є тими електротехнічними пристроями, головною ключовою ланкою, які відіграють суттєву роль в реалізації енергозберігаючих технологій і визначають ефективність роботи енергетики в цілому на всіх етапах виробництва, розподілу та споживання електричної енергії. Виникає необхідність виробництва не просто більшої кількості електричних апаратів, а апаратів, які забезпечили б більш ефективну роботу електроустановок як в галузях промисловості, так і в побутовій сфері.

Актуальною є модернізація існуючих та розробка нових типів електричних апаратів на основі сучасних технологій, підвищення рівня напруг та струмів, зменшення габаритів та маси, підвищення їх надійності, ресурсу та швидкодії. Ці вимоги ставляться тому, що переважна більшість електричних апаратів повинні досить ефективно працювати в сучасних автоматизованих та автоматичних системах керування складними технологічними процесами, агрегатами, машинами та обладнанням на електричних станціях, в електроенергетичних системах та мережах.

Сучасний ринок електротехнічного обладнання в Україні доволі насичений як обладнанням зарубіжних фірм, в першу чергу – Росії, Польщі, Словаччини, Німеччини, Франції, так і вітчизняних виробників, які поступово відвойовують втрачені позиції. Так наприклад, одним з перспективних напрямків розвитку комутаційних електричних апаратів напругою 110 кВ та вище є розвиток елегазових вимикачів, а напругою до 110 кВ- переважно вакуумних. У цьому секторі апаратобудування за

співвідношенням “ціна-якість” лідером на українському ринку є Рівненський завод високовольної апаратури (РЗВА). Його виробнича програма складається з вакуумних вимикачів нового покоління типу VM1S напругою 6 та 10 кВ, вимикачів ВВЕ, ВБЗО, роз'єднувачів та ряду іншого обладнання, яке знаходить широке застосування при модернізації та розвитку електроенергетичної галузі держави.

У зв'язку з пріоритетним розвитком електроенергетичної галузі, впровадженням нових сучасних типів електричного обладнання та апаратів, підвищенні вимог до якості електричних апаратів, їх технічних характеристик та культури експлуатації постає проблема підготовки висококваліфікованих фахівців, які могли б ефективно експлуатувати це обладнання. Тому метою написання даного навчального посібника є узагальнення знань про принципи дії, основні типи та конструкції сучасних комутаційних апаратів як напругою до 1000 В, так і високовольних.

Посібник написано у відповідності з затвердженою програмою дисциплін “Електричні апарати” та “Електрообладнання станцій та підстанцій”, які читаються для студентів усіх фахових спеціалізацій електроенергетичного факультету. Теоретичний матеріал супроводжується розрахунками та прикладами, розглянуто багато схем та рисунків, які роз'яснюють принципи дії різних типів електричних апаратів. В додатках наведено основні технічні характеристики електричних апаратів, які широко застосовуються в електроенергетиці.

Розділ 1

Високовольтні вимикачі

1.1 Загальні відомості

Високовольтні вимикачі - це електричні комутаційні апарати, які призначені для оперативного увімкнення та вимкнення електричних мереж та ланок в нормальних та аварійних режимах роботи.

Вимикач є основним комутаційним апаратом в електричних установках різних номінальних напруг. Він служить для увімкнення та вимкнення електричних кіл в різних режимах роботи електричних мереж: тривалому навантаженні, перевантаженні, короткому замиканні, холостому ході, не-синхронній роботі. Найбільш важкою і відповідальною операцією є вимкнення струмів коротких замикань (КЗ) і увімкнення вимикача на відповідне коротке замикання.

Виконуються високовольтні вимикачі на номінальні струми від 50А до 63кА, номінальні напруги від 3 кВ до 1150 кВ, з потужністю вимкнення від 50ВА до 40000 МВА.

Основним фактором, який визначає конструкцію вимикачів, є спосіб гасіння дуги. Виходячи з цього, високовольтні вимикачі розділяють на такі основні групи:

- 1) **масляні вимикачі** – гасіння дуги відбувається в середовищі електротехнічного масла:
 - а) **бакові** – з великим об'ємом масла, яке служить дугогасильним середовищем та ізоляцією між струмоведучими частинами вимикача;
 - б) **маломасляні** – з малим об'ємом масла, яке служить тільки дугогасильним середовищем;
 - 2) **повітряні вимикачі** – гасіння дуги відбувається в середовищі стисненого повітря;
 - 3) **повітряні автопневматичні вимикачі** – стиснене повітря, необхідно для гасіння дуги, утворюється за рахунок енергії пружини, яка розжимається при розходженні контактів вимикача;
 - 4) **автогазові** – гасіння дуги відбувається газами, які виділяються зі стінок дугогасильних камер під дією високої температури;
 - 5) **елегазові** – гасіння електричної дуги в середовищі електротехнічного газу (шестифтористої сірки - SF_6);
 - 6) **електромагнітні вимикачі** – гасіння дуги відбувається за допомогою магнітного дуття в різного роду дугогасильних камерах;
 - 7) **вакуумні** – гасіння дуги відбувається у вакуумному середовищі.
- Кожна з цих груп вимикачів має свої недоліки і переваги та межі застосування в розподільних пристроях високих та середніх напруг.

Перші дві групи виготовляються на всю шкалу номінальних напруг, струмів та потужностей. Виконуються як для внутрішнього, так і для зовнішнього улаштування. Інші п'ять груп вимикачів обмежуються конструкціями на порівняно малі потужності вимкнення (до 50 -300 МВ·А), незначні номінальні струми (до 300 ÷ 600 А) та номінальні напруги (до 6-15кВ), за винятком вакуумних і елегазових вимикачів, які виконуються на напруги 35÷500 кВ, але з малими потужностями вимкнення. Ці п'ять груп вимикачів переважно виконуються як вимикачі навантаження, тобто вимикачі, які забезпечують увімкнення та вимкнення електричних ланок тільки з робочими струмами і не призначені для вимкнення струмів КЗ.

В свою чергу, кожна з груп вимикачів розділяється ще за рядом ознак:

- **за часом дії** – швидкодіючі (0,04÷0,08с), прискореної дії (0,08÷0,12) та нешвидкодіючі (0,12÷0,25 с);
- **за кількістю фаз** – одно- та трифазні. В залежності від кількості розривів на одну фазу – з одно-, дво- та багатократними розривами;
- **за конструктивним зв'язком з приводом** – з окремим та вбудованим приводом, кожен з яких виконуються або ручним, або автоматичним;
- **за способом встановлення** – для внутрішнього і зовнішнього встановлення та для вибухонебезпечного середовища;
- **за наявністю циклу АПУ** (автоматичного повторного увімкнення) – одноступеневого, багатоступеневого, пофазного та швидкодіючого;
- **за виконуваними функціями** в схемах розподільних пристроїв – генераторні, розподільні: фідерні та підстанційні.

Генераторні характеризуються великими значеннями номінальних струмів вимкнення (до десятків тисяч Ампер) та потужностей вимкнення (десятки тисяч МВА), невеликими напругами (6-20кВ), незначним часом вимкнення (0,01-0,2 с).

Фідерні розподільні вимикачі відрізняються від генераторних малими номінальними струмами (300-600 А), потужностями вимкнення (100-300 МВА), меншим часом вимкнення та наявністю АПУ.

Підстанційні розподільні характеризуються високими номінальними напругами (110-750 кВ), великими потужностями вимкнення, швидкодією (0,01-0,08 с), наявністю АПУ одно- та багатоступеневої дії і пофазного керування.

До вимикачів високої напруги висувають наступні вимоги:

- надійне вимкнення струму (від десятків ампер до номінального струму вимкнення);
- швидкість дії, тобто найменший час вимкнення;
- придатність для швидкодіючого АПУ, тобто швидке увімкнення вимикача зразу ж після вимикання;
- можливість пофазного (пополюсного) управління для вимикачів напругою 110 кВ і вище;

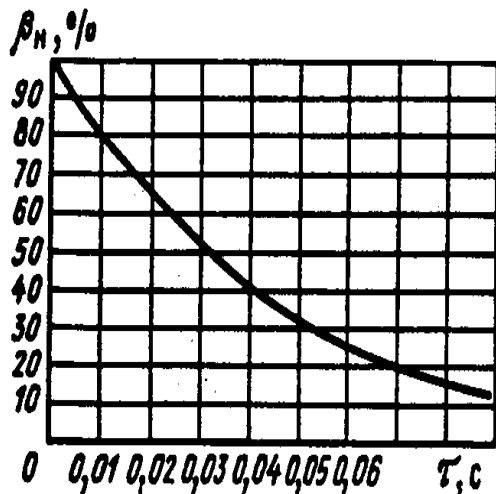


Рисунок 1.1- Нормований склад аперіодичної складової

струм КЗ (діюче значення), який вимикач здатний вимкнути при напрузі, рівній найбільшій робочій напрузі при заданих умовах відновлювальної напруги і заданому циклі операції. Номінальний струм вимкнення визначається діючим значенням періодичної складової у момент розходження контактів.

2. Допустимий відносний вміст аперіодичної складової струму в струмі вимкнення β_n , %, яке визначається по кривій рис. 1.1:

$$\beta_n = \frac{i_{a,ном}}{\sqrt{2}I_{отк,ном}} \cdot 100$$

Нормоване значення β_n визначається для моменту розходження контактів.

$$\tau = t_{з,мин} + t_{с,в} = 0,01 + t_{с,в}$$

Якщо $\tau > 0,09$ с, то приймають β_n рівним нулю.

3. Цикл операцій - послідовність комутаційних операцій з заданими інтервалами між ними.

В експлуатації вимикач може неодноразово вмикатись на існуюче КЗ з подальшим вимкненням, тому в ГОСТ 687-78Е передбачають для вимикачів визначений цикл операцій.

Якщо вимикачі в електричних ланках використовуються для автоматичного повторного увімкнення (АПУ), то вони повинні бути забезпечені такими циклами операцій:

$$В - 180 \text{ с} - УВ - 180 \text{ с} - УВ;$$

$$В - t_{от} - УВ - 180 \text{ с} - УВ.$$

Вимикачі з $U_{ном} < 220$ кВ повинні також витримувати цикл:

$$В - t_{от} - УВ - 20 \text{ с} - УВ.$$

- легкість ревізії і огляду контактів;

- вибухо- і пожежобезпека;

- зручність транспортування і експлуатації;

Також, вимикачі високої напруги повинні протягом тривалого періоду витримувати номінальний струм $I_{ном}$ і номінальну напругу $U_{ном}$.

Відповідно до ГОСТу 687-78Е високовольтні вимикачі характеризуються такими параметрами:

1. Номінальний струм вимкнення $I_{вим,ном}$ - найбільший

Вимикачі без АПУ повинні забезпечувати цикл:

$$\mathbf{B} - 180 \text{ с} - \mathbf{УВ} - 180 \text{ с} - \mathbf{УВ},$$

де **В** – операція вимкнення; **УВ** – операція увімкнення і миттєвого вимкнення; **20, 180** – проміжок часу в секундах; $t_{\text{от}}$ – гарантована для вимикачів мінімальна безструмова пауза при АПУ (час від гасіння дуги до появи струму при наступному увімкненні).

Для вимикачів з АПУ $t_{\text{от}}$ повинно бути в межах 0,3–1,2 с, для вимикачів без пристроїв повторного увімкнення (БАПУ) – 0,3 с.

4. **Стійкість при наскрізних струмах**, яка характеризується струмами термічної стійкості $I_{\text{тер}}$ і електродинамічної стійкості $I_{\text{дин}}$ (діюче значення), $i_{\text{дин}}$ – найбільший пік струму (амплітудне значення). Ці струми вимикач витримує у увімкненому стані без пошкоджень.

Завод-виробник при виготовленні вимикачів повинен дотримуватись співвідношення:

$$i_{\text{дин}} = 2,55 \cdot I_{\text{вим,ном}}.$$

5. **Номінальний струм увімкнення** – струм КЗ, який вимикач з відповідним приводом здатен увімкнути без приварювання контактів і інших пошкоджень, при $U_{\text{ном}}$ і заданому циклі операцій. В каталогах наводиться діюче значення цього струму $I_{\text{вкл,ном}}$ і його амплітудне значення $i_{\text{вкл,ном}}$.

Вимикачі конструюються таким чином, щоб дотримувалась умова:

$$I_{\text{вкл,ном}} \geq I_{\text{вим,ном}}, I_{\text{вкл,ном}} \geq 1,8 \sqrt{2} I_{\text{вим,ном}}.$$

6. **Власний час вимкнення** $t_{\text{вл,в}}$ – проміжок часу від моменту подачі команди на вимкнення до моменту переривання дотику дугогасильних контактів.

Час вимкнення $t_{\text{вим,в}}$ – проміжок часу від подачі команди на вимкнення до моменту погашення дуги на всіх полюсах.

Час увімкнення $t_{\text{увм,в}}$ – проміжок часу від подачі команди на увімкнення до виникнення струму в колі.

7. **Параметри відновлювальної напруги** – у відповідності з нормувальними характеристиками власної перехідної відновлювальної напруги для кожного типу вимикача (ПВН).

8. **Вимикачі**, які не призначені для АПУ, повинні *витримувати не менше п'яти операцій УВ* при струмах КЗ **0,6–1** $I_{\text{вим,ном}}$ без огляду дугогасильного пристрою.

Вимикачі, які призначені для АПУ, повинні витримувати в тих же умовах *від 6 до 10 операцій УВ* в залежності від величини $I_{\text{вим,ном}}$.

Основними конструктивними частинами високовольтних вимикачів є: контактна система з дугогасильним пристроєм, струмоведучі частини, корпус, ізоляційна конструкція і приводний механізм.

1.2 Масляні бакові вимикачі

В масляних бакових вимикачах масло служить для гасіння дуги і ізоляції струмоведучих частин.

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

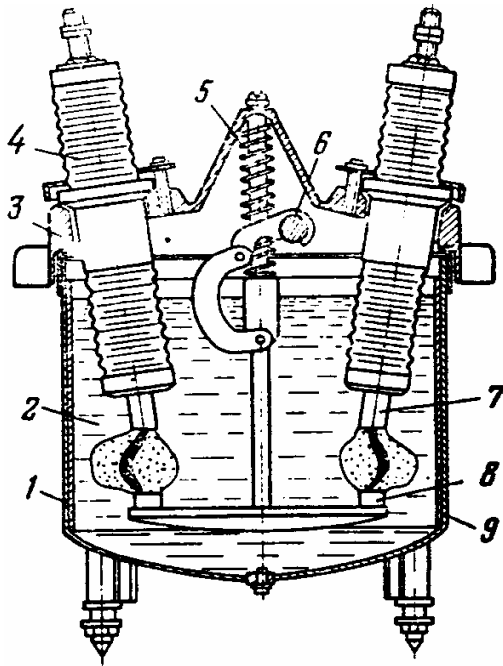


Рисунок 1.2 - Схематичний переріз масляного бакового вимикача

На рис.1.2 схематично показаний баковий вимикач без спеціальних пристроїв для гасіння дуги. Стальний бак вимикача підвішаний до відлітої чавунної кришки 3 за допомогою болтів. Через кришку проходять шість фарфорових ізоляторів 4, на нижніх кінцях струмоведучих стержнів закріплено нерухомо контакти 7. Рухомі контакти 8 знаходяться на контактному мості або траверсі. Рух їм передається за допомогою ізолювальної тяги від приводного механізму, який знаходиться під кришкою вимикача. У ввімкненому стані траверса піднята і контактний міст замикає коло між нерухомими контактами.

При цьому вимикаюча пружина 5 стиснута. Вимикач у ввімкненому стані утримується задвижкою привода, з яким він зв'язаний валом 6.

При вимиканні вимикача автоматично або вручну звільнюється защіпка і під дією пружини траверса швидко опускається вниз (швидкість руху досягає 1,5-2,7 м/с), при цьому виникає розрив кола в двох точках на кожному полюсі вимикача. Дуги, які виникають, нагрівають і випаровують масло 2, виникає газопаровий шар, який вміщує до 70% водню. Тиск всередині шару досягає 0,5–1 МПа, що підвищує деіонізуючу здатність газів. Дуга гасне через 0,08–0,1с. На стінках бака є захисні ізоляційні покриття 9.

Як показано на рис. 1.2, масло в бак вимикача заливається не повністю, під кришкою залишається повітряна подушка. Це необхідно, щоб зменшити силу удару в кришку вимикача, зумовлену високим тиском, який виникає в процесі гасіння дуги.

Якщо рівень масла буде неприпустимо низьким, то гази попадуть під кришку надто нагрітими, що може викликати вибух суміші водню з повітрям.

В вимикачі на рис. 1.2 немає ніяких спеціальних пристроїв для гасіння дуги, тому вимикальна здатність його невелика. Вимикачі такої конструкції (ВМБ-10, ВМЕ-6, ВМЕ-10, ВС-10) використовуються в установках 6-10кВ, але в наш час вони витісняються маломасляними вимикачами.

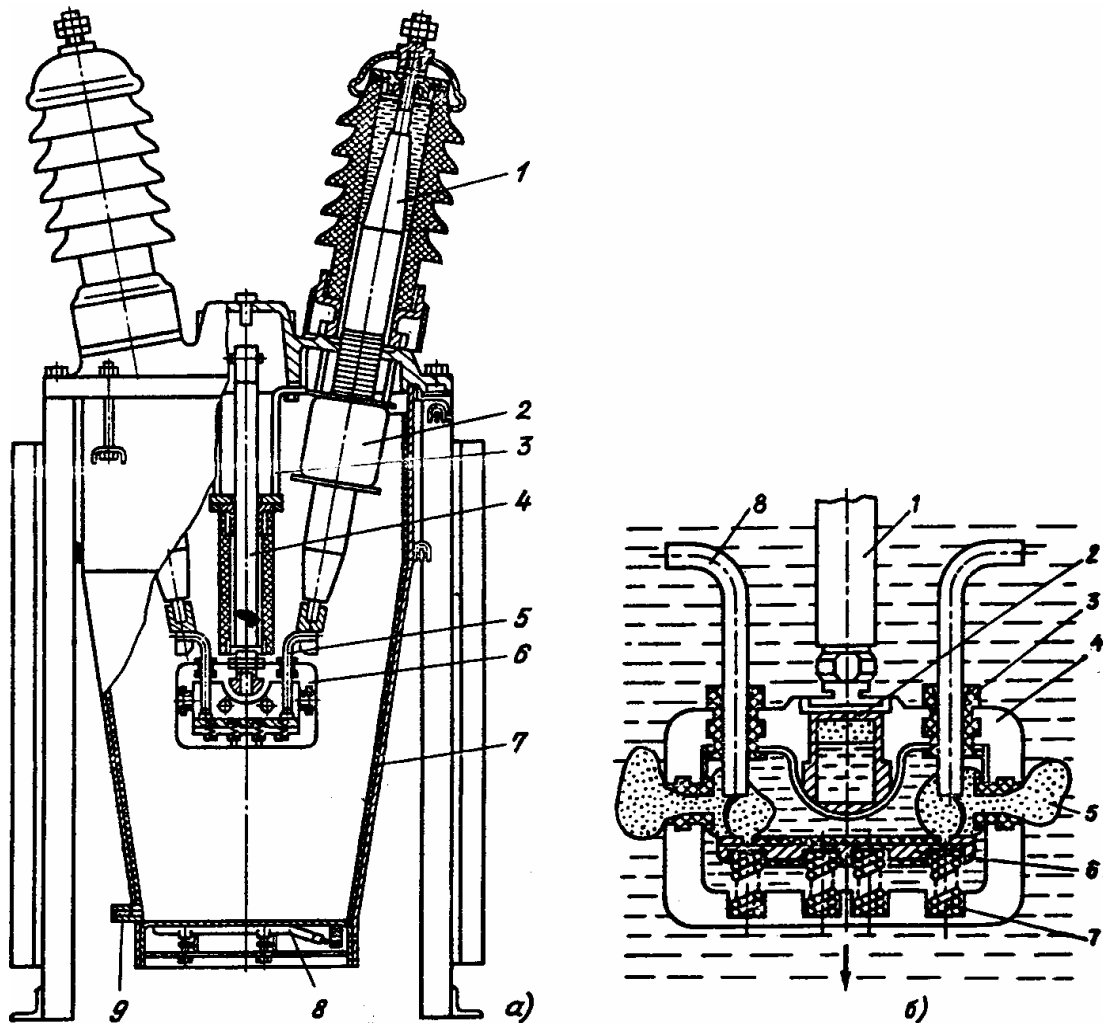


Рисунок 1.3 - Вимикач баковий масляний С-35-630-10

а – переріз полюса: 1 – ввід; 2 – трансформатор струму; 3 – корпус приводного механізму; 4 – штанга; 5 – нерухомий контакт; 6 – дугогасильна камера; 7 – внутрішньо-бакова ізоляція; 8 – нагрівальний пристрій; 9 – маслоспускний пристрій;

б – дугогасильна камера в процесі вимикання: 1 – штанга; 2 – металева камера з повітряною подушкою; 3,5 – вихлопні отвори; 4 – дугогасильна камера; 6 – рухомий контакт; 7 – контактні пружини; 8 – нерухомий контакт.

Для зовнішніх установок напругою 35 кВ і вище бакові масляні вимикачі завдяки простоті конструкції використовуються достатньо широко і в наш час. Вони мають спеціальні пристрої для гасіння дуги – дугогасильні камери.

За принципом дії дугогасильні пристрої можна розділити на 3 групи:

- з **автодуттям**, в яких високий тиск і велика швидкість руху газу в зоні дуги утворюються за рахунок виділеної в дузі енергії;

- з **примусовим масляним дуттям**, в яких до місця розриву дуги масло подається за допомогою спеціальних гідравлічних механізмів;

- з **магнітним гасінням в маслі**, в яких дуга під дією магнітного поля переміщається в вузькі канали і щілини.

Найбільш ефективним і простим є дугогасильний пристрій з автодуттям. Пристрої з автодуттям працюють тим ефективніше, чим більший струм у дузі. При відключенні малих струмів тиск газів може бути незначним, внаслідок чого дуття буде неенергійним, що приведе до збільшення часу гасіння дуги. З цієї причини деякі гасильні пристрої з автодуттям доповнені примусовим масляним дуттям, яке забезпечує ефективне гасіння малих струмів.

Дугогасильні пристрої у вигляді жорстких камер закріплюються на нижньому кінці струмоведучого стержня вводу високої напруги (див. рис. 1.4). В деяких вимикачах дугогасильна камера закріплюється на нижній частині штанги (рис.1.3). В камері може бути один або декілька розривів в залежності від номінальної напруги вимикача.

Чим вища напруга, тим більше необхідно розривів. Для рівномірного розподілу напруги між основними розривами паралельно до них вмикається шунтувальний опір. Після гасіння дуги на основних розривах струм, який проходить через шунтувальний опір, гаситься на допоміжних розривах, звичайно поза камерою.

В дугогасильних пристроях за допомогою ізоляційних пластин і вихлопних щілин утворюються робочі канали, по яких відбувається рух масла і газів (дуття). В залежності від розміщення каналів розрізняють камери з поперечним, з повздовжнім і зустрічно-поперечним дуттям.

В бакових вимикачах на 35 кВ типу **С-35-630-10** на кожний полюс є одна дворозривна рухома камера. Кожний полюс зібраний на масивній чавунній кришці (рис.1.3,а). До кришки підвішується бак, внутрішні стінки якого ізолювані електрокартоном. Під кришкою встановлений привідний механізм з системою важелів, які забезпечують прямолінійний рух штанги. Механізми всіх трьох полюсів з'єднані тягами між собою із приводом вимикача. Через отвір в кришках пропущені вводи, на кінцях яких закріплені нерухомі Г-подібні контакти з металокерамічними напайками. На кожному вводі під кришкою встановлений влаштований трансформатор струму. До нижньої частини штанги, яка виконана з ізолювального матеріалу, прикріплена дугогасильна камера, що складається з двох корпусів, з'єднаних стяжними болтами.

На рис. 1.3,б показано корпус дугогасильної камери. Внутрішня поверхня камери покрита дугостійким ізоляційним матеріалом. В камері встановлено рухомий контакт у вигляді перемички, яка опирається на чотири контактні пружини 7. В місцях дотику до нерухомого контакту 8 напаяні металокерамічні пластинки. При підключенні штанги 1 опускається вниз

разом з камерою 4, в результаті чого виникає два розриви і загоряється дуга в камері (рис. 1.3,б). Тиск в камері різко підвищується, і як тільки відкриваються вихлопні отвори 5, виникає поперечне дуття. При відключенні великих струмів це дуття енергійне, і дуга гасне. При відключенні малих струмів, після виходу нерухомих контактів із камери через вихлопні

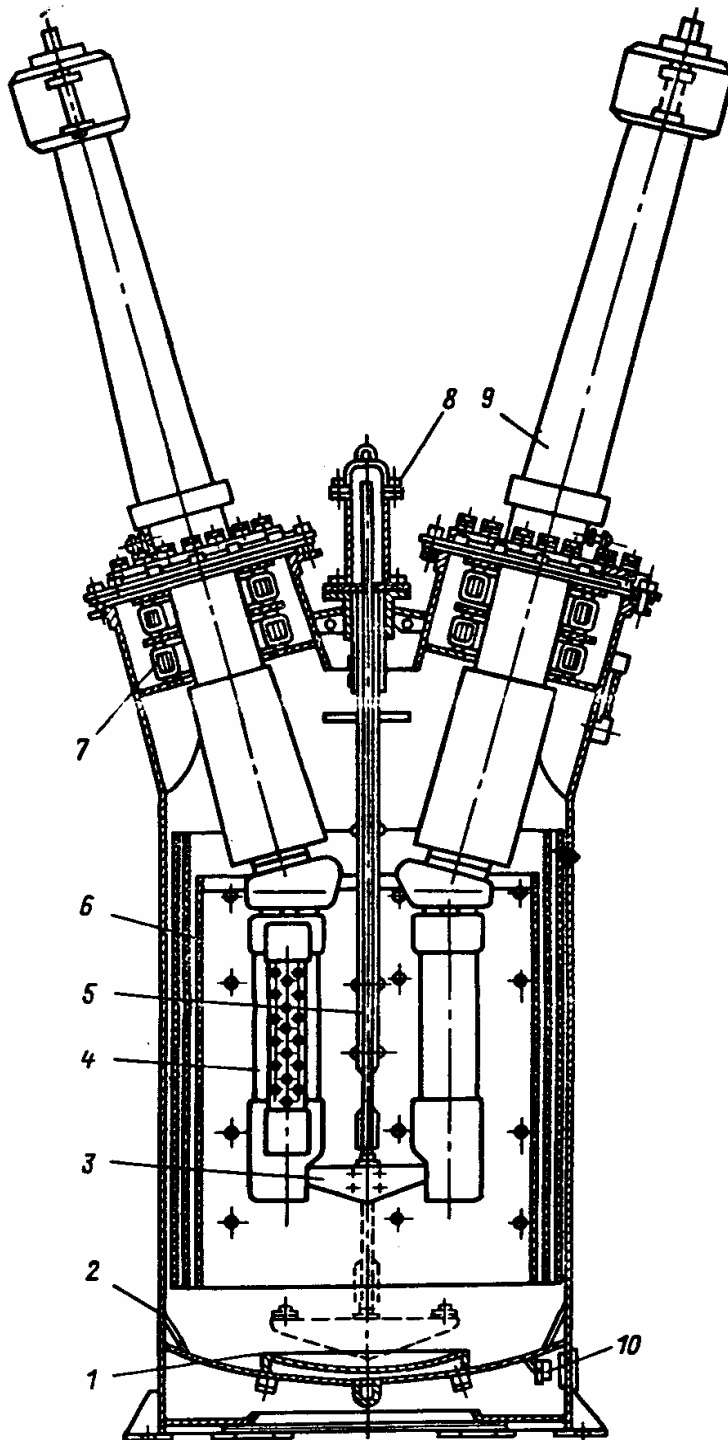


Рисунок 1.4 - Поліус масляного бакового вимикача У-220-2000-40У1

отвори 9, виникає поздовжнє дуття, яке забезпечує гасіння дуги. В дугогасильному пристрої є повітряна подушка — невелика металева камера 2, яка заповнена повітрям і зв'язана з основним об'ємом дугогасильної камери, заповненої маслом. В поздовжньому розрізі камери каналів, по яких здійснюється цей зв'язок, не видно. В перший момент запалення дуги, коли тиск різко підвищується, частина масла стискує повітря, це трохи зменшує удар в стінки камери, а в момент, коли струм в дузі проходить через нуль і тиск в області дуги зменшується, стиснене повітря відштовхує масло і виникає додаткове дуття. Після гасіння дуги продукти розпаду масла виходять з камери, проходять повз

шар масла в баку, охолоджуються і через спеціальні газовиводи в кришках викидаються назовні. Камера заповнюється маслом, і вимикач готовий до наступного циклу операцій.

На рис.1.4 показано розріз полюса масляного бакового вимикача серії **У-220-2000-40У1** ($U_{\text{ном}} = 220$ кВ, $I_{\text{ном}} = 2000$ А, $I_{\text{вим,ном}} = 40$ кА).

Несучою частиною кожного полюса є бак вимикача 2. На кришках бака змонтовані маслонаповнені вводи 9, коробки приводних механізмів 8, коробки з вмонтованими трансформатором струму 7, запобіжні клапани для захисту бака від поломки в аварійних ситуаціях. Внутрішня сторона бака ізолюється трьома шарами спеціального пластику і фібри 6.

В кожному полюсі є два дугогасильних пристрої 4, які є камерами багаторазового розриву. Всередині ізоляційного циліндра камери знаходяться три комплекти торцевих контактів і рухомі стержневі контакти, покриті вольфрамосрібною металокерамікою. Для рівномірного розподілу напруги по розривах використовуються шунтувальні опори.

Вимикач працює за двоступеневим циклом: спочатку розмикаються контакти дугогасильних камер, відбувається гасіння дуг і переривається коло основного струму, потім у відкритому розриві контактів траверси 3 і контактів дугогасильних камер переривається струм, що тече через шунти.

Траверса 3 приводиться в рух ізолювальною тягою 5, зв'язаною з приводним механізмом 8.

На дні бака встановлено кригоуловлювальний пристрій 1, який запобігає процесу спливання замерзлого конденсату. Для нагріву масла при низьких температурах до дна кріпиться пристрій електропідігріву 10, який вмикається при температурі повітря нижчій -15°C . Це необхідно, щоб не знижувалась швидкість переміщення рухомих частин вимикача при збільшенні в'язкості масла.

У вимикачі серії У-220 на три полюси маса масла становить 27000 кг.

Основні переваги бакових вимикачів:

- простота конструкції;
- висока вимикальна здатність;
- придатність для зовнішнього установлення;
- можливість встановлення влаштованих трансформаторів струму.

Недоліки бакових вимикачів:

- вибухо- і пожежонебезпека;
- необхідність періодичного контролю за станом і рівнем масла;
- великий об'єм масла;
- необхідність великих запасів масла;
- непридатність до розміщення всередині приміщень;
- непридатність для виконання швидкодіючого АПУ;
- велика затрата металу;
- велика маса;
- незручність транспортування, монтажу і наладки.

1.3 Масляні малооб'ємні вимикачі

Масляні малооб'ємні (маломасляні) вимикачі знайшли велике використання в закритих і відкритих розподільних пристроях всіх класів напруг. Масло в цих вимикачах в основному служить в ролі дугогасильного середовища і тільки частково ізоляцією між розімкненими контактами. Ізоляція струмоведучих частин між собою і від заземлених конструкцій здійснюється фарфором або іншими твердими ізоляційними матеріалами.

Контакти вимикачів внутрішньої установки знаходяться в сталевому баку (горшку), звідки й пішла назва вимикачів “горшкові”. Маломасляні вимикачі напругою 35 кВ і вище мають фарфоровий корпус. Найбільш широке застосування мають вимикачі 6-10 кВ підвісного типу (рис. 1.5, а, б). В цих вимикачах корпус закріплений на фарфорових ізоляторах на за-

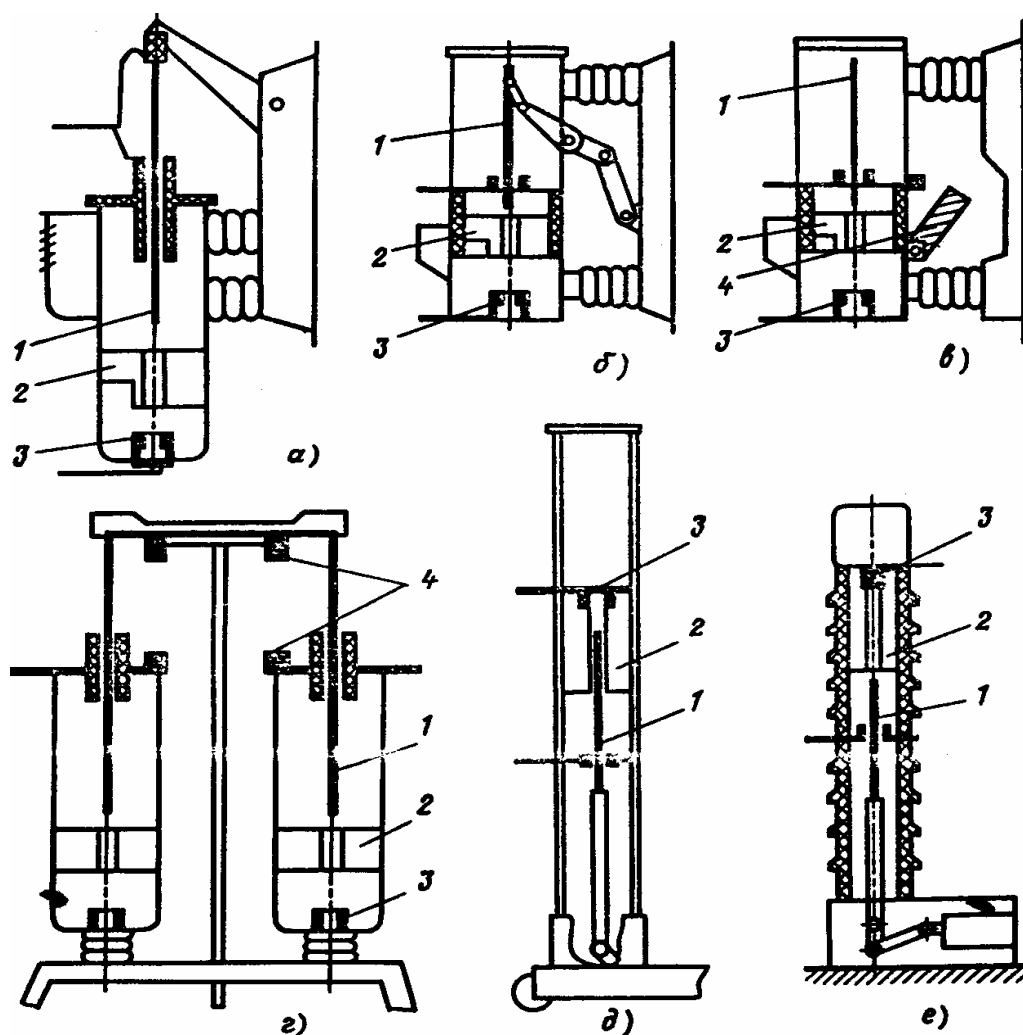


Рисунок 1.5 - Конструктивні схеми маломасляних вимикачів:
1 – рухомий контакт; 2 – дугогасильна камера; 3 – нерухомий контакт;
4 – робочі контакти

гальній рамі для всіх трьох полюсів. В кожному полюсі передбачено один розрив контактів в дугогасильній камері.

За конструктивною схемою, показаною на рис.1.5 *а*, виготовляють вимикачі типу **ВМГ-10** (вимикач масляний горшковий) і типу **ВМП-10**, а раніше виготовлялися вимикачі **ВМГ-133**. За конструктивною схемою, наведеною на рис. 1.5, *б*, виготовляються вимикачі серії **ВМП** (вимикач маломасляний підвісний). При значних номінальних струмах обійтись однією парою контактів (які виконують роль робочих і дугогасильних) важко, тому передбачено робочі контакти зовні вимикача, а дугогасильні — всередині металевого бачка (рис. 1.5, *в*). При великих струмах, які вимикаються, на кожний полюс передбачено два дугогасильних розрива (рис. 1.5, *г*). За такою схемою виконуються вимикачі серій **МГГ** і **МГ** (масляні генераторні) на напругу до 20 кВ включно. Масивні зовнішні робочі контакти 4 дозволяють використовувати вимикач при вимиканні значних номінальних струмів (до 12000 А).

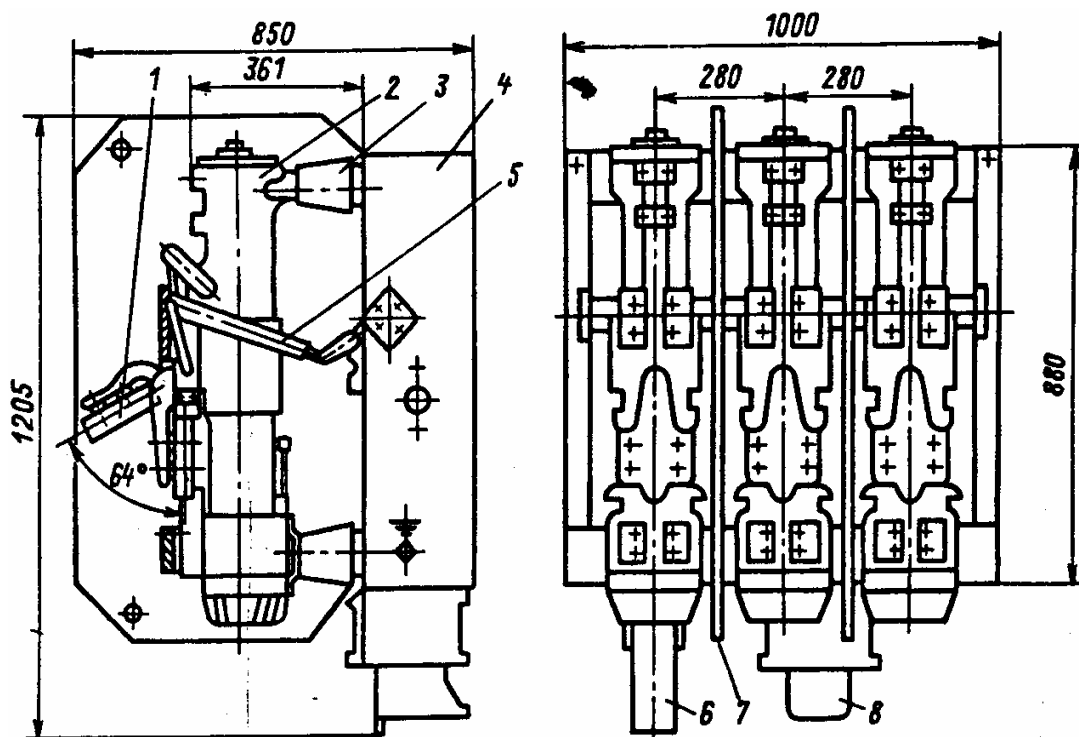


Рисунок 1.6 - Загальний вигляд вимикача **ВМПЭ-10**
на номінальні струми 2500 і 3150 А:

1 – робочий рухомий контакт; 2 – корпус вимикача; 3 – ізолятор; 4 – сталева рама; 5 – ізоляційна тяга; 6 – контактор; 7 – ізоляційна перегородка; 8 – привод.

Спеціально для комплектних розподільних пристроїв (КРП) розроблені колонкові маломасляні вимикачі серії **ВК** за схемою рис. 1.5, *д*.

Для установок 35 кВ і вище, корпус колонкових маломасляних вимикачів фарфоровий, заповнений маслом (рис. 1.5, *е*). У вимикачах напругою

35кВ та 110 кВ передбачений один розрив на фазу, при більш високих напругах — два і більше розривів в одній фазі.

Розглянемо особливості конструкцій деяких найбільш поширених маломасляних вимикачів.

Вимикачі серії ВМП широко застосовуються в закритих (ЗРП) і комплексних (КРП) розподільних пристроях напругою 6-10 кВ. Вимикачі КРП мають влаштований пружинний або електромагнітний привод (типи вимикачів **ВМПП** і **ВМПЕ**). Вимикачі цих серій розраховані на номінальні струми 630-3150 А і струми вимкнення 20 та 31,5 кА.

На рис. 1.6 показано загальний вигляд вимикача **ВМПЕ-10** на номінальні струми 2500 і 3150А. Цей вимикач має два паралельних контури струму – робочий та дугогасильний. Робочі контакти 1 знаходяться зовні, дугогасильні – всередині корпусу. Внутрішня будова полюса для вимикачів усієї серії однакова. Кількість масла в вимикачах на струми 630-1600 А – 5,5 кг, в вимикачах на 3150А - 8 кг.

Полюс вимикача на рис. 1.7 це є вологостійкий ізоляційний циліндр 5 (склоепоксидний пластик), торці якого армуються металевими фланцями. На верхньому фланці ізоляційного циліндра закріплений корпус з алюмінієвого сплаву, всередині якого знаходиться приводний випрямляючий механізм, рухомий контактний стержень, роликовий струмознімальний пристрій і масловідділювач. Нижній фланець із силуміну закривається кришкою, всередині якого вмонтований розетковий контакт, а зовні - пробка для зливу масла. Всередині циліндра над розетковим контактом є гасильна камера, зібрана із ізоляційних пластин з фігурними отворами. Набір пластин створює три поперечних канали і масляні кармани. У ввімкненому положенні контактний стержень знаходиться в розетковому контакті (рис. 1.7, б). При вимиканні привод звільнює вимикальну пружину, яка знаходиться на рамі вимикача, і під дією її сили вал вимикача повертається, рух передається ізоляційній тязі, а від неї приводному механізму 10 і контактному стержню, який рухається вгору. При розмиканні контактів виникає дуга, яка випаровує і розкладає масло.

В перші моменти контактний стержень закриває поперечний канал дугогасильної камери, тому тиск різко підвищується, частина масла заповнює буферний об'єм, стискуючи в ньому повітря. Як тільки стержень відкриє перший поперечний канал, створюється поперечне дуття газами і парами масла. При переході струму через нуль, тиск в газопаровому пузирі знижується і стиснене повітря буферного об'єму, що діє подібно до поршня, витісняє масло в зону гасіння дуги (рис.1.7, в).

При вимиканні великих струмів виникає енергійне поперечне дуття, дуга гасне в нижній частині камери. При вимкненні малих струмів дуга тягнеться за стержнем, і у верхній частині камери випаровується масло в спеціальних карманах, створюючи зустрічно-радіальне дуття, а потім при виході стержня із камери — повздовжнє дуття. Час гасіння дуги при вимкненні великих і малих струмів не перевищує 0,015-0,025 с.

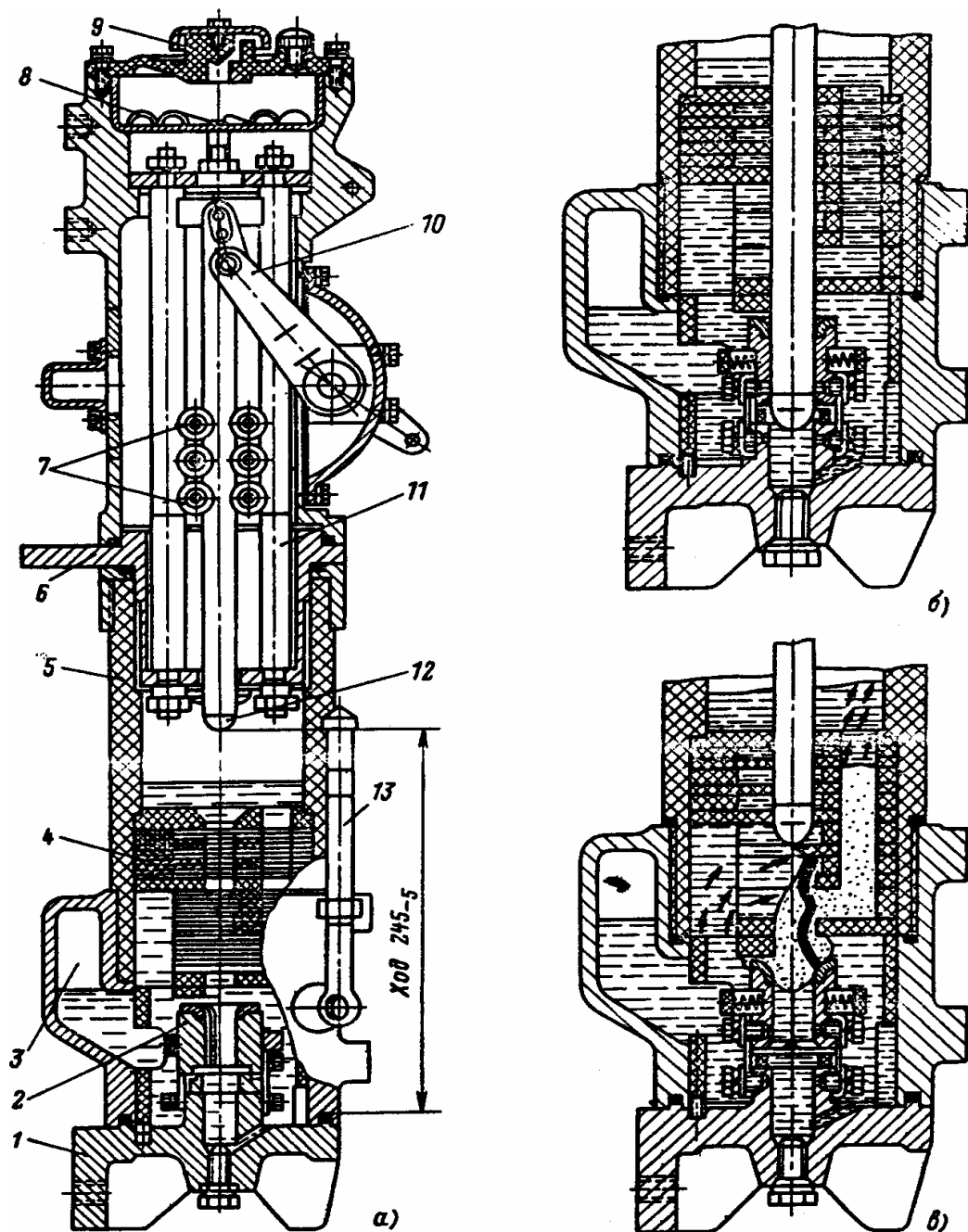


Рисунок 1.7 - Переріз полюсу вимикача ВМП-10:

а – положення “Вимкнено”; *б* – положення “Увімкнено”; *в* – процес вимикання;

1 – нижній вивід і кришка вимикача; 2 – нерухомі контакти; 3 – повітряна подушка; 4 – гасильна камера; 5 – ізоляційний циліндр; 6 – верхній вивід; 7 – роликострумознімальний контакт; 8 – масловідділювальний пристрій; 9 – кришка; 10 – приводний механізм; 11 – направляючий стержень; 12 – рухомий контакт; 13 – маслопоказник.

Для підвищення стійкості контактів до дії електричної дуги і збільшення терміну їх роботи знімальний наконечник рухомого контакту та верхні торці ламелів нерухомого контакту виконуються з дугостійкої металокераміки.

Після гасіння дуги пари і газу, які утворюються в процесі гасіння дуги, потрапляють в верхню частину корпусу вимикача, де пари масла конденсуються, а газ виходить зовні через отвір в кришці. Коли камера заповниться маслом, вимикач готовий до виконання наступного циклу операцій. Безструмова пауза при АПВ для цих вимикачів досить велика (0,5с).

Контроль за рівнем масла в циліндрі проводиться за маслопоказувачем. Якість масла повинна відповідати звичайним вимогам до ізоляційного масла. Якщо масло буде надто забруднене, а канали камери обвуглені, то може виникнути перекривання ізоляційної відстані між контактами у вимкненому положенні вимикача.

Маломасляні вимикачі колонкового типу ВК-10 з пружинним приводом і ВКЕ-10 з електромагнітним приводом використовуються в КРП внутрішньої і зовнішньої установки.

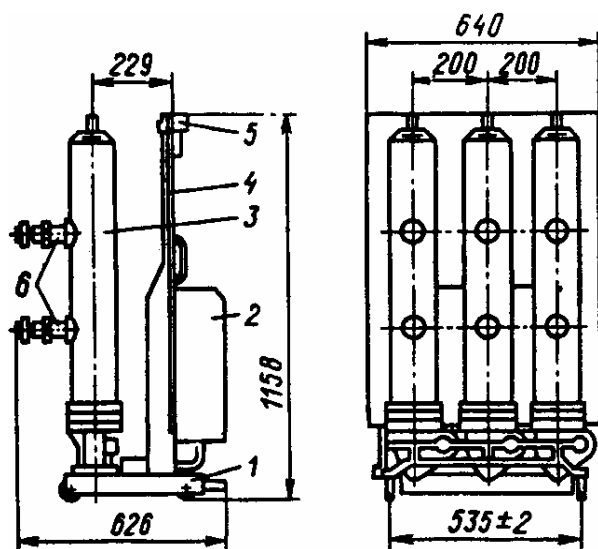


Рисунок 1.8 – Конструкція вимикача ВКЕ-10

Вимикач ВКЕ-10 (рис. 1.8) складається із збірної основи 1, на якій встановлені три полюси 3, привод 2, фасадна перегородка 4, а на вимикачах з номінальним струмом 1250 і 1600 А — ізоляційний кожух на верхній частині вимикача. Основу вимикача встановлюють на колесах, і вона має пристрій для піднімання шторного механізму в КРП, вкачування та викачування вимикача, його фіксації в крайніх положеннях та стаціонарного заземлення, для встановлення еле-

ктромагнітних блок-замків та перемикачів блокувальних контактів КРП. Полюси вимикача мають штирові виводи первинних з'єднань з розетковими контактами.

Проводи кола управління, сигналізації і блокування розміщені в гнучких металевих рукавах і розпаяні в штепсельні роз'єми 5.

Робота вимикача ґрунтується на гасінні дуги, яка виникає при розмиканні контактів, потоком газомасляної суміші, створюваної в результаті інтенсивного розкладання трансформаторного масла, під дією температури дуги. Цей потік має визначений напрямок в спеціальному дугогасильному пристрої, розміщеному в зоні горіння дуги.

Розглянутий вимикач має менші габарити і масу, ніж вимикачі серії ВМП на відповідні параметри, тому він знаходить широке використання в нових типах КРП.

Генераторні вимикачі серій МГГ, МГ і ВГМ виготовляються на великі номінальні струми за конструктивною схемою, показаною на рис. 1.5, з. Вимикачі цих серій мають два сталевих бачки на полюс і по дві пари робочих і дугогасильних контактів. Потужні робочі контакти дозволяють збільшити номінальний струм цих вимикачів, а двоступеневий розрив струму і спеціальні камери гасіння приводять до збільшення вимикальної здатності вимикача.

На рис. 1.9 показано конструкцію вимикача типу ВГМ-20. Шість бачків цього вимикача кріпляться на ізоляторах до металевої основи 1, всередині якої знаходяться важільний механізм, вимикальні пружини, масляний

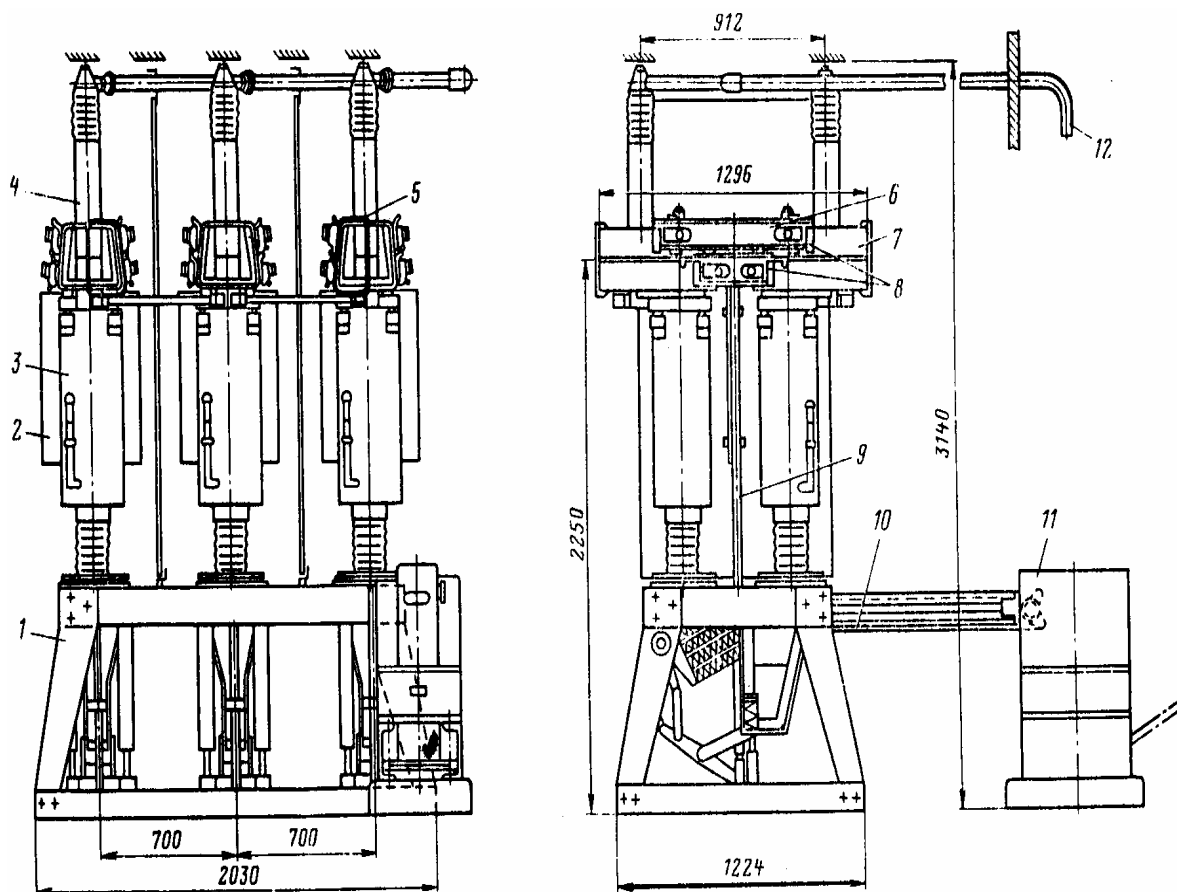


Рисунок 1. 9 - Вимикач генераторний **ВГМ—20/11200УЗ**:

1 – основа; 2 – міжполюсна перегородка; 3 – бак; 4 – масловідділювач; 5 – магнітопровід; 6 – траверса; 7 – вивід для приєднання шин; 8 – ножі головних контактів; 9 – штанга; 10 – тяга до приводу; 11 – привод; 12 – вихлопний кінець газовідводу.

і пружинні буфери. В кожному бачку є дугогасильні контакти і камера зустрічно-поперечного дуття. Гази і пари масла, які утворюються в процесі гасіння дуги, поступають в масловідділювач 4, заповнений фарфоровими кульками. Масло конденсується і потрапляє назад в бачок, а гази через вихлопний кінець газовідводу 12 викидаються назовні. Шини розподільного пристрою через гнучкі компенсатори приєднуються до виводів коробчатого профілю 7. На крайніх фазах встановлені магнітопроводи 5 із електротехнічної сталі, які забезпечують рівномірний струморозподіл по контактних системах. Головні контакти (ножі) знаходяться зовні на траверсі 6, і зв'язані ізоляційною штангою 9 з приводним механізмом.

У вимикачах цієї серії два контури струму: головний і дугогасильний. Коли вимикач увімкнено, велика частина струму проходить по головному контуру внаслідок меншого опору кола.

При вимкненні вимикача спочатку розмикаються робочі контакти, але дуга між ними не виникає, тому що струм продовжує проходити в дугогасильному контурі. При вмиканні замикаються дугогасильні контакти, а згодом – робочі.

Дугогасильний пристрій (рис. 1.10) складається з трьох відсіків, виконаних з ряду ізоляційних дисків 3 з фасонними вирізами, які закріплені

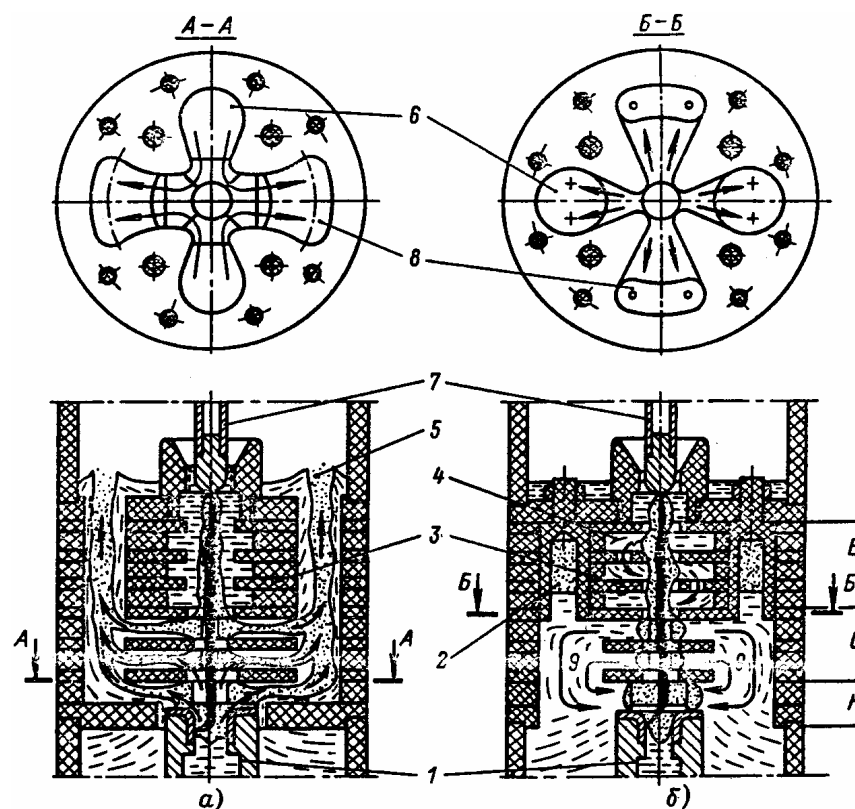


Рисунок 1.10 - Дугогасильна камера
вимикачів МГ-20, ВГМ-20

штифтами і шпильками. На рисунку показані розрізи камери по двох взаємно перпендикулярних площинах. Нижній відсік **Н** зібраний з дисків з двома дуттевими і вихлопними отворами в формі сопла (розріз А-А на рис. 1.10). Верхній відсік **В** складається з дисків із вирізами, які утворюють кармани 4, в яких знаходиться значна кількість масла. Цими дисками створюються буферні об'єми 2 і дуттеві канали. Коли всі диски і перегородки між ними зібрані, то створюється два вертикальних канали 5 і дуттеві канали 6, які видно на перерізі рис. 1.10.

При вимиканні вимикача під дією потужних пружин, зусилля яких передається через ізоляційну тягу траверсі, контактний стержень 7 виходить з розетки нерухомого контакту 1, і рухається вгору. При розмиканні створюється дуга спочатку в нижньому відсіку, а потім в середньому. Тиск газопарової суміші навколо дуги в середньому відсіку вищий, тому що переріз вихлопних каналів менший, тому створюється масляне дуття з середнього відсіку в нижній по каналам 9 (рис.1.10 б). Одночасно газопарова суміш нижнього відсіку створює дуття в вихлопний канал 8 (рис.1.10 а). Таким чином, напрям дуття масла в камері зустрічний і поперек стовбура дуги. В місці горіння дуги створюється тиск до 8 МПа, що сприяє інтенсивному дуттю. Для зменшення тиску при вимиканні великих струмів у верхньому відсіку є буферні об'єми 2. При великих і середніх значеннях струмів вимкнення гасіння дуги здійснюється в нижньому і середньому відсіках. При малих струмах гасіння дуги здійснюється в масляних карманах верхнього відсіку. Час горіння дуги в таких вимикачах 0.02-0.05с. Камера зустрічно-поперечного дуття дозволяє вимикати струми КЗ до 105кА.

Для управління вимикачами серії **МГ** та **ВГМ** використовуються електромагнітні приводи типів ПС-31, ПЕ-2, ПЕ-21.

Вимикачі масляні колонкові серії ВМК, ВМУЕ застосовуються в установках 35 кВ. В установках 110 і 220 кВ знаходять застосування вимикачі серії **ВМТ** (рис.1.11). Три полюси вимикача ВМТ-110 встановлені на загальній основі 4 і керуються пружинним приводом 1. Полюс вимикача це маслонаповнена колона, яка складається з опорного ізолятора 2, дугогасильного пристрою 3, механізму керування 5 і електронагрівальних пристроїв.

Дугогасильний пристрій (модуль) складається із струмовідводу 1, зв'язаного через струмознімальні пристрої з рухомим контактом 2, дугогасильної камери 3 зустрічно-поперечного дуття, нерухомого контакту 5. Всі ці елементи знаходяться в пустотілому фарфоровому ізоляторі 4, заповненому трансформаторним маслом і закритому зверху ковпаком 6. Ковпак має манометр для контролю залишкового тиску в дугогасильному пристрої, пристрій для заповнення стисненим газом, випускний автоматичний клапан, показувач рівня масла 8. В процесі гасіння дуги рівень масла піднімається, займаючи частково об'єм 7. В середині опорного ізолятора 2 (рис. 1.11, а) розміщені ізоляційні тяги, які зв'язують рухомий контакт з механізмом управління.

Маслонаповнені колони герметизовані і знаходяться під залишковим тиском газу (азоту або повітря). Залишковий тиск підтримує високу електричну стійкість міжконтактного проміжку, підвищує стійкість контактів, забезпечує надійне відключення як струмів КЗ, так і ємнісних струмів ненавантажених ЛЕП. Залишковий тиск створюється стисненим газом, який подається від балонів або компресора перед вводом вимикача в експлуатацію і зберігається без поновлення до чергової ревізії.

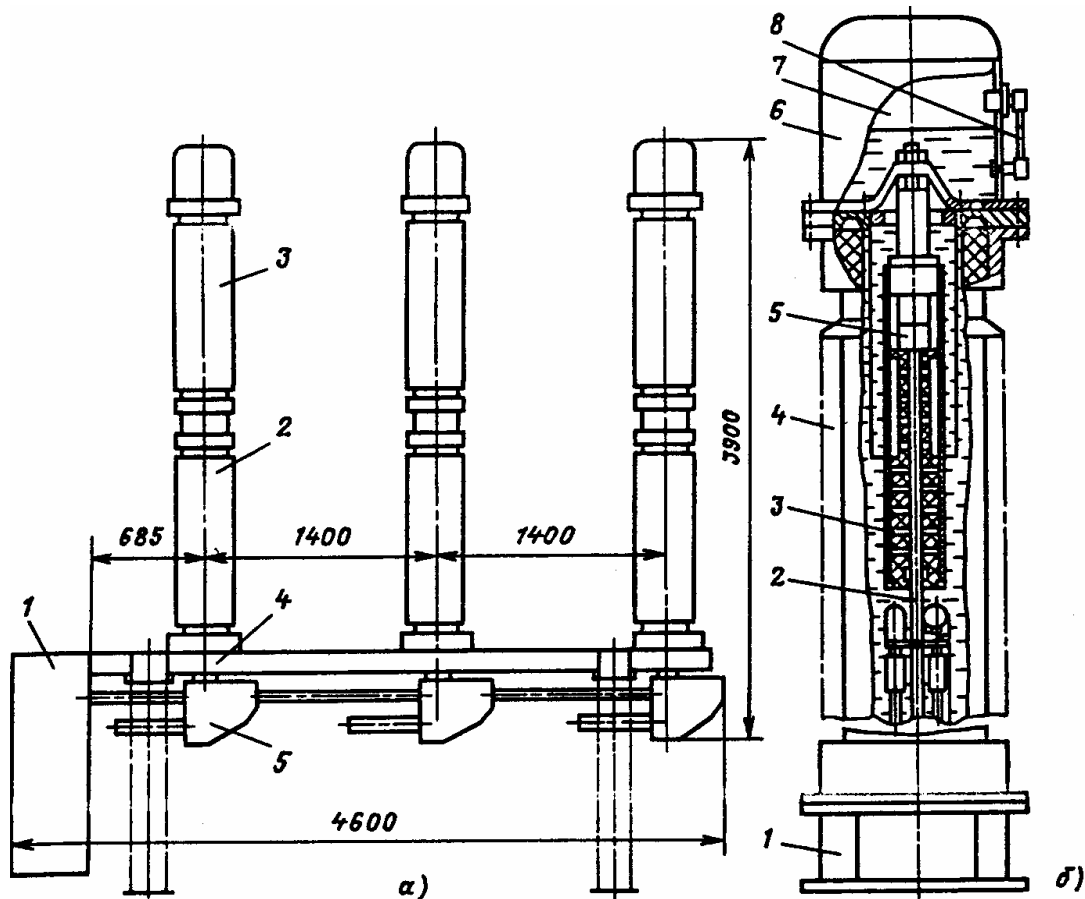


Рисунок 1.11 - Вимикач маломасляний **ВМТ-110**:
а – загальний вигляд; б – дугогасильний модуль

Вимикач типу **ВМТ-220** складається з трьох різних полюсів, встановлених на різних рамах. Кожний полюс керується пружинним приводом. Полюс вимикача має дві маслонаповнені колони, на яких встановлені дугогасильні модулі тієї ж конструкції, що і у вимикачі **ВМТ-110**. Всі деталі **ВМТ-220** максимально уніфіковані з вимикачем **ВМТ-110**, що дозволяє взаємозамінити змінні частини.

Конструкції маломасляних вимикачів напругою 35 кВ і вище продовжують вдосконалюватись з метою збільшення величини номінальних струмів і їх вимикальної здатності. В світовій практиці маломасляні вимикачі виготовляються на напруги до 420 кВ.

Переваги маломасляних вимикачів :

- невелика кількість масла;
- відносно мала маса;
- зручний доступ до дугогасильних контактів;
- можливість створення серії вимикачів на різні напруги з застосуванням уніфікованих вузлів.

Недоліки:

- вибухо- і пожежонебезпека, яка є значно меншою, ніж в бакових масляних вимикачах, але більшою ніж в повітряних;
- неможливість здійснення швидкодіючого АПВ;
- необхідність періодичного контролю та заміни масла в дугогасильних камерах;
- труднощі при встановленні вмонтованих трансформаторів струму;
- відносно мала вимикальна здатність.

Переважне застосування маломасляних вимикачів це закриті розподільні пристрої електростанцій і підстанцій напругою 6, 10, 35, і 110 кВ, комплектні розподільні пристрої напругою 6, 10, і 35 кВ та відкриті розподільні пристрої напругою 35, 110 та 220 кВ.

1.4 Повітряні вимикачі

В повітряних вимикачах гасіння дуги відбувається стисненням повітрям, а ізоляція струмоведучих частин і дугогасильного пристрою здійснюється фарфором або іншими твердими ізоляційними матеріалами.

Конструктивні схеми повітряних вимикачів різні і залежать від їх номінальної напруги, способу створення ізоляційного проміжку між контактами у вимкненому положенні та способу подачі стисненого повітря в дугогасильний пристрій.

У вимикачах на великі номінальні струми (рис. 1.12, *а,б*) є головний і дугогасильний контури, як і в маломасляних вимикачах типів МГ і ВГМ. Основна частина струму у ввімкненому положенні вимикача проходить по головних контактах 4, які розташовані відкрито. При вимиканні вимикача головні контакти розмикаються першими, після чого весь струм проходить по дугогасильних контактах, які розташовані в камері 2. До моменту розмикання цих контактів в камеру подається стиснене повітря із резервуара 1, створюючи при цьому сильне дуття, яке і гасить дугу. Дуття може бути поздовжнім (рис. 1.12, *а*) або поперечним (рис. 1.12, *б*). Необхідний ізоляційний проміжок між контактами в відключеному положенні створюється в дугогасильній камері шляхом розведення контактів на достатню відстань або спеціальним відділювачем 5, який знаходиться відкрито. Після вимкнення відділювача 5 припиняється подавання стисненого повітря в камери і дугогасильні контакти замикаються. Вимикачі, виконані за такою конс-

труктивною схемою виготовляються для внутрішнього встановлення на напруги 15 та 20 кВ і номінальні струми вимкнення до 2000 А (серія ВВГ), а також на напругу 35 кВ (серія ВВЕ-35-20/1600УЗ).

У вимикачах для відкритого виконання дугогасильна камера знаходиться всередині фарфорового ізолятора, причому на напрузі 35 кВ достатньо мати один розрив на фазу (рис. 1.12, в), на 110 кВ — 2 розриви на фазу (рис. 1.12, з).

Різниця між цими конструкціями полягає в тому, що у вимикачах напругою 35 кВ ізоляційний проміжок утворюється в дугогасильній камері 2, а у вимикачах напругою 110 кВ і вище після гасіння дуги розмикаються контакти відділювача 5 і камера відділювача залишається заповненою стисненим повітрям на весь час вимкненого положення. При цьому в дугогасильну камеру стиснене повітря не подається і контакти в ній не замикаються.

За конструктивною схемою рис. 1.12, з виготовляють вимикачі серії ВВ на напругу до 500кВ. Чим вища номінальна напруга і чим більша потужність вимкнення, тим більше розривів необхідно мати в дугогасильній камері і в відділювачі (на 330 кВ – вісім розривів; на 500 кВ – десять).

У розглянутих конструкціях повітря подається в дугогасильні камери із резервуара, який знаходиться біля основи вимикача. Якщо контактну систему розмістити в резервуар стисненого повітря, ізолюваного від землі, то швидкість гасіння дуги значно збільшиться. Такий принцип поставлений в основу серії вимикачів **ВВБ** (рис. 1.12, з). В цих вимикачах немає відділювача. При вимиканні вимикача дугогасильна камера 2, яка є одночасно резервуаром стисненого повітря, зв'язується з атмосферою через дуттєві клапани, завдяки чому створюється дуття, яке гасить дугу. У вимкненому положенні контакти знаходяться в середовищі стисненого повітря. За такою конструктивною схемою виготовляють вимикачі до 750 кВ. Кількість дугогасильних камер залежить від напруги: 110 кВ – одна; 220, 330 кВ – дві; 550 кВ – чотири; 750 кВ – шість (в серії ВВБК).

Для рівномірного розподілу напруги по розривах використовують омичні 3 і ємнісні ділянки напруги.

Розглянемо конструкції деяких повітряних вимикачів.

Повітряні вимикачі серії ВВГ-20 використовується для встановлення в колах потужних генераторів і розрахований на струм до 20000 А (рис. 1.13).

Головний струмоведучий контур складається з контактних виводів 4 і роз'єднувача 5. Дугогасильний контур складається з двох камер 3 і 8, резисторів 2 та відділювача 9. Послідовно з резистором 2 другої камери ввімкнена допоміжна камера 6 із своїм резистором 7 та іскровим проміжком. У ввімкненому положенні основна частина струму проходить по головному контуру.

Вимикання відбувається в такому порядку: розмикаються контакти роз'єднувача 5 і весь струм переходить в дугогасильний контур, де розми-

каються дугогасильні контакти в камерах 3 і 8. До цього в камери подається стиснене повітря (2 МПа), створюючи поздовжнє дуття, в результаті чого дуга гасне через 0,01 с. Струм, який проходить через резистори 2, розривається контактами допоміжної камери 6. При цьому можливі 2 випадки. Якщо вимикач вимикає великий струм КЗ, а реактивний опір кола значно менший активного опору шунтувальних резисторів 2, то швидкість відновлювальної напруги на контактах допоміжної камери велика. В цьому випадку після гасіння дуги на контактах камери 6 пробивається іскровий проміжок і паралельно контактам вмикається шунтувальний резистор 7. При подальшому переході струму через нуль, дуга на іскровому проміжку гаситься потоком стисненого повітря.

Останнім вимикається ніж відділювача, створюючи остаточний розрив електричного кола. Після вимкнення відділювача переривається подавання повітря в камери 3 і 8, і рухомі контакти під дією пружини вертаються у ввімкнене положення. Повний час вимкнення такого вимикача не перевищує 0,01 с. Вимикач 9, закріплені

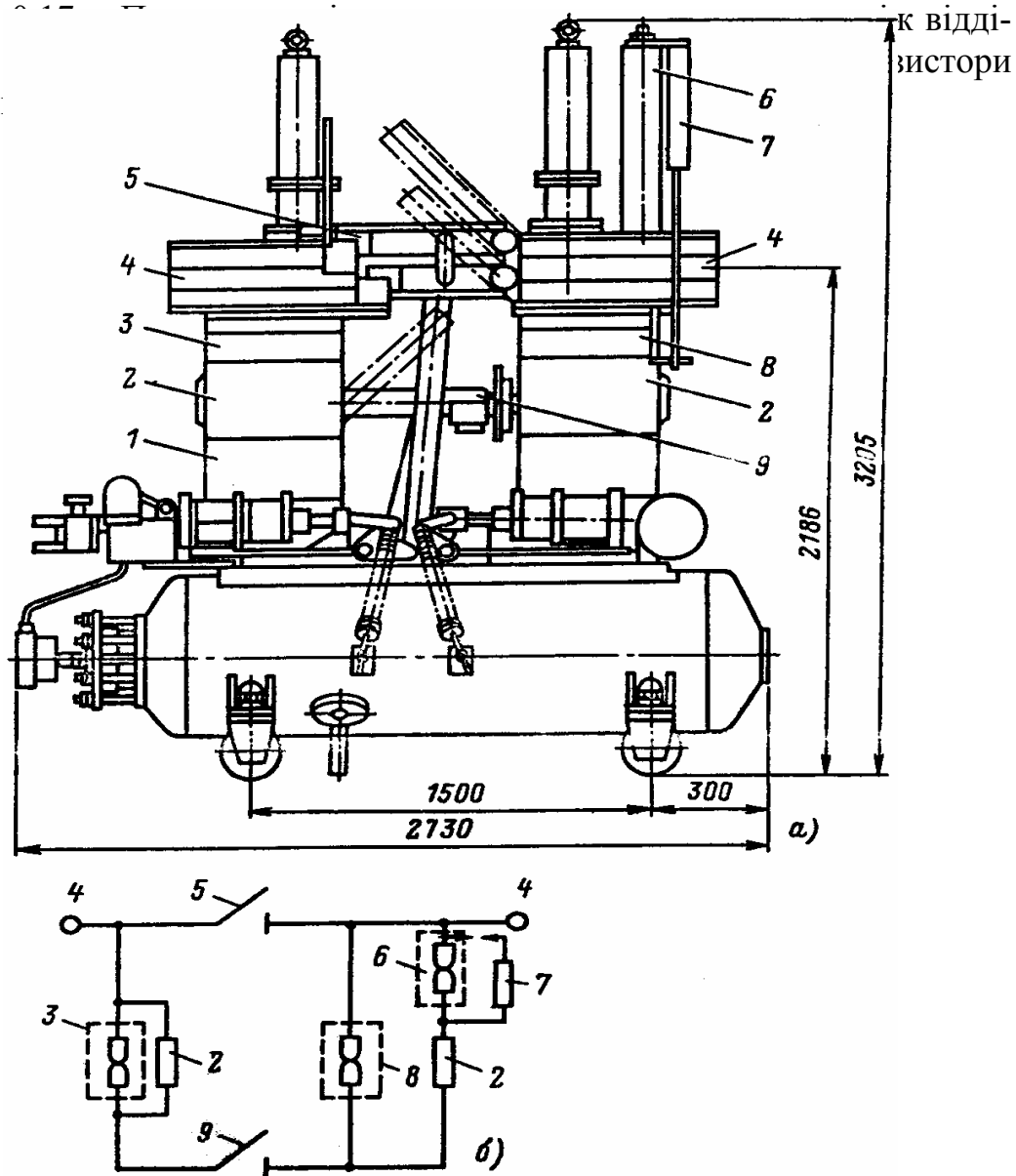


Рисунок 1.13 - Повітряний вимикач ВВГ-20:
а – загальний вигляд, б – схема електрична функціональна

Виконання операцій увімкнення і вимкнення та послідовність роботи окремих вузлів вимикача забезпечується пневматичною системою керування полюсом. Розглянутий вимикач не використовується для виконання операцій АПУ.

В колах генераторів знаходять застосування спеціальні вимикачі навантаження типу **ВНСГ** номінальною напругою $U_{\text{ном}} = 15$ кВ. Такі вимикачі розраховані на увімкнення генераторів при самосинхронізації ($i_{\text{вкл}} = 115$ кА) і витримують великі наскрізні струми КЗ ($i_{\text{пр,с}} = 480$ кА). Таким вимикачем можна вмикати і вимикати генератор під навантаженням ($I_{\text{ном}} = 12000$ А), а також вимикати струми коротких замикань до 31,5 кА. Вимикач **ВНСГ** компактно встановлюється в комплектний струмопровід генераторного розподільного пристрою. Гасіння дуги здійснюється стисненням повітрям під тиском 0,6 МПа.

Повітряні вимикачі знайшли широке застосування і в установках напругою 110-500 кВ. Їх конструкція відповідає схемі 1.12, *г* і відрізняється при різній напрузі кількістю дугогасильних камер і камер повітряно-наповненого відділювача. Для гасіння дуги в цих вимикачах використовується повітря з тиском 2 МПа.

В усіх вимикачах стиснене повітря з заземленого резервуара подається в дугогасильну камеру по ізольованому повітропроводу або внутрішній порожнині ізолятора, довжина якого залежить від номінальної напруги вимикача. Час заповнення камери повітрям залежить від тиску повітря в резервуарі і від довжини повітропроводу. В вимикачах 35 і 110 кВ цей час складає 0,003-0,005 с, в вимикачах 150-220 кВ – 0,007-0,01 с, в вимикачах 330-550 кВ – 0,013-0,014 с. Збільшення часу заповнення камери збільшує власний час вимкнення вимикача, при цьому погіршується основний показник повітряного вимикача – його швидкодія. Основними серіями повітряних вимикачів, які знайшли широке застосування в схемах розподільних пристроїв електричних станцій та підстанцій, є вимикачі типів ВВБ, ВВБК та ВВН.

Вимикачі серії ВВБ (рис. 1.12, *д*) мають ізольований від землі резервуар із стисненим повітрям, всередині якого знаходиться контактна система вимикача. Тому власний час вимкнення цих вимикачів надвисокої напруги менший, ніж у вимикачів серії ВВ. Тиск повітря в гасильній камері у вимикачах типів ВВ в момент гасіння дуги дорівнює приблизно половині номінального, тому що при постійній його подачі з резервуара в камеру він поступово падає. В вимикачах ВВБ тиск повітря до моменту гасіння рівний номінальному, тому ці вимикачі мають велику потужність вимкнення.

Основним елементом вимикачів ВВБ є дугогасильний модуль з двома розривами в металевому резервуарі із стисненим повітрям (2 МПа). При номінальній напрузі 110 кВ на кожний полюс застосовують один дугогасильний модуль (рис. 1.14). Основою вимикача є вертикальний резервуар 1 із стисненим повітрям, на якому збоку закріплена шафа керування з при-

строями електричного і пневматичного управління. Запасу повітря, яке є в дугогасильному модулі об'ємом 1500 л, достатньо для двох циклів вимкнення. Додатковий вертикальний резервуар ємкістю 2300 л, який передбачений в останніх конструкціях **ВВБ-110**, забезпечує цикл операцій **В** – t_{6T} – **УВ** без живлення стисненим повітрям з магістралі.

Дугогасильна камера зв'язана з додатковим резервуаром трубою з ізоляційного матеріалу, по якій виконується постійне живлення повітрям. Крім того, в ізоляторі проходить друга труба меншого діаметра, по якій подається повітря в процесі ввімкнення і вимкнення. Ця труба називається імпульсною. На електропневматичній схемі вимикача **ВВБ-110** (рис. 1.14)

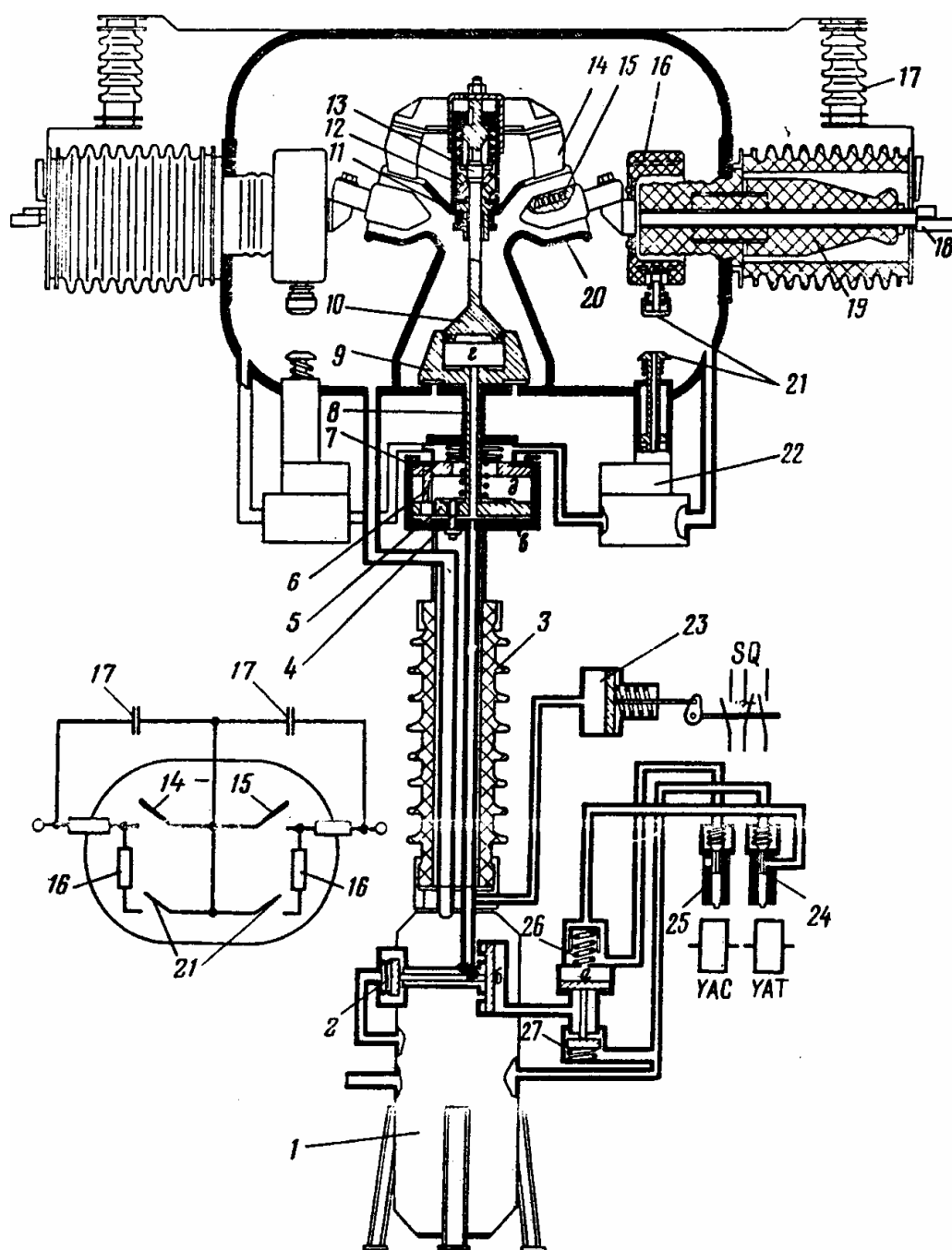


Рисунок 1.14. Електропневматична і електрична функціональна схема вимикача типу **ВВБ-110**

умовно показано горизонтальний переріз (крім допоміжних контактів). Розташування ємнісного дільника 17 також показано умовно.

На опорному ізоляторі 3 закріплений металевий резервуар – дугогасильний модуль, всередині якого знаходяться рухомі контакти у вигляді ножів 14, які закріплені на траверсі, і нерухомі контакти 15 всередині металевих стаканів з прорізами для введення ножів. Нерухомі контакти знаходяться всередині металевих конфузорів 20, які екранують ножі у вимкненому положенні і які створюють направлений потік повітря при вимкненні. На вводах 18, які ізольовані епоксидними втулками 19 і фарфоровою рубашкою, всередині камери розташовані шунтувальні резистори 16 і допоміжні контакти 21.

На рис. 1.14 вимикач показано у вимкненому положенні. Для увімкнення подається командний імпульс на електромагніт увімкнення УАС, який відкриває пусковий клапан 25. Повітря з порожнини зворотного клапана 26 і об'єму *a* проміжного клапана 27 викидається в атмосферу. Проміжний клапан переміщується вгору і забезпечує викид повітря з об'єму *b* клапана управління, який перекриває доступ стиснутому повітрю з резервуара 1 і забезпечує викид повітря з об'єму *b* під поршнем дуттєвого клапана та з порожнини *г* через порожнистий шток 8. При цьому за рахунок різниці тиску під поршнем 10 і над ним контактна система йде на увімкнення. Ролики фіксатора 12 переходять через виступ на штоці 13. Контактні ножі 14 входять в пальцевий нерухомий контакт 15. Одночасно через золотники 6 стиснене повітря викидається з порожнини *д* і запірна шайба 7, під дією своєї пружини, переміщається до поршня 5. При закритті клапана 2 забезпечується викидання повітря з під поршня привода 23 допоміжних контактів SQ, які переводяться в положення “Увімкнено”.

Допоміжні контакти 21 вмикаються з деяким запізненням, по відношенню до головних, за допомогою клапана 22.

У увімкненому положенні струм проходить по струмоведучому стержню вводу через нерухомий контакт 15, ніж 14, траверсу, ніж і контакт другого розриву у другий ввід.

Для вимкнення вимикача подається командний імпульс на електромагніт вимикання УАТ, який відкриває пусковий клапан 24.

Стиснене повітря із резервуара через зворотний клапан 26 заповнює об'єм *a*. Клапан 27 відкривається, забезпечуючи доступ стисненому повітрю в об'єм *b*, при цьому клапан 2 з'єднує імпульсну трубу з резервуаром 1. Стиснуте повітря поступає в порожнину *в*, поршень 5 разом із пломбою 7 переміщується вгору. Рух поршня через шток 8 передається тарілці дуттєвого клапана 9, поршню механізму траверси 10 і через шток 13 траверсі з контактними ножами. Відкривається дуттєвий клапан, контакти розмикаються, і виникає дуга.

Потужним потоком повітря дуга з робочих контактів перекидається на протиелектрод 11 і кінці стаканів нерухомого контакту 15. Час гасіння дуги не перевищує 0,02 с.

В кінці руху поршня шайба 7 закриває вихід в атмосферу з порожнини δ . Починається перетікання повітря із порожнини ϵ в порожнину δ через регульовальний отвір в поршні, закритий голкою 4. Коли тиск в порожнині збільшується, поршень під дією своєї пружини повернеться в початкове положення, а шайба залишиться притиснутою у верхньому положенні. Разом із поршнем опускається тарілка 9, дуттєвий клапан закривається.

Вимикання допоміжних контактів, які розривають струм через шунтувальні опори, відбувається із запізненням, по відношенню до головних, за рахунок подачі повітря в клапан 22 після того, як шайба 7 перекриє вихід в атмосферу. Дуга, що виникла між контактами, гаситься потоком повітря, яке проходить через рухомий контакт.

При подачі повітря в імпульсну трубу в процесі вимикання, частина повітря попадає під поршень привода 23, і допоміжні контакти переводяться в положення, яке відповідає вимкненому положенню вимикача.

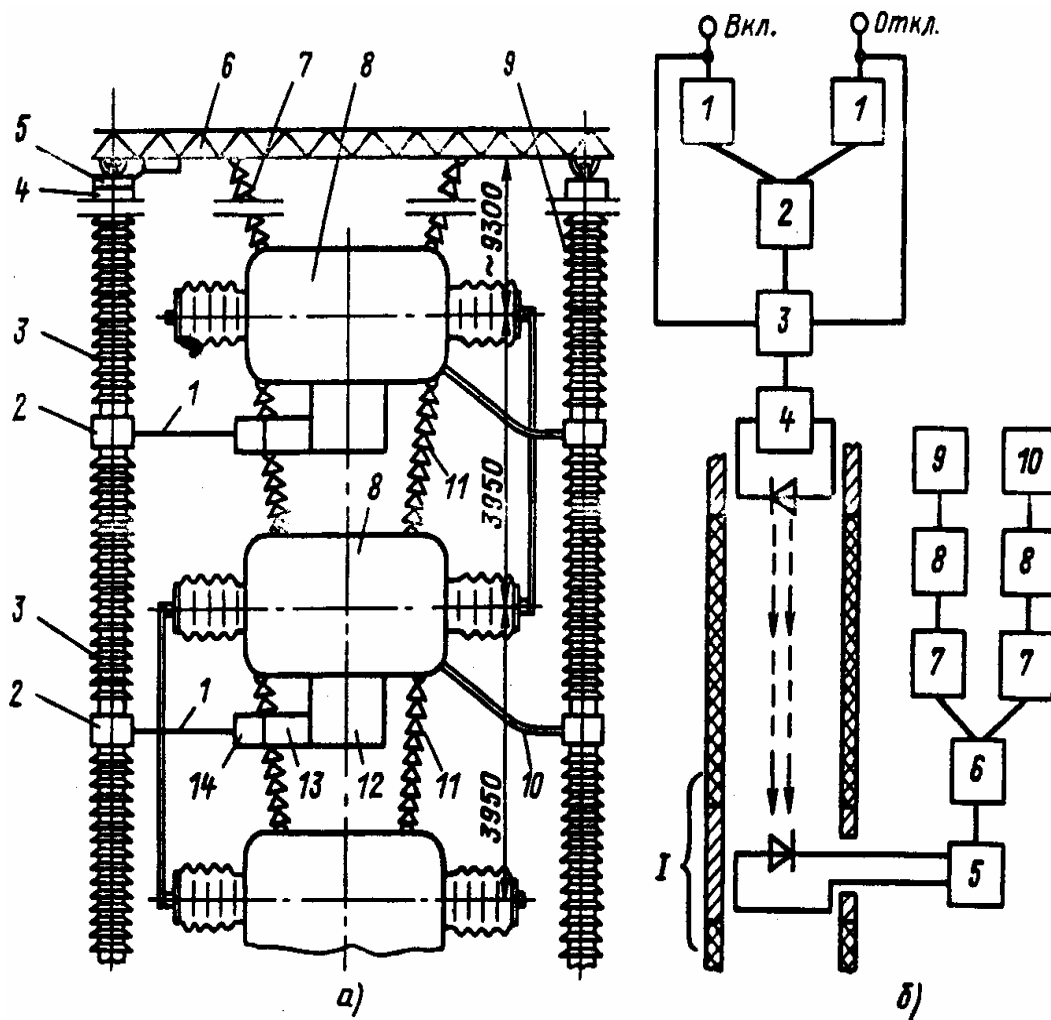


Рисунок 1.15 - Півполюс повітряного вимикача **ВВБК** підвісного типу на 1150 кВ (а) та функціональна схема системи керування вимикачем з пневмосвітловою передачею (б).

В теперішній час вимикачі серії **ВВБ** модернізовано. Нові вимикачі типів **ВВБК** працюють при тиску повітря 4 МПа, а в камері гасіння дуги крім основного дуття, як і в серії ВВБ, існує додаткове дуття через нерухомі контакти з продуванням продуктів горіння через струмоведучі стержні вводів. Це дозволило збільшити струм вимкнення вимикача до 50-56кА, а кількість модулів зменшити: на 330 кВ замість чотирьох модулів **ВВБ** в серії вимикача **ВВБК** застосовують два модулі, на 500 кВ замість шести модулів — чотири, на 750 кВ замість восьми - шість.

При напрузі електроустановки 750 кВ і вищій знайшли використання повітряні вимикачі підвісного виконання. Вимикач на напругу 1150 кВ складається із шести модулів **ВВБК**, підвішених на порталі. В кожному півполюсі (рис. 1.15, а) три модулі 8, колона живлення стисненим повітрям 9 і колона керування 3. У вимикачі використана пневмосвітлова система регулювання, яка дозволяє зменшити час вимкнення вимикача за рахунок зменшення передачі командного імпульсу.

Колони живлення і регулювання шарнірно підвішені до порталу 6. Верхній дугогасильний модуль 8 підвішений до порталу на трьох гірляндах підвісних ізоляторів 7. Середній модуль підвішений до верхнього на трьох гірляндах 11, нижній – до середнього. Колона живлення 9 складається з пустотілих фарфорових ізоляторів, всередині яких знаходиться труба із склопластику, яка з'єднана гумовими шлангами 10 із дугогасильними модулями. У верхньому фланці 4 колони регулювання розміщений передавальний пристрій 5, а у фланцях 2 – оптичні системи з фотодіодами, які екранованим кабелем 1 зв'язані з приймальним пристроєм 14.

Передача командних імпульсів від передавального пристрою, який знаходиться на потенціалі землі, до приймального пристрою, розміщеного на високому потенціалі, здійснюється за допомогою світлового потоку інфрачервоного діапазону. Світлові сигнали потрапляють на фотодіоди та перетворюються на електричні імпульси, які розшифровуються в приймаючому пристрої 14. Переміщення рухомих контактів при увімкненні та вимкненні вимикача і керуванні дуттєвим клапаном здійснюються за допомогою пневматичної системи блока керування 12. По одному оптичному каналу можна передати команди на увімкнення і вимкнення вимикача, а також отримати сигнал про його положення.

На рис. 1.15, б показано функціональну схему системи керування з пневмосвітловою передачею. Передавальний пристрій складається із елементів, що приймають електричний командний імпульс від кіл захисту і керування, пристрою формування команд 1 тактових імпульсів 2, генератора несучої частоти 3 і вихідного пристрою 4. Пристрої 1, 2, 3 здійснюють передавання команд шляхом імпульсного і частотного кодування. Вихідним пристроєм 4 є декілька світлодіодів, які з'єднані паралельно. Для перетворення електричного сигналу в світловий можуть використовуватись також інші джерела випромінювання, як, наприклад, лазери, імпульсні ксенонові і неонові лампи. Живлення передавального пристрою здійсню-

ється від мережі змінного струму напругою 220 В або від мережі постійного струму напругою 24 В.

Світловий сигнал передається по оптичному каналу на фотодіод. Можливе використання гнучкого скловолоконного світловода. В цьому випадку спрощується конструкція колони 3, а фотодіод розміщують безпосередньо в приймальному пристрої.

Приймальний пристрій складається із фотодіодів, вхідного пристрою 5, який є резонансним контуром, схеми накопичування 6 та дешифраторів 7, які при надходженні сигналу кодування “вимкнути” або “увімкнути” формують одиничний імпульс, що відповідає переданій команді, блоків приймального пристрою 8, які забезпечують підключення автономного джерела енергії до виконуючого механізму — електромагніта увімкнення 9 та вимкнення 10.

Система керування з пневмосвітловою передачею дозволила зменшити час увімкнення до 0,088 с та власний час вимкнення вимикача до 0,022 с.

За розглянутою конструктивною схемою розробляються вимикачі на напругу до 2000 кВ.

Модульний принцип розбудови вимикача розглянутої серії дозволяє, при необхідності, швидко замінити модуль, який вийшов із ладу, на новий. Тривалість ремонту при цьому значно зменшується, а це підвищує надійність роботи електроустановки в цілому.

Вимикачі серії ВНВ мають збільшений дворозривний дугогасильний модуль на напругу 220-250 кВ. Всі вимикачі цієї серії напругою 110-1150 кВ компонуються резервуаром, шафою керування і опорною ізоляційною колоною, на якій змонтований дугогасильний модуль. Поліус вимикача на 220 кВ має одну опорну колонку з одним дворозривним модулем (рис. 1.16), на 500 кВ – дві опорні колонки і два модулі, на 750 кВ – три колонки і три модулі, на 1150 кВ – п'ять колонок і п'ять модулів.

Дугогасильний модуль – це дворозривна дугогасильна камера, контактна система якої знаходиться постійно в середовищі стисненого повітря (4 МПа), як у увімкненому, так і у вимкненому стані. Контакти змонтовані в металевому резервуарі, на якому розміщені контейнери з шунтувальними резисторами і механізмами їх комутування, також заповненими стисненим повітрям. Струмоведачі частини приєднані до контактної системи за допомогою ізолювальних введів. Гасіння дуги в камері здійснюється двостороннім дуттям стиснутим повітрям, яке викидається через внутрішні порожнисті контактів і вихлопні клапани в атмосферу. Контакти мають двокроковий рух: при гасінні дуги розрив між контактами має мінімальне значення, чим забезпечується інтенсивне дуття. Після закінчення гасіння дуги рухомий контакт зміщується на максимальну відстань, забезпечуючи необхідну електричну міцність повітряного проміжку.

Вимикачі серії **ВНВ** розраховані на напруги до 1150 кВ та на струми вимкнення до 63 кА. Порівняно з вимикачами серії ВВБ ці вимикачі мають меншу вагу та менші габарити.

Повітряні вимикачі мають такі переваги:

- вибухо і пожежобезпечність;
- достатньо високу швидкодію та можливість здійснення швидкодіючих АПВ;
- високу вимикальну здатність;
- надійне вимкнення ємнісних струмів ліній;
- мале зношування дугогасильних контактів;
- легкий доступ до дугогасильних камер;
- можливість утворення серій з уніфікованих вузлів на надвисокій напрузі;
- придатність для зовнішньої і внутрішньої установки.

Недоліками повітряних вимикачів є:

- необхідність компресорної станції;
- складна конструкція ряду деталей та вузлів;
- відносно висока вартість;
- неможливість установки вмонтованих трансформаторів струму.

1.5 Електромагнітні вимикачі

Електромагнітні вимикачі для гасіння дуги не потребують ні масла, ні стиснутого повітря, що є великою перевагою їх перед іншими типами вимикачів. Вимикачі такого типу виготовляють на напругу 6-10 кВ, номінальний струм до 3600 А і струм вимкнення до 40 кА.

На рис. 1.17 показаний вимикач типу **ВЕ-10-40**, встановлений на візку та призначений для розташування в КРП. На зварній основі 1, встановленій на катках, кріпляться привід 13, три полюси 5 вимикача, що складаються з двох ізоляційних відділів, на яких кріпляться два прохідних епоксидних ізолятори 6 з розетковими контактами. На верхньому ізоляторі вмонтовані нерухомі контакти 7, на нижньому — рухомі контакти 4, зв'язані ізоляційною тягою 10 з валом вимикача 12. Останній з'єднаний з приводом 13 за допомогою важелів 11 і тяг. Дугогасильні камери 8 кріпляться на нерухомому контакті та спеціальних стійках, які ізолювані між собою кожухом. Передня частина кожуха обшита металевим листом, який надійно заземлений разом із рамою відповідного елемента КРП.

Кола вторинної комутації розміщені у металевому шланзі і закінчуються штепсельним роз'ємом. При вимкненні вимикача розмикаються головні контакти, а потім дугогасильні 1. Дуга А під дією електродинамічних сил струмоведучого контура і повітряних потоків видувається в верх в дугогасильну камеру (положення дуги Б). При цьому в коло між мідним рогом 3 і контактом вмикається обмотка електромагніта 2. Створене попере-

чне магнітне поле переміщує дугу в положення В — між лівим 3 і правим 5 мідними рогами. Увімкнена друга обмотка 6 підсилює магнітне поле, дуга втягується всередину гасильної камери з керамічними пластинами 4, розтягується, попадає у вузьку щілину та гасне при наступному проходженні струму через нуль. При вимиканні малих струмів (до 1000 А) напруженість магнітного поля невелика і не може забезпечувати швидке втягнення дуги в камеру. Гасіння дуги в цьому випадку забезпечується дуттєвим пристроєм 2 з трубкою піддуву 3, через яку подається потік повітря на стовбур дуги (рис.1.17, а).

Вимикачі серії **ВЕ-10** на різні струми вимкнення відрізняються тільки розмірами дугогасильних камер. При номінальних струмах 1600 А та вище робочі контакти мають срібні напайки. Вивідні контакти у вимикачів до 2500А розеткового типу, у вимикачів на струми 3600А - пальцеві, без прохідних ізоляторів.

Приводи вимикачів типу ВЕ-10 пружинні.

Переваги електромагнітних вимикачів:

- повна вибухо- і пожежобезпечність;
- мале зношування дугогасильних контактів;
- придатність для роботи в умовах частих циклів увімкнень та вимкнень;
- відносно висока вимикальна здатність.

Недоліки:

- складність конструкції дугогасильної камери з системою магнітного дуття;
- обмежена верхня межа номінальної напруги (15-20 кВ);
- обмежена придатність для зовнішнього встановлення.

1.6 Вакуумні вимикачі

Електрична стійкість вакуумного проміжку набагато більша, ніж повітряного проміжку при атмосферному тиску. Ця властивість використовується у вакуумних дугогасильних камерах **КДВ** (рис. 1.18). Робочі контакти 1 мають вигляд порожнистих зрізаних конусів з радіальними прорізами. Така форма контактів при розмиканні створює радіальне електродинамічне зусилля, що діє на виникаючу дугу і змушує переміщатися її через зазори 3 на дугогасильні контакти 2. Контакти - це диски, розрізані спіральними прорізами на три сектори, по яких рухається дуга. Матеріал контактів підібраний так, щоб зменшити кількість металу, який випаровується. Внаслідок глибокого вакууму (10^{-4} – 10^{-6}) відбувається швидка дифузія заряджених часток у навколишній простір і при першому переході струму через нуль дуга гасне.

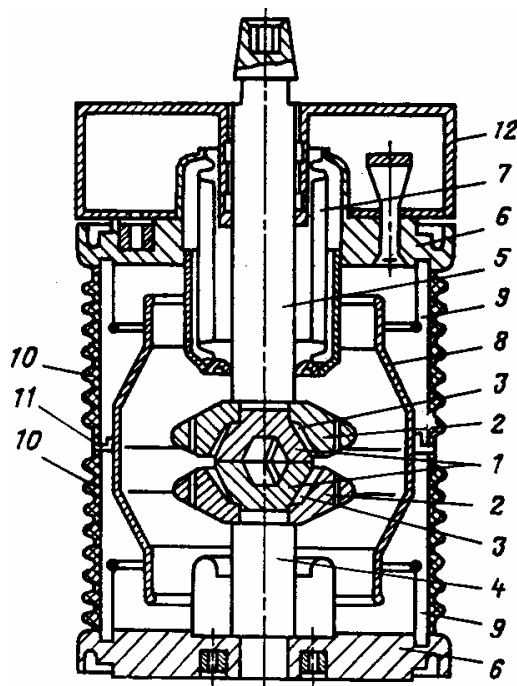


Рисунок 1.18- Вакуумна дугогасильна камера КДВ-10-1600-20

Підведення струму до контактів здійснюється за допомогою мідних стрижнів 4 і 5. Рухомий контакт кріпиться до верхнього фланця 6 за допомогою сильфона 7 із нержавіючої сталі. Металеві екрани 8 і 9 служать для вирівнювання електричного поля і для захисту керамічного корпусу 10 від напилювання парів металу, що утворюються при гасінні дуги. Екран 8 кріпиться до корпусу за допомогою кільця 11. Поступальний рух верхнього контакту забезпечується корпусом 12, що має направляючу. Хід рухомого контакту 12 мм.

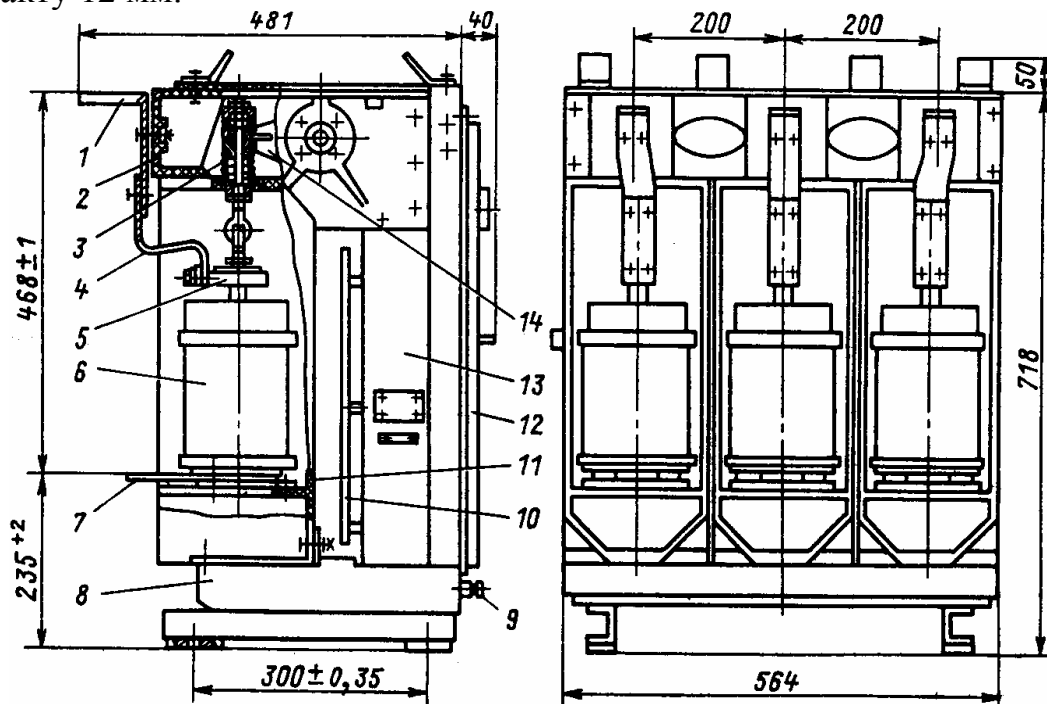


Рисунок 1.19 - Вимикач
вакуумний **ВВТЭ-10-10/630У2**

На основі розглянутої вище вакуумної дугогасильної камери створені вимикачі напругою 10–110 кВ з номінальним струмом до 3200 А и струмом вимкнення до 31,5 кА.

На рис. 1.19 показаний вакуумний вимикач **ВВТЭ-10-10/630У2**, призначений для комутації електричних ланцюгів 10 кВ у нормальних і аварійних режимах, який влаштовується в комірці КРП. На рамі 8 за допомогою ізоляційних каркасів 11 укріплені три дугогасильні вакуумні камери 6. Вивід рухомого контакту 5 за допомогою гнучкого зв'язку 4 пов'язаний з верхнім контактним ножем 1, який укріплений на ізоляційній балці 2. Нерухомий контакт камери пов'язаний з нижнім ножем 7. Електромагнітний привод 13 через систему тяг і ізоляційної плити 14 пов'язаний з рухомими контактами. Кінцеве контактне натискання забезпечують пружини 3. Сталева перегородка 10 призначена для захисту постійних магнітів, що знаходяться в приводі, від впливу електромагнітних полів головних ланцюгів вимикача. Вимикач закритий передньою кришкою 12 з вікнами для спостереження за механічним показувачем увімкненого та вимкненого положень і лічильником кількості циклів УВ. Заземлення здійснюється за допомогою бобишки 9.

Розглянутий вимикач розрахований на 2000 операцій УВ при номінальному струмі і 50 операцій при струмі КЗ 10 кА. Повний час вимкнення вимикача 0,05 с.

Аналогічну будову мають вимикачі на 1000 і 1600 А.

Вимикачі **ВВТП**, на відміну від вищеописаного, мають пружинний привод.

На рис. 1.20, а показаний загальний вигляд вакуумного вимикача **ВБК-35Б-20/1000У1**, призначеного для частих комутацій у нормальних і аварійних режимах в електроустановках 35 кВ. Вимикач розрахований на відкрити установку. На спільній рамі кріпляться за допомогою фарфорових ізоляторів три полюси. У кожному полюсі (рис. 20, б) у фарфоровому ізоляторі 3, армованому фланцями 2 і 6, міститься дугогасильна камера 5. Для надійної ізоляції полюси заливаються маслом, а в кришці 1 є маслопоказувач. Механізм приводу полюса 8 тягами 7 і 4 пов'язаний з рухомим контактом. Гасіння дуги здійснюється у вакуумній камері 5.

В установках 110 кВ знаходять застосування вакуумні вимикачі типу **ВБК-110Б-20/1000У1**. У кожному полюсі в фарфоровій покришці містяться чотири послідовно увімкнені дугогасильні камери. У решті будова цього вимикача подібна до вимикача типу **ВБК-35**.

Достатньо широке застосування одержали вакуумні вимикачі навантаження **ВНВ**, розраховані на вимкнення номінальних струмів. Вакуумні

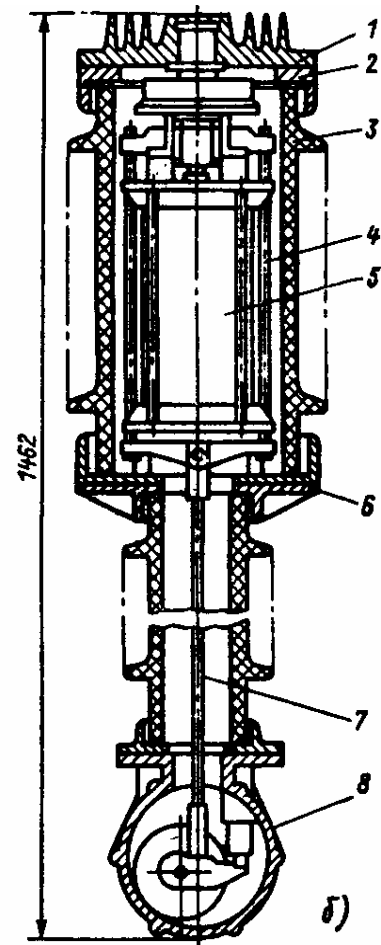
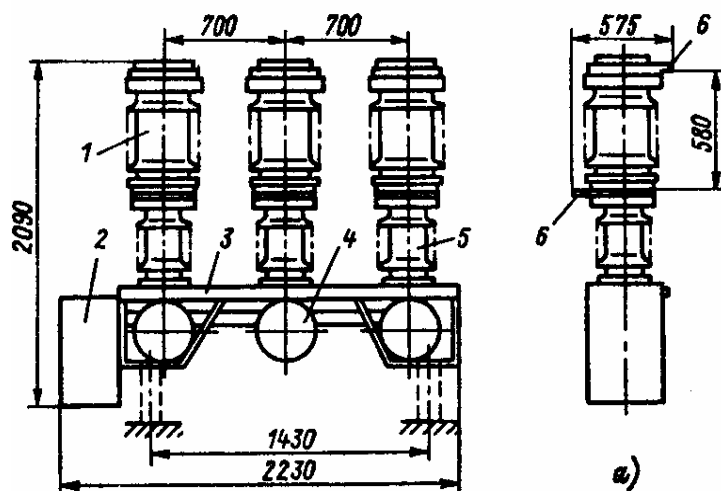
вимикачі у світовій практиці застосовуються в електроустановках напругою до 500 кВ включно.

Рисунок 1.20 – Вакуумний вимикач

ВВК-35Б-20/1000У1:

а – загальний вигляд: 1 – полюс; 2 – привод; 3 – рама; 4 – механізм приводу полюса; 5 – опорний ізолятор; 6 – струмоведачі шини;

б – полюс вимикача: 1 – кришка; 2, 6 – фланці; 3 – фарфоровий ізолятор; 4, 7 – тяги; 5 – вакуумна камера; 8 – механізм привода



Переваги вакуумних вимикачів:

- простота конструкції;
- високий ступінь надійності;
- висока комутаційна зносостійкість;
- малі розміри;
- повна пожежо- та вибухобезпечність;
- відсутність шуму при операціях;
- відсутність забруднення навколишнього середовища;
- малі експлуатаційні витрати.

Недоліки вакуумних вимикачів:

- порівняно невеликі номінальні струми і струми відключення;
- можливість комутаційних перенапруг при відключенні малих індуктивних струмів.

1.7 Автогазові вимикачі

У автогазових вимикачах для гасіння дуги використовується газ, що виділяється з твердого газогенеруючого матеріалу дугогасильної камери. У системах електропостачання міст і промислових підприємств достатньо широко поширені вимикачі навантаження **ВН-16**, **ВН-17** на напругу 6-10 кВ з найпростішою дугогасильною камерою, що має вкладки з органічного скла. Проте ці вимикачі не можуть вмикатися на струм КЗ, рівний струмові динамічної стійкості, і допускають порівняно малу кількість вимкнень номінального струму.

В даний час ці вимикачі модернізовані в серію **ВН-10**. Вони можуть споряджатися запобіжниками **ПК-6** або **ПК-10** для захисту від струмів КЗ, автоматичним пристроєм для відключення запобіжника при спрацюванні, приводом ПРА і заземлювальними ножами.

На базі запобіжника **ПСН-35** створений автогазовий вимикач типу **УПС-35У1**. На рис. 1.21, *а* показаний загальний вигляд одного полюса. На опорному ізоляторі 2 закріплений патрон із газогенеруючою трубкою, всередині якої знаходяться плавка вставка і контактна система. При подачі сигналу вимкнення спрацьовує пружинний привод і, через спільний для трьох полюсів вал, переміщає ізолятори-штовхачі на 50-60 мм вниз. При цьому зусилля через ніж 6 передається струмоведучим зв'язкам патрона 9 (рис. 1.21, *б*) і контактної системи 8. Контактна система має легкі алюмінієві заклепки, що утримують контакти у увімкненому положенні. Зусилля, отриманого від руху ножа 6, достатньо, щоб зрізати заклепки. Гнучкі зв'язки звільняються, і ножі 6 повертаються до упору, викидаючи зв'язки назовні. Електрична дуга, що виникає, гаситься поздовжно-поперечним газовим дуттям. При спрацюванні плавкої вставки вимикач працює як запобіжник ПВТ. Для введення вимикача в роботу необхідно замінити плавку вставку і контактну систему.

Рисунок 1.21-Автогазовий вимикач **УПС-35У1**:

а – загальний вигляд:

1 – зварна рама; 2 – опорний ізолятор; 3 – металева труба; 4 – вініпластова генеруюча трубка; 5 – корпус з патрубком поперечного дуття; 6 – контактний ніж; 7 – ізолятор-штовхач;

б – патрон УПС-35У1 виконання “патрон-плавка вставка”: 1 – металева труба; 2 – втягувальна пружина; 3 – гнучкий трос; 4 – газогенеруюча трубка; 5 – стрижень; 6 – плавка вставка; 7 – дуттєвий патрубок; 8 – контактна система; 9 – гнучка струмоведуча частина; 10 – стопорний гвинт; 11 – стріловидний окінцівник

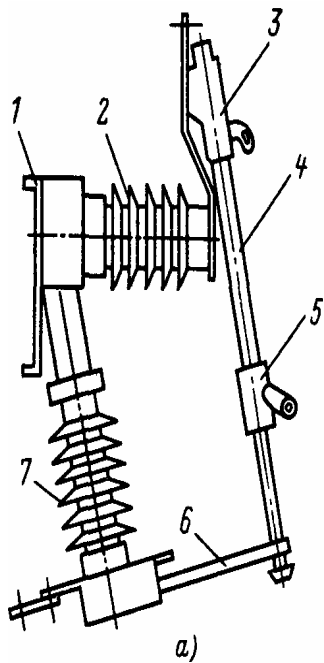
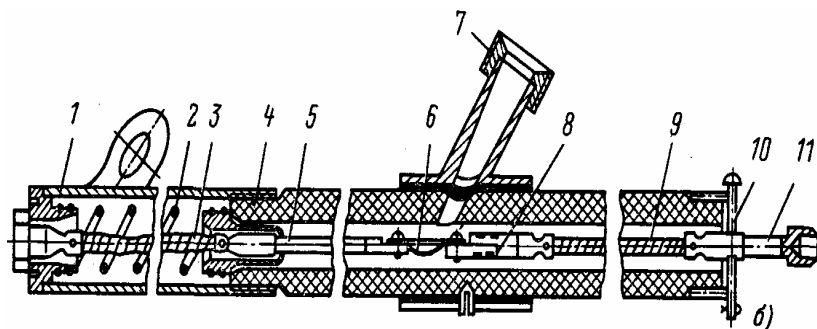


Рисунок 1.21-Автогазовий вимикач УПС-35У1:
а – загальний вигляд:

1 – зварна рама; 2 – опорний ізолятор; 3 – металева труба; 4 – вініпластова генеруюча трубка; 5 – корпус з патрубком поперечного дуття; 6 – контактний ніж; 7 – ізолятор-штовхач;

б – патрон УПС-35У1 виконання “патрон-плавка вставка”: 1 – металева труба; 2 – втягувальна пружина; 3 – гнучкий трос; 4 – газогенеруюча трубка; 5 – стрижень; 6 – плавка вставка; 7 – дуттєвий патрубок; 8 – контактна система; 9 – гнучка струмоведуча частина; 10 – стопорний гвинт; 11 – стріловидний окінцівник



Розглянутий вимикач може застосовуватися для установки на відкритій частині КТП з трансформаторами 35/6–10 кВ потужністю до 6300 кВ·А включно. Він розрахований на номінальний струм 50–130 А та струми відкриття 1,6–2 кА.

Переваги автогазових вимикачів:

- простота та надійність конструкції;
- невелика маса.

Недоліки:

- швидке зношування твердого дугогасника;
- відносно велике зношування контактів або їхнє руйнування (у вимикачі типу УПС).

1.8 Елегазові вимикачі

Електротехнічний газ (елегаз) SF_6 – це інертний газ, щільність якого перевищує щільність повітря у п'ять разів. Електрична міцність елегазу в 2-3 рази вище міцності повітря. При тиску 0,2 МПа електрична міцність елегазу дорівнює міцності електротехнічного масла.

В елегазі при атмосферному тиску можна погасити електричну дугу зі струмом у 100 разів більшим, ніж у повітрі при тих же умовах. Виняткова електрична міцність елегазу пояснюється тим, що його молекули стримують рух електронів у дуговому стовпі і утворюють відносно нерухомі негативні іони. Втрата електронів робить електричну дугу нестійкою, і її значно легше погасити. Дугогасильні властивості елегазу широко використовуються в різноманітних електротехнічних апаратах високої напруги. В елегазових вимикачах застосовують автопневматичні дугогасильні пристрої, в яких газ в процесі вимкнення стискується поршневим пристроєм та направляється в зону гасіння дуги. Елегазові вимикачі - це замкнена система без викидання газу в навколишнє середовище. Вимикачі навантаження елегазові багато в чому нагадують конструкцію відділювачів. Проте з метою успішного вимкнення струму в них передбачаються пристрої для обертання дуги в елегазі (рис. 1.22). До рухомого і нерухомого контактів вмонтовані постійні магніти з фериту, які створюють магнітні поля, спрямовані назустріч одне одному. При розмиканні контактів утворюється дуга, струм якої взаємодіє з радіальним магнітним полем, у результаті чого створюється сила F , яка переміщає дугу по кільцевих електродах. Обертання дуги в елегазі сприяє швидкому її гасінню. Чим більший струм, що вимикається, тим більша швидкість переміщення дуги. Це захищає контакти від надмірного обгоряння при гасінні дуги. Контактна система описаної конструкції міститься всередині фарфорового корпусу, заповненого елегазом і герметично закритого. Тиск усередині камери 0,3 МПа. Підживлення при можливих витках відбувається з балона зі стиснутим елегазом.

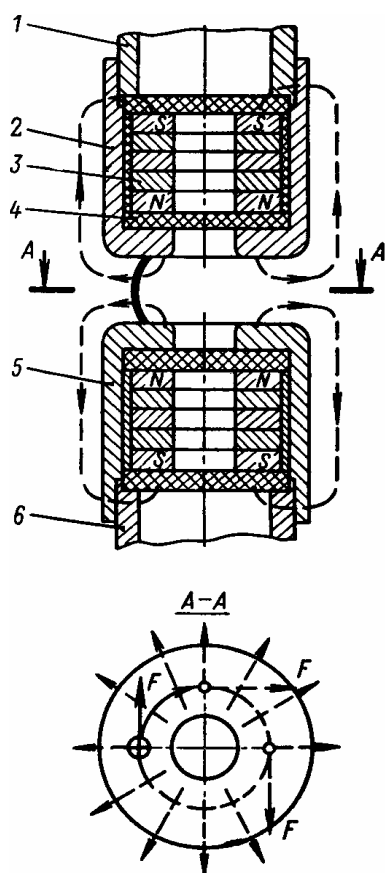


Рисунок 1.22 - Контактна система вимикача навантаження з елегазом:

- 1 – трубчастий струмопровід нерухомого контакту;
- 2 – корпус нерухомого контакту;
- 3 – постійні магніти;
- 4 – дугостійка ізоляційна шайба;
- 5 – корпус рухомого контакту;
- 6 – трубчастий струмопровід рухомого контакту

тема без викидання газу в навколишнє середовище. Вимикачі навантаження елегазові багато в чому нагадують конструкцію відділювачів. Проте з метою успішного вимкнення струму в них передбачаються пристрої для обертання дуги в елегазі (рис. 1.22). До рухомого і нерухомого контактів вмонтовані постійні магніти з фериту, які створюють магнітні поля, спрямовані назустріч одне одному. При розмиканні контактів утворюється дуга, струм якої взаємодіє з радіальним магнітним полем, у результаті чого створюється сила F , яка переміщає дугу по кільцевих електродах. Обертання дуги в елегазі сприяє швидкому її гасінню. Чим більший струм, що вимикається, тим більша швидкість переміщення дуги. Це захищає контакти від надмірного обгоряння при гасінні дуги. Контактна система описаної конструкції міститься всередині фарфорового корпусу, заповненого елегазом і герметично закритого. Тиск усередині камери 0,3 МПа. Підживлення при можливих витках відбувається з балона зі стиснутим елегазом.

Розроблені конструкції вимикачів навантаження з елегазом на напруги 35кВ, 110кВ та 220 кВ.

Вимикачі 35 кВ і 110 кВ мають по одній камері на полюс, у вимикачі напругою 220 кВ – дві камери на полюс. Крім того, розроблені конструкції вимикачів на два і три напрямки. Такий апарат замінює два або три вимикачі, що дає значну економію території при встановленні їх на підстанціях.

Конструкція вимикача навантаження на три напрямки **ВНЭШ-110** показана на рис. 1.23. Дугогасильні камери 1 приєднуються до корпусу механізму 2, встановленого на опорному ізоляторі 4. Через внутрішню по-

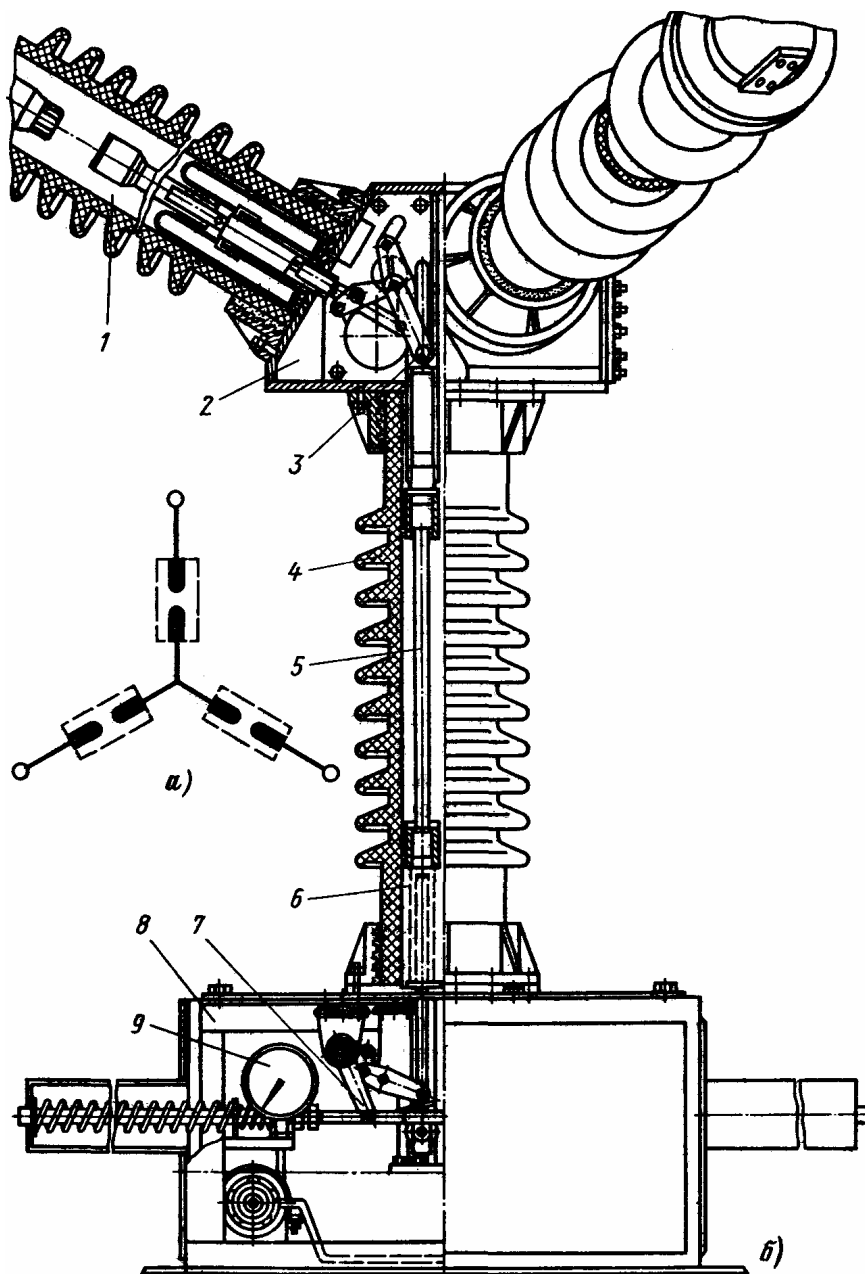


Рисунок 1.23 - Вимикач навантаження елегазовий на три напрямки;
а – електрична схема; б – основні елементи конструкції

рожнину проходять три ізоляційні тяги 5, пов'язані з важільними механізмами 3 керування рухомим контактом відповідної камери. Нижній кінець штанги 5 за допомогою штока, що проходить всередині сифонного ущільнення 6, пов'язаний із важільним механізмом 7 відповідного напрямку. Приводні механізми всіх напрямків знаходяться в коробці 8 і пов'язані з

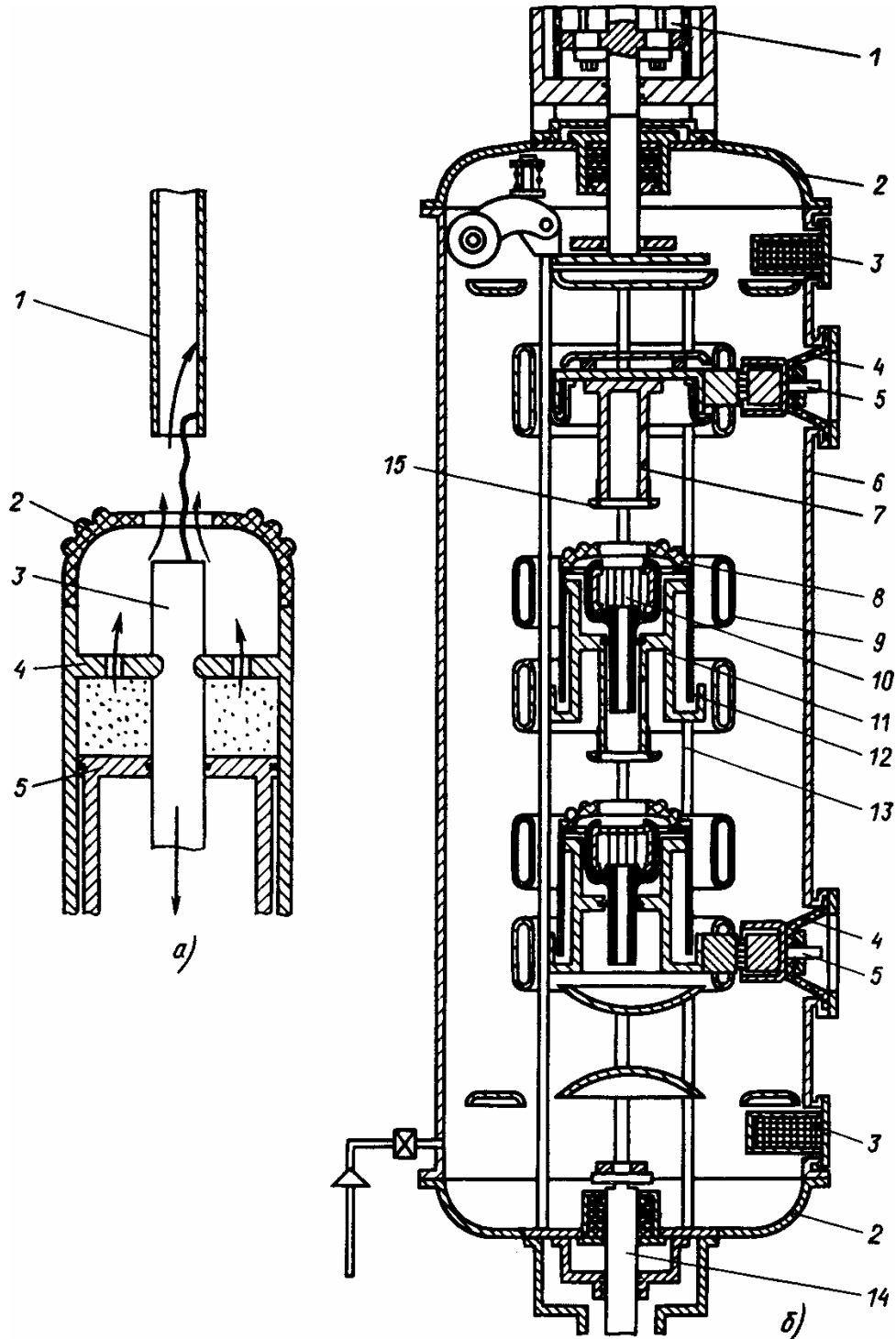


Рисунок 1.24 - Елегазовий вимикач КРУЕ-110 :
a – автопневматичний дугогасильний пристрій; *б* – полюс вимикача

приводом сталевими трубами. Тиск елегазу контролюється електроконтактним манометром 9.

Елегазові вимикачі можуть вимикати не тільки струм навантаження, але і струм КЗ. Такі вимикачі мають дугогасильні пристрої з автопневматичним дуттям (рис. 1.24, *а*). При вимиканні виникає електрична дуга між нерухомим 1 і рухомим 3 контактами. Разом із контактом 3 переміщаються сопло з фторопласту 2 і циліндр 4 з перегородкою. Поршень 5 залишається нерухомим, тому елегаз стискується і його потік, проходячи через сопло 2, створює поздовжнє дуття та гасить дугу.

На рис. 1.24, *б* схематично показаний розріз полюса елегазового вимикача на 110 кВ, який застосовується в КРУЕ-110. Полюс вимикача - це герметичний резервуар 6 із немагнітної сталі з днищами 2 місткістю 800 л, у якому розміщений дворозривний автопневматичний дугогасильний пристрій. Найбільший тиск елегазу в корпусі 0,5 МПа. Нерухомі частини (на рисунку заштриховані) закріплені на ізоляційній штанзі 13, рухомі частини (на рисунку начернені) кріпляться до ізоляційної тяги, пов'язаної зі штоком пневматичного приводу 14. Вводи у вимикач виконані з епоксидних прохідних ізоляторів 4. З боку вимикача струмоведучий стрижень 5 з'єднується з контактами вимикача, а з іншого боку – з елементами коміррки КРУЭ. Контактна система має екран 9.

На рис. 1.24, *б* вимикач показаний у відключеному положенні. При вмиканні шток 14 і ізоляційні тяги переміщують нагору циліндри 12 і електрично і механічно з ним пов'язані розеткові контакти 10, а також фторопластові сопла 8. Розетковий контакт насувається на трубчастий нерухомий контакт 7, замикаючи коло струму. Екран нерухомого контакту 15 пов'язаний із рухомими елементами камери і при вмиканні переміщується нагору, звільняючи контакт 7. При вимиканні привод переміщує рухому систему вниз, при цьому елегаз стискується в просторі між нерухомим поршнем 11 і соплом 8. Як тільки контакти розмикаються, створюється дуття через трубчасті контакти, а при подальшому проходженні рухомої системи, коли трубчасті контакти виходять із сопла 8, створюється сильний потік елегазу, який гасить дугу. Невелика кількість продуктів розкладання елегазу, яка утворюється при гасінні дуги, поглинається спеціальними фільтрами 3 (4 штуки на полюс). Удари при вмиканні та вимиканні вимикача зм'якшуються буфером 1. Такий вимикач розрахований на номінальний струм 1250 А, струм вимкнення 31,5 кА, власний час вимкнення вимикача 0,06 с.

Так само як і у повітряних вимикачах, можливий модульний принцип створення елегазових вимикачів на більш високі напруги. Вимикачі та інша електротехнічна апаратура з елегазом мають великі перспективи.

Переваги елегазових вимикачів:

- повна пожежо- та вибухобезпечність;
- велика швидкодія;
- висока вимикальна здатність;

- мале зношування дугогасильних контактів;
- можливість створення серій з уніфікованими вузлами;
- придатність для зовнішньої і внутрішньої установки.

Недоліки:

- необхідність спеціальних пристроїв для наповнення, перекачування й очищення елегазу;
- відносно висока вартість елегазу.

1.9 Синхронізовані вимикачі

Синхронізованим називається вимикач, контакти якого розмикаються в певний визначений момент часу з випередженням моменту проходження струму, що вимикається, через нуль. Гасіння дуги в цьому випадку значно полегшується, оскільки кількість енергії, що виділяється в дузі, набагато зменшується. У синхронізованому вимикачі необхідно дуже точно подати імпульс на розмикання контактів за 1–2 мс до моменту проходження струму через нуль і створити дуже велику швидкість руху контактів, щоб до моменту нульового значення струму та загасання дуги відстань між контактами була достатньою для забезпечення необхідної електричної стійкості проміжку і виключення можливості повторного запалювання дуги. Повний час вимкнення синхронізованого вимикача не перевищує одного періоду. Точність подачі імпульсу на вимкнення вирішується пристроєм синхронізації, а велика швидкість розходження контактів забезпечується спеціальним приводом.

Синхронізуючі вимикачі можуть працювати за різноманітними принципами, але усі вони достатньо складні і потребують найточніших напівпровідникових приладів із стабільними характеристиками й іншої новітньої техніки.

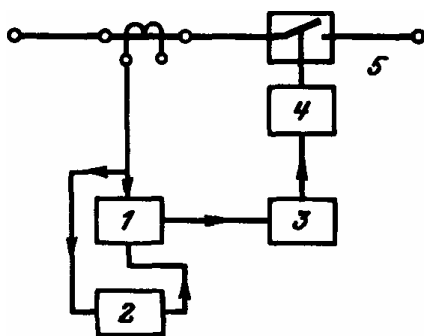


Рисунок 1.25 - Функціональна схема синхронізованого вимикача

Функціональна схема синхронізованого вимикача показана на рис. 1.25. Синхронізуючий пристрій 1 після спрацювання релейного захисту 2 посиляє імпульс на вимкнення в блок 3. Імпульс вимкнення передається до привода 4, безпосередньо пов'язаного з рухомим контактом вимикача 5. Безпосередній зв'язок привода з контактами забезпечує швидке розходження контактів, але потребує ізоляції привода, оскільки він знаходиться під високим потенціалом.

У деяких конструкціях швидке розходження контактів забезпечується вибухом порохового патрона, застосуванням індукційно-динамічних приводів, сполученням привода з вакуумними і повітряними вимикачами.

Синхронізовані надшвидкодіючі вимикачі забезпечують ряд суттєвих переваг: підвищення динамічної стійкості роботи енергосистем при коротких замиканнях, оскільки вимкнення струму КЗ забезпечується до першого переходу його через нуль; збільшення терміну служби контактів вимикача, оскільки їм не доводиться вимикати великі струми; велику вимикальну здатність в порівнянні з іншими типами високовольтних вимикачів.

Але створення синхронізованих вимикачів пов'язане з багатьма технічними труднощами, які ще треба буде розв'язати.

1.10 Вибір вимикачів

У загальних відомостях про вимикачі розглянуті ті параметри, що характеризують вимикачі за ГОСТ 687–78Е. При виборі вимикачів необхідно врахувати 12 різноманітних параметрів, але, оскільки заводами-виробниками гарантується певна залежність параметрів, наприклад,

$$I_{\text{вкл,ном}} \geq I_{\text{вим,ном}}; \quad i_{\text{вкл,ном}} \geq 1,8 \sqrt{2} I_{\text{вим,ном}},$$

то припустимо робити вибір вимикачів за найважливішими параметрами:

за напругою установки $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$

за тривалим струмом $I_{\text{ном}} \leq I_{\text{ном}}; \quad I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}};$

за вимикальною здатністю.

В першу чергу проводиться перевірка на симетричний струм вимкнення за умовою

$$I_{\text{п,}\tau} \leq I_{\text{вим,ном}};$$

Потім перевіряється можливість вимкнення аперіодичної складової струму КЗ

$$i_{\text{а,}\tau} \leq i_{\text{а,ном}} = \sqrt{2} \beta_{\text{н}} I_{\text{отк,ном}} / 100,$$

де $i_{\text{а,ном}}$ – номінальне допустиме значення аперіодичної складової струму, що вимикається, для часу τ ; $\beta_{\text{н}}$ – нормоване значення кількості аперіодичної складової в струмі, що вимикається, % (за каталогами або за рис. 1.1); $i_{\text{а,}\tau}$ – аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів τ ; τ – найменший час від початку КЗ до моменту розходження дугогасильних контактів:

$$\tau = t_{3,\text{min}} + t_{\text{с,в}};$$

тут $t_{3,\text{min}} = 0,01$ с – мінімальний час дії релейного захисту; $t_{\text{с,в}}$ – власний час вимкнення вимикача.

Якщо дотримується умова

$$I_{\text{п,}\tau} \leq I_{\text{отк,ном}},$$

а $i_{\text{а,}\tau} > i_{\text{а,ном}}$, то можна перевірку робити за вимикальною здатністю при повному струмі КЗ:

$$(\sqrt{2} I_{\text{п,}\tau} + i_{\text{а,}\tau}) \leq \sqrt{2} I_{\text{отк,ном}} (1 + \beta_{\text{н}} / 100).$$

За вимикальною здатністю перевірка проводиться при умові

$$i_{\text{у}} \leq i_{\text{вкл}}; \quad I_{\text{п,0}} \leq I_{\text{вкл}},$$

де $i_{\text{у}}$ – ударний струм КЗ у ланці вимикача; $I_{\text{п,0}}$ – початкове значення періодичної складової струму КЗ у ланці вимикача; $I_{\text{вкл}}$ – номінальний струм

вмикання (діюче значення періодичної складової); $i_{\text{вкл}}$ – найбільший пік струму вмикання (за каталогом).

Заводи-виробники дотримуються умови

$$i_{\text{вкл}} \geq 1,8 \sqrt{2} I_{\text{вкл}},$$

де $k_y = 1,8$ – ударний коефіцієнт, нормований для вимикачів. Перевірка за двома умовами необхідна тому, що для конкретної системи k_y може бути більший 1,8.

На електродинамічну стійкість вимикач перевіряється за граничними наскрізними струмами КЗ:

$$I_{\text{п,0}} \leq I_{\text{дин}}; i_y \leq i_{\text{дин}},$$

де $i_{\text{дин}}$ – найбільший пік струму (струм електродинамічної стійкості) за каталогом; $I_{\text{дин}}$ – діюче значення періодичної складової граничного наскрізного струму КЗ. Перевірка за двома умовами проводиться з тих же міркувань, що й зазначені вище.

На термічну стійкість вимикач перевіряється за тепловим імпульсом струму КЗ:

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}},$$

де B_k – тепловий імпульс струму КЗ за розрахунком; $I_{\text{тер}}$ – середньоквадратичне значення струму за час його протікання (струм термічної стійкості) за каталогом; $t_{\text{тер}}$ – тривалість протікання струму термічної стійкості за каталогом, с.

Перевірка вимикачів за параметрами відновлюваної напруги на контактах вимикача в учбовому проектуванні зазвичай не проводиться, оскільки в більшості енергосистем реальні умови відновлення напруги відповідають умовам випробування вимикача. Якщо виникає необхідність перевірки вимикача за параметрами відновлюваної напруги, то за конкретними даними електроустановки – потужністю джерел, реактивними опорами, ємностями трансформаторів, шин, апаратів і т.д. – роблять розрахунок і побудову кривої перехідного процесу відновлюваної напруги (ПВН). Відповідно до ГОСТ 687–78Е ця крива не має перетинатися з нормованими кривими ПВН.

1.11 Приводи вимикачів

Привод вимикача призначений для операції вмикання, для утримання у увімкненому положенні і для вимкнення вимикача.

Привод – це спеціальний пристрій, що створює необхідне зусилля для здійснення перерахованих операцій. У деяких вимикачах привод конструктивно пов'язаний в одне ціле з його контактною системою (повітряні вимикачі).

Основними частинами привод є механізм увімкнення, механізм запирання (засувка, собачка), який утримує вимикач у увімкненому положенні, і розчіплювальний механізм, який звільняє засувку при вимиканні.

Найбільша робота в існуючих конструкціях вимикачів відбувається приводом при вмиканні, оскільки при цій операції переборюється власна маса рухомих контактів, опір пружин, що відключають, тертя і сили інерції в рушійних частинах. При вмиканні на існує КЗ механізм привода, крім того, має перебороти електродинамічні зусилля, які відштовхують контакти один від одного.

Операція вмикання, щоб уникнути приварювання контактів вимикача, має проводитись швидко. Чим менший час вмикання, тим менша пауза при АПУ.

При вимиканні робота привода зводиться до звільнення засувки, що утримує механізм у включеному положенні. Саме відключення відбувається за рахунок сили стиснутих або розтягнутих пружин, що вимикають. У залежності від джерела енергії, що затрачається на вмикання і вимикання, є ручні, пружинні, вантажні, електромагнітні та пневматичні приводи.

Ручні приводи застосовуються для малопотужних вимикачів, коли мускульної сили оператора достатньо для здійснення роботи вмикання. Вимкнення може бути автоматичним за допомогою реле, вмонтованих у привод.

Привод **ПРА-17** призначений для керування вимикачами навантаження **ВНП-16**, **ВНП-17**. Привод споряджений механізмом вільного розчіплювання і має електромагніт для дистанційного вимкнення вимикача. Якщо дистанційне вимкнення не передбачається, то застосовують привод без електромагніта вимкнення типу **ПР-17**.

Пружинний привод є приводом непрямої дії. Енергія, необхідна для вмикання, запасється в потужній пружині, що заводиться від руки або електродвигуном невеликої потужності. Після кожного вмикання необхідно знову завести пружину.

Зазвичай привод доповнюється спеціальним електродвигуном, що здійснює заведення пружини. Такий привод дозволяє здійснювати АПУ.

Недоліком пружинних приводів є зменшення тягового зусилля наприкінці ходу вмикання внаслідок зменшення деформації пружин. Щоб усунути цей недолік, пружинні приводи доповнюються маховиком, який поглинає надлишкову енергію на початку вмикання і віддає накопичену енергію наприкінці вмикання. Приводи подібного типу **ППМ-10** застосовуються для вимикачів **ВМГ-10** і **ВМП-10**. Основними частинами привода **ППМ-10** (рис. 1.26) є спіральна пружина, вмонтована в коробці, і обід штурвала **10**. Зведення пружини проводиться електродвигуном **4** потужністю 350 В·А через редуктор **5**. Рух від редуктора передається шестірні зводу **8**, яка вільно обертається на передньому підшипнику. Головна собачка впирається роликом **7** у зуб важеля **1** і заводить спіральну пружину **9**. Запірно-пусковий механізм привода утримує пружини в заведеному стані. Для автоматичного вмикання необхідно звільнити важіль зводу, після чого енергія заведеної спіральної пружини повертає вал вимикача на вмикання. Дистанційне й автоматичне вимкнення вимикача проводиться за допомогою

реле, вмонтованих у нижній частині привода, які через планку вимкнення впливають на механізм вільного розчіплювання. Привод допускає механічне АПУ. Імпульс для роботи такого АПУ дається при вимкненні завдяки звільненню механізму увімкнення привода. Якщо повторне вмикання відбудеться на КЗ, то вимикач знову вимкнеться, але повторного АПУ не відбудеться, оскільки пружина, що вмикає, не встигне завестися. Механічне АПУ можна вивести з роботи при ручному або дистанційному вимиканні, для цього в приводі є спеціальний пристрій.

Пружинні приводи можуть оснащуватися схемами електричного АПУ із необхідною витримкою часу.

Аналогічну будову має привод ПП-67, застосовуваний для вимикачів ВМГ-10. Маломасляні вимикачі **ВМПП** і електромагнітні **ВЭ-10** для КРП мають вмонтований пружинний привод.

Пружинні приводи не потребують для свого керування джерела постійного струму, що є істотною перевагою перед іншими приводами. Недоліком привода є його мала потужність, тому він застосовується в основному для маломасляних вимикачів напругою 6–10 кВ.

Електромагнітні приводи відносяться до приводів прямої дії: енергія, необхідна для вмикання, передається приводу в процесі самого вмикання від джерела великої потужності.

Зусилля, необхідне для вмикання вимикача, створюється сталевим осердям 2, що втягується в котушку електромагніта 3, при проходженні по ній струму (рис. 1.27).

Шток осердя 1 впирається в ролик 5 важільного механізму, піднімає його нагору разом із двома шарнірно-пов'язаними важелями. Останні через приводний важіль передають рух валу вимикача 7. При підйманні ролика засувка 4 відсувається вліво, а наприкінці ходу осердя, коли вимикач увімкнувся, зріз засувки заскакує під ролик і утримує механізм у увімкненому положенні.

Наприкінці процесу вмикання сигнальні допоміжні контакти 6 розривають коло електромагніта вмикання і осердя падає вниз. На рис. 1.27 привод показаний в увімкненому положенні вимикача.

При вимиканні струм подається в електромагніт вимкнення 11, його бойок ударяє у важіль механізму вільного розчіплювання 9, завдяки чому “ламаються” важелі механізму вільного розчіплювання і ролик 5 зіскакує з засувки. Вал вимикача під дією пружини, що вмикає, повертається проти годинникової стрілки – відбувається вимикання вимикача. У приводі передбачені допоміжні контакти керування 8.

Електромагніти увімкнення та вимкнення живляться від акумуляторної батареї через збірку затискачів 12.

Струм, який споживається електромагнітом вмикання приводу ПЭ-11, досягає величини 58 А, електромагнітом вимкнення – 1,25 А при напрузі 220 В.

У приводі є також важіль ручного вимикання *10*.

Привод типу **ПЭ-11** застосовується для маломасляних вимикачів типів **ВМП-10** та **ВМГ-10**.

Для більш потужних вимикачів внутрішньої установки застосовуються електромагнітні приводи типів **ПЭ-2**, **ПЭ-21**, **ПС-31**, а для вимикачів зовнішньої установки - **ШПЭ-44**, **ШПЭ-38**, **ШПЭ-46** і ін.

Перевагами електромагнітних приводів є простота конструкції і надійність роботи в умовах суворого клімату.

Недоліки – великий споживаний струм і внаслідок цього необхідність потужної акумуляторної батареї (для вмикання вимикача МГГ-10-3200 потрібний струм 155 А, а вимикача У-220-40 – 500 А при напрузі 220 В), а також значний час вмикання (до 1 с).

Пневматичний привод забезпечує швидке вмикання вимикача за рахунок енергії стиснутого повітря. Кінематична схема його подібна кінематичній схемі електромагнітного приводу, але замість електромагніта застосовується пневматичний циліндр із поршнем (рис. 1.28).

При вмиканні вимикача відкривається клапан, що подає стиснуте повітря з резервуара в робочий циліндр *1*. Поршень *4* із штоком *5* піднімається вгору і, діючи на рухомий ролик та систему важелів, здійснює вмикання вимикача. Пружина над поршнем при цьому стискається, згладжуючи удар при вмиканні вимикача.

При вимиканні подається імпульс на електромагніт вимкнення, який діє на механізм вільного розчіплювання

Стиснуте повітря (2 МПа) подається від загальної компресорної установки, що обслуговує повітряні вимикачі, або на кожному приводі встановлюються балони зі стиснутим повітрям, що забезпечують п'ять-шість операцій без підкачування повітря. Для підкачування повітря використовуються невеличкі компресори з електродвигуном потужністю до 1 кВт.

Пневматичні приводи **ПВ-30** застосовуються для вимикачів **МГ-10**, **МГ-20**. Бакові вимикачі серії “**Урал**” споряджаються пневматичними приводами типу **ШПВ**. Пневматичні приводи не потребують установки потужної акумуляторної батареї, тому що струм, який споживається електромагнітним клапаном вмикання, не перевищує декількох ампер. Переріз проводів від схеми дистанційного керування до приводу значно менший, ніж при електромагнітному приводі.

У повітряних вимикачах пневматичний привод є органічною частиною самого вимикача. На рис. 1.29 зображений у включеному положенні привід, застосовуваний в повітряних вимикачах серії **ВНВ**. При вимиканні електромагніт вимкнення переміщає клапан вимкнення *10* зліва направо. Стиснуте повітря з каналу *А*, сполученого з основним резервуаром *Б*, надходить у простір над поршнем *7* і опускає його разом із штоком *1*, верхній ізоляційний кінець якого з'єднаний із рухомими контактами вимикача. Наприкінці процесу вимикання поршень сідає на ущільнювальне кільце *5* у кришці *4*, а клапан *10* закривається.

Для вмикання вимикача подається імпульс на електромагніт вмикання, що пересуває тарілку клапанна 8 зліва направо і тим самим відчиняє вихід стиснутому повітрю, що знаходиться над поршнем 7, в атмосферу через отвір 9. Поршень піднімається в корпусі 6 під дією пружин вимкнення поки тарілка 2 не дійде до гумового буфера 3. Наприкінці операції вмикання тарілка 8 сідає на сидло і клапан увімкнення закривається. Пневматичні приводи знаходять також широке застосування в елегазових вимикачах.

Подальшим удосконаленням пневматичних приводів є пневмогідрравлічні приводи типу ППГ, в яких рухомій системі вимикача рух передається від гідроциліндра з поршнем. Поршень рухається стиснутою рідиною, зазвичай оливою. Високий тиск рідини (12 МПа) створюється в акумуляторі енергії приводу за рахунок стиснутого газу. Енергії стисненої рідини вистачає на шість циклів вмикань. Такими приводами ППГ обладнуються бакові масляні вимикачі. Пневмогідрравлічні приводи забезпечують час вмикання не більше 0,25 с.

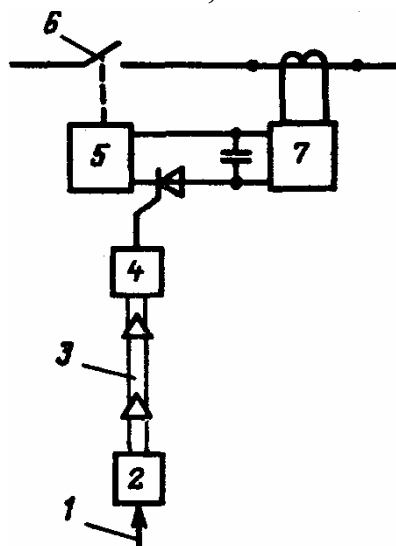


Рисунок 1.30- Структурна схема керування надшвидкодійним вимикачем
1 – сигнал на вимкнення; 2 – джерело світлових імпульсів; 3 – світловод; 4 – фотодетектор; 5 – електромагнітний розчіплювач; 6 – контакти вимикача; 7 – зарядний пристрій

Для вимикачів надвисоких напруг особливе значення має швидкість передавання імпульсу від приводу до контактної системи вимикача. У цьому випадку застосовуються пневмомеханічні пристрої, у яких переміщення контактів здійснюється системою тяг і стиснутого повітря.

Для подальшого підвищення швидкодії, сигнал керування з потенціалу землі може бути переданий на високий потенціал по світловодах (рис. 1.30). Розмикання контактів відбувається за допомогою електромагнітного розчіплювача, який приводиться в дію розрядом конденсатора. Конденсатор заряджається від лінії високої напруги через насичувальний трансформатор.

Розділ 2

Роз'єднувачі, короткозамикачі, відділювачі

2.1 Загальні відомості

Роз'єднувач — це контактний комутаційний апарат, призначений для вимкнення і увімкнення електричного кола без струму або з незначним струмом, який для забезпечення безпеки має між контактами у вимкненому положенні ізоляційний проміжок.

Під час ремонтних робіт роз'єднувачем здійснюється видимий розрив між частинами, які залишилися під напругою, і апаратами, виведеними в ремонт.

Роз'єднувачами не можна вимикати струми навантаження, тому що їхня контактна система не має дугогасильних пристроїв і у випадку помилкового вимкнення струмів навантаження виникає стійка дуга, яка може привести до міжфазного КЗ та нещасних випадків з обслуговуючим персоналом. Перед виконанням операції роз'єднувачем електричне коло повинно бути розімкнено вимикачем.

Проте, для спрощення схем електроустановок допускається використовувати роз'єднувачі для проведення таких операцій:

- увімкнення нейтралей трансформаторів та заземлювальних дугогасильних реакторів при відсутності в мережі замикання на землю;
- зарядного струму шин та обладнанню всіх номінальних напруг (крім батарей конденсаторів);
- навантажувального струму до 15 А триполюсними вимикачами зовнішньої установки при напрузі 10 кВ і нижче.

Роз'єднувачами і відділювачами дозволяється вимикати незначний намагнічувальний струм силових трансформаторів та зарядний струм повітряних і кабельних ліній.

Величина струму, який вимикається роз'єднувачем, залежить від конструкції електричного апарата (вертикальне або горизонтальне розміщення ножів), від відстані між полюсами, від номінальної напруги установки. Допустимість такої операції встановлюється інструкціями і директивними вказівками. Порядок операції при вимиканні намагнічувального струму трансформатора також відіграє важливу роль.

Наприклад, трансформатори, які мають РПН, необхідно перевести в режим недозбудження, тому що струм намагнічування різко зменшується при зменшенні індукції в магнітопроводі, яка залежить від відведеної напруги. Окрім того, при вимиканні навантаженого трансформатора необхідно попередньо ефективно заземлити нейтраль, якщо у нормальному режимі трансформатор працював з заземленою нейтраллю. Якщо до нейтралі

трансформатора був підключений заземлювальний реактор, то попередньо його треба вимкнути.

Роз'єднувачі відіграють важливу роль в схемах електроустановок, від надійності їх роботи залежить надійність роботи всієї електроустановки, тому при виконанні операцій необхідно дотримуватись забезпечення таких вимог:

- утворення видимого розриву в повітрі, електрична міцність якого відповідає максимальній імпульсній напрузі;
- електродинамічної та термічної стійкості при протіканні струмів КЗ;
- виключення самостійних вимкнень;
- чіткого увімкнення і вимкнення при найгірших умовах роботи (оже-ледь, сніг, вітер).

Роз'єднувачі класифікуються за рядом ознак:

- за кількістю полюсів бувають одно- та триполюсними;
- за призначенням - для внутрішніх і зовнішніх установок;
- за конструкцією – рублячого, поворотного, рухомого, пантографічного і підвісного типів;
- за способом установки – з вертикальним і горизонтальним розташуванням ножів.

2.2 Роз'єднувачі для внутрішньої установки

Для внутрішніх установок роз'єднувачі можуть бути однополюсними (РВО) і триполюсними (РВ, РВК, РВРЗ та ін.). Триполюсні роз'єднувачі можуть виконуватися на загальній рамі або на різних рамах для кожного полюса. Різні полюси з'єднуються спільним валом, який зв'язаний з приводом роз'єднувача. На струми до 1000 А ніж роз'єднувача виготовляється з двох мідних смужок, на великі струми використовуються ножі з трьох або чотирьох смужок. Також, як і на шинних конструкціях, найкраще використання матеріалу при великих струмах досягається, якщо нерухомі контакти будуть коробчатого перерізу, а ножі – коритоподібної форми.

В роз'єднувачах рублячого типу ніж обертається навколо одного із нерухомих контактів, рух ножеві передається від вала через фарфорові тяги. Необхідний тиск в контактах створюється пружинами.

Розглянемо пристрій контактної системи роз'єднувачів рублячого типу (рис. 2.1). На ізоляторі 1 закріплена мідна шина, зігнута під прямим кутом, яка є нерухожим контактом 2. Бокові частини контакту 2 мають форму циліндра, тому з пластинами ножа 6 забезпечується лінійний контакт. Пружини 4, насаджені на стержень 5, натискають на сталеві пружини 3, які своїм виступом притискають ножі до нерухомого контакту.

На рис. 2.2 показано роз'єднувач типу **РВРЗ** на напругу 20 кВ, номінальні струми 8000 А, розрахований на граничний наскрізний струм

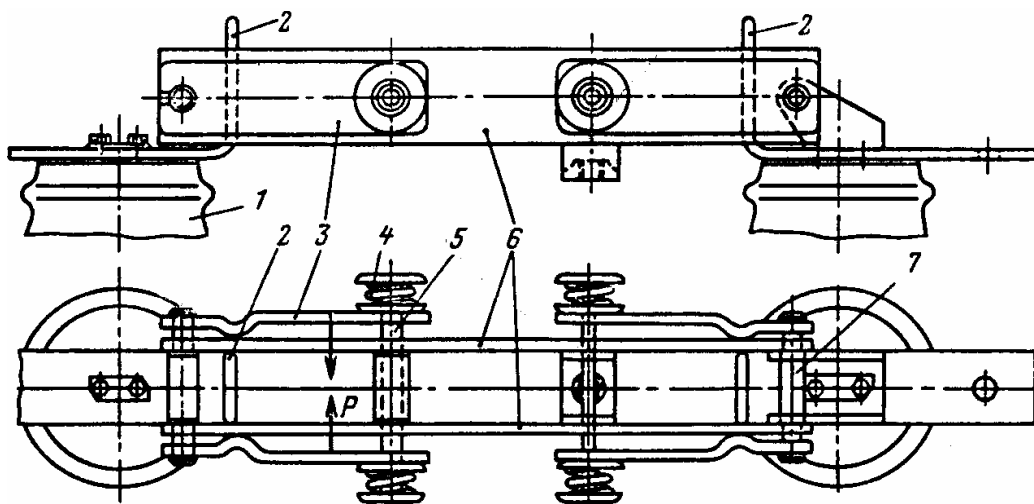


Рисунок 2.1- Контактна система роз'єднувачів рублячого типу

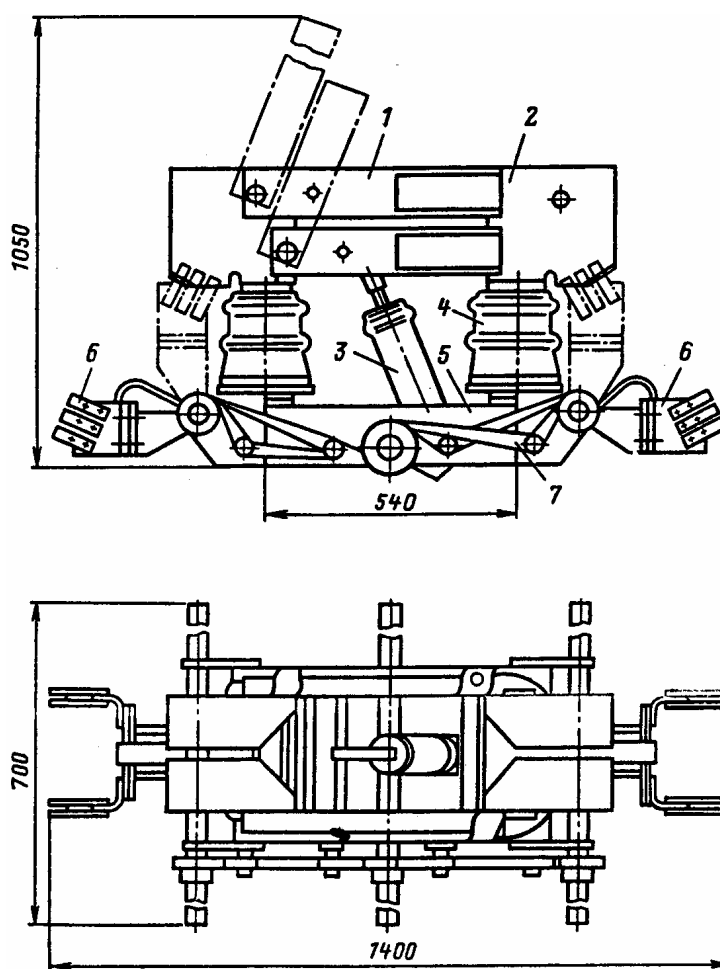


Рисунок 2.2 - Роз'єднувач рублячого типу **РВРЗ-2-20/8000** (один полюс):
 1 – рухомі головні контакти; 2 – нерухомий контакт; 3 – фарфорова тяга; 4 – опорний ізолятор; 5 – рама; 6 – заземлювальні ножі; 7 – механічне блокування між головними і заземлювальними ножами

короткого замикання до 300 кА і граничний струм термічної стійкості 112 кА (при відстані між полюсами 700 мм).

Контактна система полюса роз'єднувача вертикально-рублячого типу для підвищення динамічної стійкості має магнітні замки. Контактна система полюса кріпиться на чотирьох опорних ізоляторах. Рух ножем передається через ізолювальну фарфорову тягу 3. Для зменшення зусилля на увімкнення і вимкнення застосовується механізм для знімання контактного натискання. Заземлювальні ножі 6 можуть знаходитись зі сторони шарнірного, або роз'ємного контакту, або з обох сторін. При триполюсній установці вони закорочуються загальною мідною шиною.

Заземлювальні ножі мають механічне блокування, яке не дозволяє вмикати їх при увімкнених головних ножах. Для управління заземлювальними ножами використовується ручний привод. Увімкнення і вимкнення головних ножів здійснюється електродвигуновим приводом типу ПДВ, який дозволяє проводити операції дистанційно.

У увімкненому чи вимкненому стані роз'єднувач надійно фіксується системою важелів приводу для того, щоб виключити самостійне спрацювання.

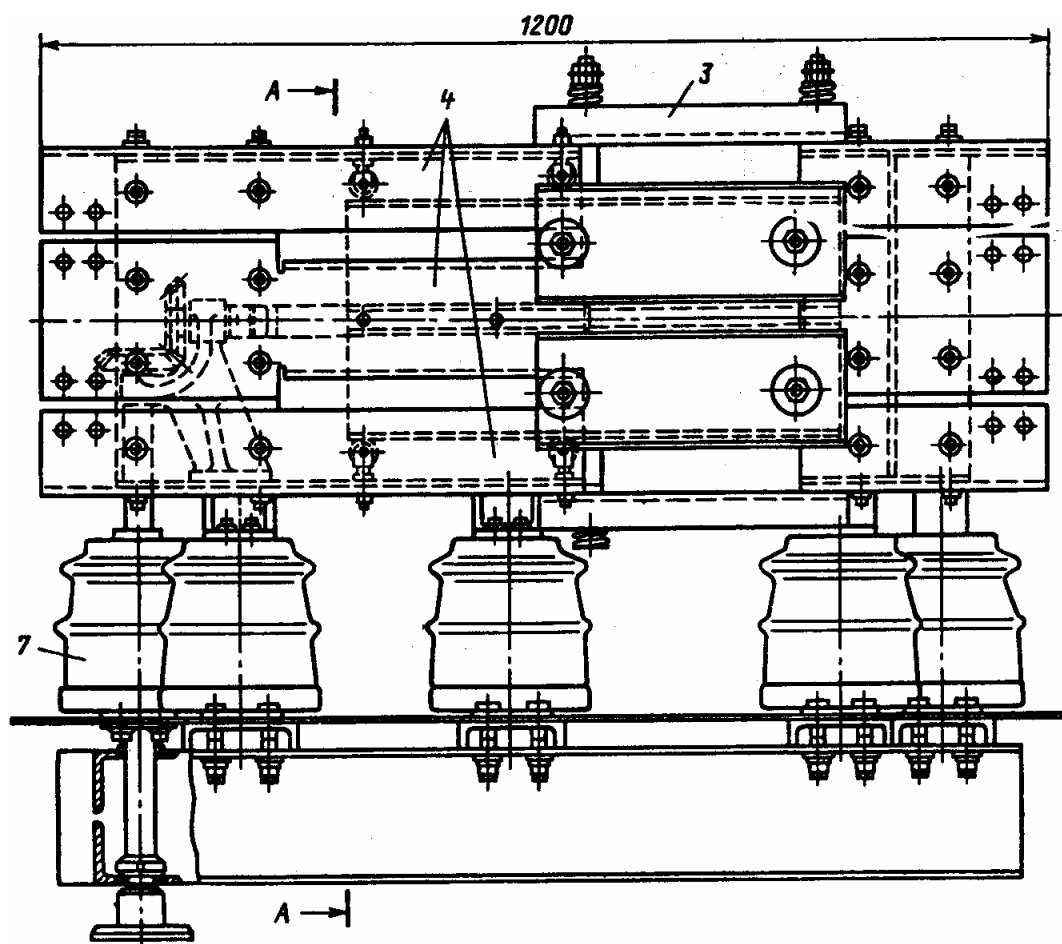


Рисунок 2.3 - Роз'єднувач рухомого типу **РВК-20/12000**

Для установки в комплектних екранованих струмопроводах застосовуються роз'єднувачі рухомого типу з поступальним рухом ножа. Ці роз'єднувачі розраховані на великі номінальні струми (12000 А, 14000 А). Нерухомі контакти 4 (лівий і правий) виконуються у вигляді коробів з листової міді і закріплені на опорних ізоляторах 2, які знаходяться на рамі 1. Рухомий контакт 3 виконаний з восьми коробчатих шин, які з'єднані між собою спеціальним механізмом 6. Тиск в контактах здійснюється пружинами 5. При вимкненні роз'єднувача поворотом ізолятора 7 приводиться в рух кулачковий механізм 6, який стискає рухомі контакти 3. Потім весь рухомий контакт перекочується на рамках 8 справа наліво, вимикаючи роз'єднувач. При увімкненні спочатку переміщується рухомий контакт зліва направо, а потім – кулачковий механізм звільняє коробчаті шини рухомого контакту, і вони пружинами притискаються до нерухомих контактів. Таке увімкнення та вимкнення без тертя в контактах дозволяє застосувати легкий двигунний привод (ПДВ-12), а також зменшити зношування контактів.

2.3 Роз'єднувачі для зовнішньої установки

Роз'єднувачі, які встановлюються у відкритих розподільних пристроях, повинні мати відповідну ізоляцію і надійно виконувати свої функції в несприятливих умовах навколишнього середовища.

В свій час широко застосовувались **роз'єднувачі рублячого типу**. Їх недоліком є великі габарити при розімкненому положенні ножа. Роз'єднувач типу **РОН(3)-500/2000** з піднятим ножом має висоту 9,8 м. Для зменшення зусилля, необхідного для піднімання ножа, а також зменшення габаритів по висоті, ніж роз'єднувача роблять з двох частин. На рис. 2,4 показано роз'єднувач **РНВ-500** з вертикальним рухом двох напівножів. У вимкненому положенні його висота 8,45 м. Роз'єднувач має два заземлювальних ножі. Привод головних ножів — електродвигуновий (ПДН), заземлювальних ножів — ручний.

Роз'єднувачі горизонтально-поворотного типу випускають на напругу від 10кВ до 750 кВ. Широке застосування цих роз'єднувачів пояснюється значно меншими габаритами і більш простим механізмом керування. В цих роз'єднувачах головний ніж складається з двох частин, так само як у роз'єднувача типу **РНВ**, але вони рухаються в горизонтальній площині при повороті колонок ізоляторів, на яких закріплені (рис.2,5). Один полюс є ведучим, до нього приєднаний привод. Рух іншим двом полюсам (веденим) передається тягами. Роз'єднувачі можуть мати один або два заземлювальних ножі. Контактна частина роз'єднувача складається з ламелей, закріплених на кінці одного ножа, і контактної поверхні на кінці другого ножа. При увімкненні ніж входить між ламелі. Тиск в контакті здійснюється пружинами. Роз'ємний контакт подібної конструкції (для роз'єднувача **РНВ-500**) показаний на рис. 2.5.

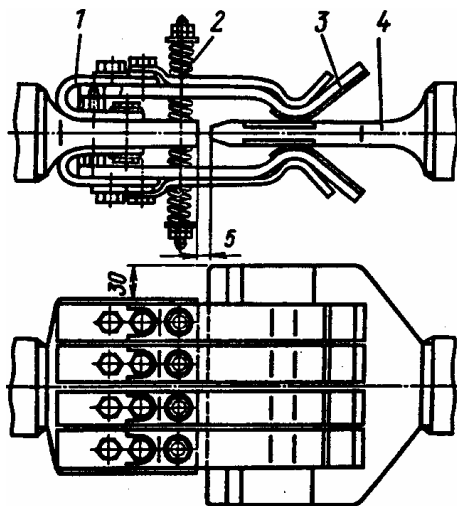


Рисунок 2.6 - Роз'ємний контакт роз'єднувача:

1 – гнучкий зв'язок; 2 – пружина; 3 – ламель; 4 – лопатка

В горизонтально-поворотних роз'єднувачах при вимкненні ніж наче "ламається" на дві частини, тому значно полегшується робота привода у випадку обледеніння контактів.

Широко розповсюджені горизонтально-поворотні роз'єднувачі типу **РЛНД**, замінюються вдосконаленою конструкцією типу **РНД** і **РДЗ** (роз'єднувачі для зовнішньої установки, двоколонкові з заземлювальними ножами).

В роз'єднувачах 330-750 кВ передбачені кригозахисні кожухи, які закривають контакти.

В установках 500-750 кВ застосовуються пантографічні та підвісні роз'єднувачі.

Підвісний роз'єднувач типу **РПД** (рис. 2.7) має рухому контактну систему, що складається з вантажу 5, який має пружинні лапи 6, і контактних наконечників 7, до яких приварені струмопроводи 9 з двох алюмінієвих труб. Вся ця система підвішана на гірляндах ізоляторів 3 до порталу. Нерухомий контакт у вигляді кільця 8 може встановлюватись на шинній ізоляційній опорі, а також на вимірювальних трансформаторах струму і напруги. Тросова система управління складається з електродвигунового приводу 10, троса 1, протитяги 2, блоків 4. У вимкненому положенні рухомий контакт піднятий. При вмиканні роз'єднувача, методом обертання барабана привода піднімається догори протитяга, а рухомі контакти під дією своєї ваги опускаються донизу і наконечники 7 з'єднуються з кільцем 8 – коло замкнене.

На рис.2.7 показано установку підвісних роз'єднувачів у відкритому розподільному пристрої (ВРП) напругою 500 кВ.

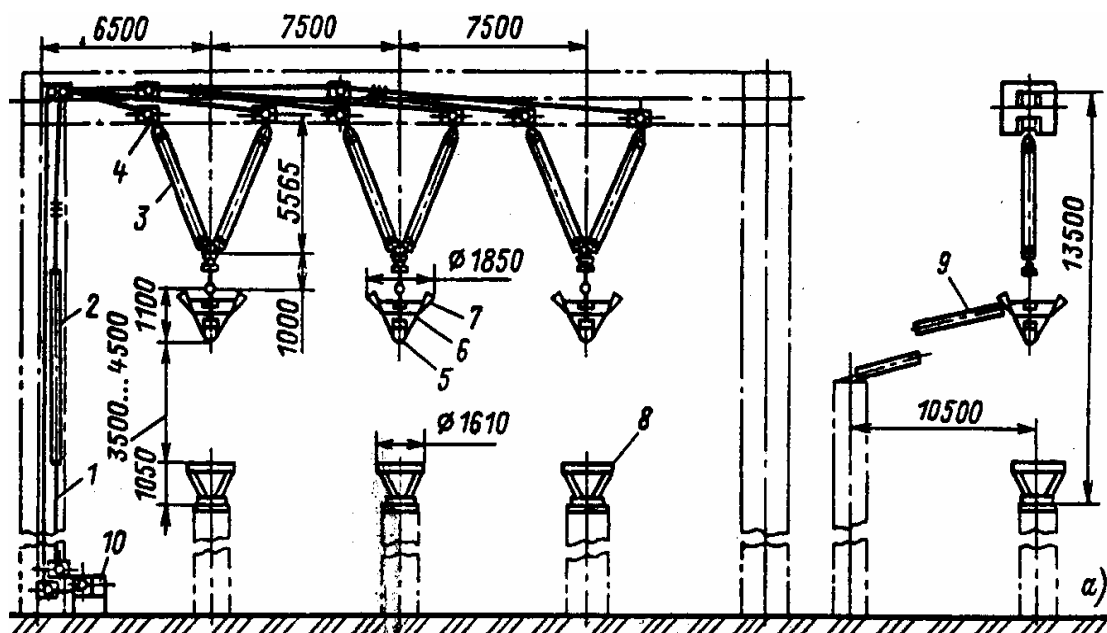


Рисунок 2.7 - Роз'єднувач підвісного типу РПД-500

Підвісний роз'єднувач надійно вмикається та розмикається при ожеледиці, забезпечує значну економію металоконструкцій, ізоляторів, ошикування. Капітальні затрати на спорудження ВРП з підвісними роз'єднувачами зменшуються приблизно на 20% за рахунок зменшення розмірів ВРП. Широке застосування такі роз'єднувачі отримали в ВРП 330-500 кВ.

Для електроустановок 1150 кВ розроблено роз'єднувачі двоколонкові з двома телескопічними ножами, які рухаються при увімкненні в горизонтальній площині назустріч один одному.

2.4 Короткозамикачі і відділювачі

Короткозамикач — це комутаційний електричний апарат, який призначений для здійснення штучного короткого замикання в електричному колі.

Короткозамикачі застосовуються у спрощених схемах підстанцій для того, щоб забезпечити вимкнення пошкодженого трансформатора після здійснення штучного КЗ під дією релейного захисту. Конструкція короткозамикача КЗ-35 показана на рис. 2.8.

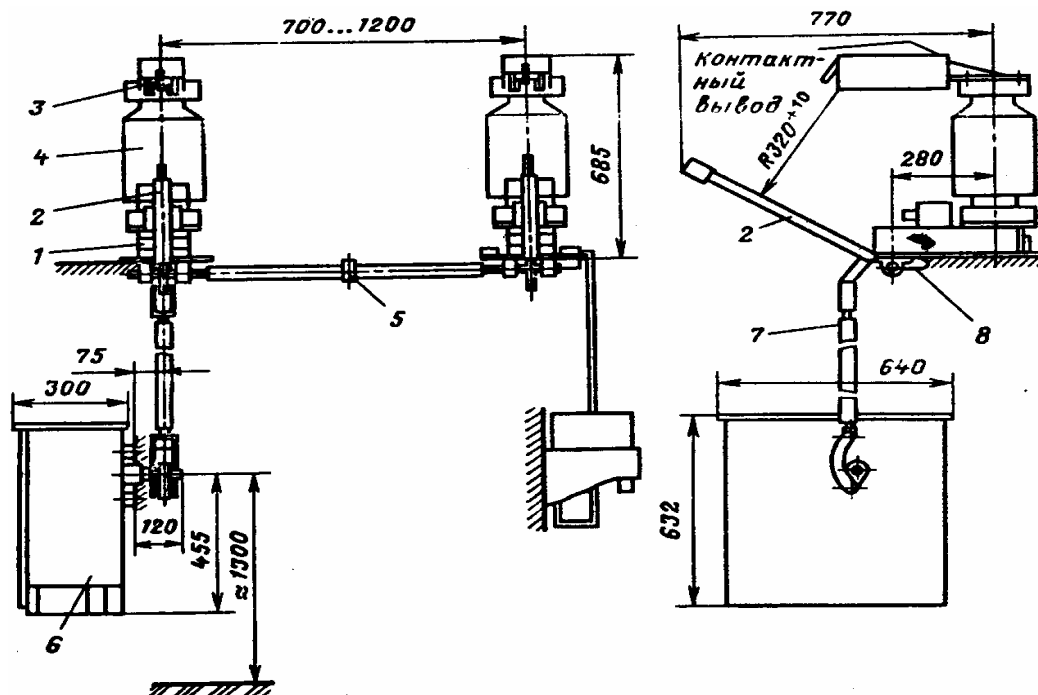


Рисунок 2.8 - Короткозамикач типу КЗ-35:

1 – основа; 2 – заземлювальний ніж; 3 – нерухомий контакт; 4 – ізоляційна колона; 5 – ізоляційна вставка; 6 – привод ПРК-1; 7 – тяга; 8 – гнучкий зв'язок до заземлювальної шини

В установках 35 кВ застосовуються два полюси короткозамикача, при спрацюванні яких здійснюється штучне двофазне КЗ. В установках з заземленою нейтраллю (110 кВ і вище) застосовується один полюс короткозамикача. Привод короткозамикачів має пружину, яка забезпечує увімкнення заземлювального ножа на нерухомий контакт, що знаходиться під напругою. Вимкнення здійснюється вручну. При увімкненні короткозамикача, для того щоб не виникала дуга, необхідно забезпечити велику швидкість руху ножа. Час увімкнення короткозамикача становить 0,12-0,25 с.

Відділювач зовні не відрізняється від роз'єднувача, але в нього для вимкнення існує пружинний привод. Увімкнення відділювача здійснюється вручну. Відділювачі можуть мати заземлювальні ножі як з однієї, так і з двох сторін. Недоліком існуючих конструкцій відділювачів є доволі тривалий час вимкнення (0,4-0,5 с).

Відділювачі можуть вимикати струм намагнічування трансформатора.

Відділювачі і короткозамикачі відкритої конструкції недостатньо надійно працюють в несприятливих кліматичних умовах (мороз, сніг, ожеледиця). В експлуатації є випадки їх відмов у роботі. Тому розроблено конструкції відділювача і короткозамикача з контактною системою, що розташована в закритій камері, яка заповнена елегазом.

Короткозамикачі КЕ-110 і КЕ-220 виконуються у вигляді

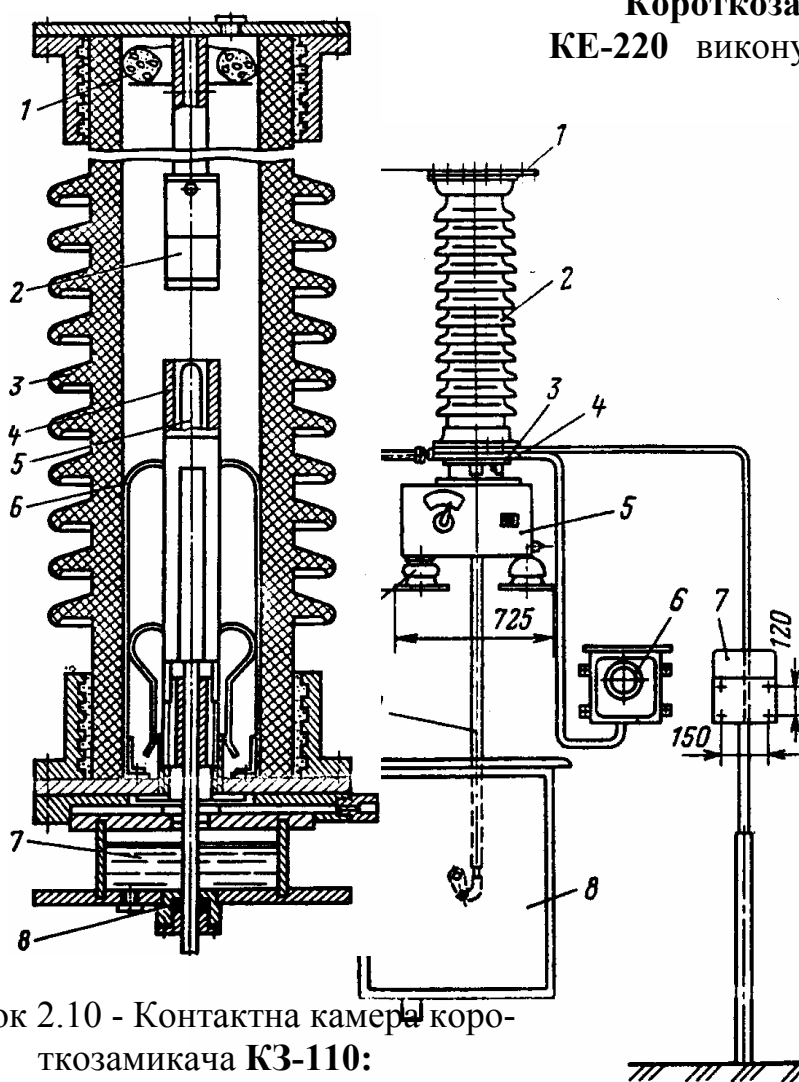


Рисунок 2.10 - Контактна камера короткозамикача **КЗ-110**:

1 – мішечок з силікагелем; 2 – нерухомий контакт; 3 – рухомий контакт; 4 – екран; 5 – рухомий контакт; 6 – мановакуумметр; 7 – трансформатор струму ТШЛ-0.5; 8 – привод; 9 – тяга; 10 – ізолятор; 11 – балон з елегазом; 12 – фільтр

одного полюса. Полюс **КЕ-110** (рис. 2.9) складається з основи 5 і контактної камери. В основі, ізольованій від землі, розташований пружинний механізм увімкнення і масляний буфер. Витікання елегазу компенсується з балона, який зв'язаний через фільтр з внутрішньою порожниною контактної камери. Тиск контролюється мановакууметром.

Пружинний привод ППК забезпечує дистанційне увімкнення і вимкнення короткозамикача. На заземленій шинці 4 розташований трансформатор струму 7.

Контактна камера короткозамикача (рис. 2.10) має один розрив 90 мм і складається з фарфорового корпуса і двох вертикально розташованих електродів. Нерухомий контакт 2 має відгалуження для приєднання струмоведучої шини. Порожнина контактної камери заповнена елегазом SF_6 з тиском 0,3 МПа. Елегаз має дуже високу електричну міцність. При атмосферному тиску його міцність в 2-3 рази вища від повітря, а при тиску 0,3 МПа міцність елегазу рівна міцності чистого трансформаторного масла. Елегаз не горить і не підтримує горіння. При зниженні тиску всередині камери до атмосферного, проміжок між контактами може витримувати найбільшу робочу напругу. Герметичність камери забезпечується прокладками з резинових кілець між фарфоровими корпусами і залізними фланцями та гідравлічним затвором в місці проходження рухомої тяги.

Нижній контакт – це стержень, екранований циліндром. Нерухомий контакт розеткового типу.

В короткозамикачі **КЕ-220** на 220 кВ дві контактні камери такої ж конструкції.

Відділювач закритого виконання з елегазовим наповненням (рис. 2.11) призначений для вимкнення і ввімкнення струмів намагнічування силових трансформаторів і зарядних струмів ліній. Відділювач **ОЕ-110** забезпечує автоматичну комутацію електричних ланок.

Три полюси розташовані на спільній основі 8. Струмоведачі провідники з'єднуються з контактними виводами на верхньому і середньому фланцях. Всередині контактної камери знаходяться нерухомий контакт розеткового типу і пустотілий рухомий контакт з екраном. Увімкнення відбувається від дії сили пружин привода ППО. Тиск в контактах здійсню-

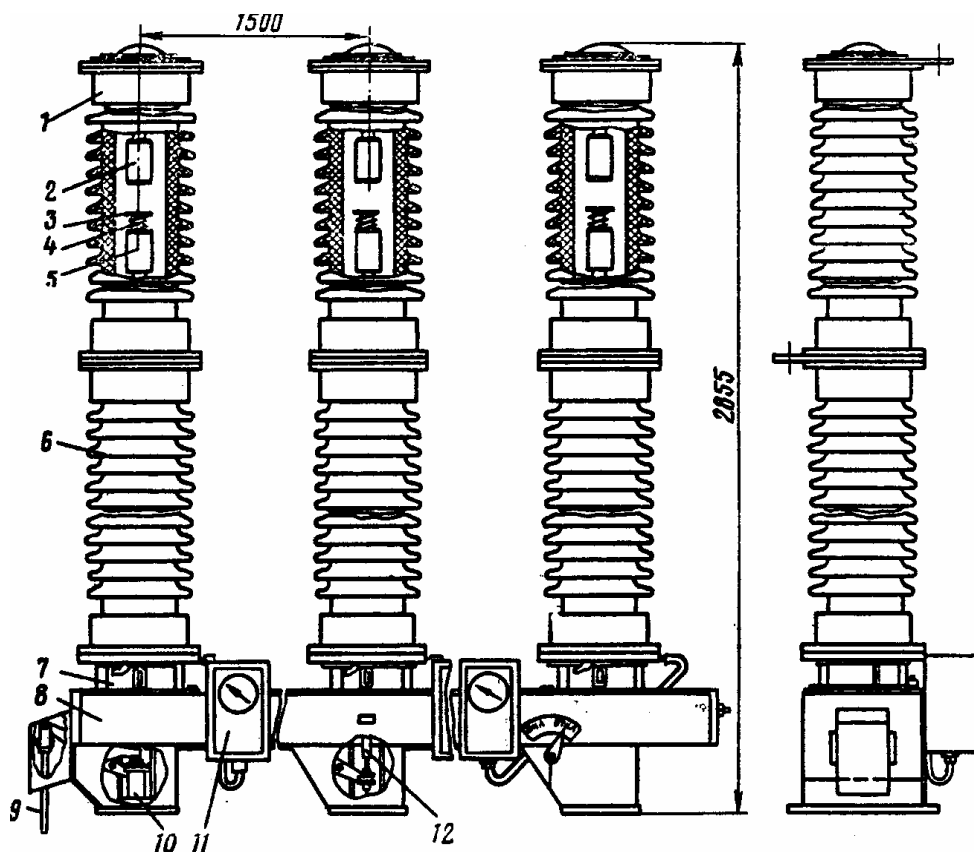


Рисунок 2.11- Відділювач закритий
з елегазовим наповненням **ОЕ-110/1000**:

1 – верхній фланець; 2 – нерухомий контакт; 3 – екран; 4 – контактна пружина; 5 – рухомий контакт; 6 – ізолювальна колонка; 7 – масляний гідрозамок; 8 – основа; 9 – тяга до приводу; 10 – буфер; 11 – мановакуумметр; 12 – тяга до нерухомого контакту

ється за рахунок стисненої пружини 4 і пружинячого розеткового контакту.

Вимкнення відбувається автоматично під дією вимикальних пружин, розташованих на основі відділювача.

Спеціальних пристроїв для гасіння дуги не передбачено, тому що електричний газ має високу електричну міцність, а відділювач призначений для вимкнення струмів не більше 20 А. Розрив між контактами у вимкненому положенні 90 мм. Тиск електричного газу в контактній камері 0,3 МПа, але навіть при виході електричного газу і зниженні тиску до атмосферного, проміжок між контактами може витримувати найбільшу робочу напругу 126 кВ. Для герметичного ущільнення рухомої тяги при виході з камери використовують масляний гідроізолюючий 7 такої ж конструкції, як і в короткозамикачі.

Контактна камера відділювача 110 кВ є модулем для апаратів на більш високу напругу. У відділювачі на 220 кВ повинно бути дві камери.

Перевага короткозамикачів і відділювачів закритого типу полягає в чіткій роботі і малому часі увімкнення та вимкнення.

2.5 Вибір роз'єднувачів і відділювачів

Вибір роз'єднувачів і відділювачів проводиться за такими основними параметрами:

- за напругою установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

- за струмом

$$I_{\text{ном}} \leq I_{\text{ном}}, \quad I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}};$$

- за конструкцією, родом установки;

- за електродинамічною стійкістю

$$i_y \leq i_{\text{пр,с}}; \quad I_{\text{п,о}} \leq I_{\text{пр,с}};$$

де $i_{\text{пр,с}}$, $I_{\text{пр,с}}$ – граничний наскрізний струм короткозамикача (амплітудне і дійсне значення);

- за термічною стійкістю

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}},$$

де B_k – тепловий імпульс за розрахунком, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$;

$I_{\text{тер}}$ – граничний струм термічної стійкості;

$t_{\text{тер}}$ – тривалість протікання граничного струму термічної стійкості.

Короткозамикачі вибирають за тими ж умовами, але без перевірки за струмом навантаження.

Розділ 3

Комутаційні електричні апарати до 1000 В

3.1 Неавтоматичні комутаційні апарати

Неавтоматичні вимикачі призначені для відокремлення від окремих знеструмлених частин від напруги або для включення та виключення електричного кола вручну в нормальних режимах роботи при струмах, що не перевищують 0,2-1 номінального струму вимикача. До них відносяться неавтоматичні вимикачі рублячого типу (рубильники) і пакетні вимикачі та перемикачі.

3.1.1 Перемикачі та рубильники

Перемикач – це контактний комутаційний апарат, який призначений для перемикання електричних кіл.

В розподільних пристроях до 1 кВ і в слабкострумових колах автоматики широке застосування отримали пакетні перемикачі та вимикачі, що замінили стару конструкцію рубильників. На рис. 3.1 показаний пакетний кулачковий вимикач. На основі вимикача закріплені два пакети I, II, всередині яких розміщено по три полюси контактних систем. При повороті рукоятки 9 обертається вал 2 і кулачок 3. Якщо шток 5 потрапляє у виїмку кулачка, то контакти 7, 8 замикаються під дією пружини 6. Якщо шток 5 потрапляє на виступ кулачка, то контакти розмикаються. Дуга, що виникає, гаситься в закритому об'ємі герметизованого корпусу 4 з ізоляційного матеріалу. Зовнішня мережа приєднується до виводів 1.

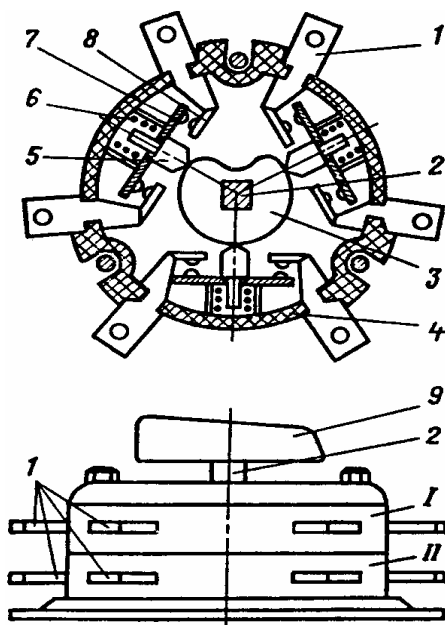


Рисунок 3.1 - Пакетний кулачковий вимикач

Якщо шток 5 потрапляє на виступ кулачка, то контакти розмикаються. Дуга, що виникає, гаситься в закритому об'ємі герметизованого корпусу 4 з ізоляційного матеріалу. Зовнішня мережа приєднується до виводів 1.

Пакетні вимикачі і перемикачі серій **ПВ** та **ПМ** випускаються одно-, дво- та триполюсними на номінальні струми 20–400 А постійного струму при напрузі 220 В і 63–250 А змінного струму при напрузі 380 В. Найбільша частота вимкнень за годину – 300.

Пакетні перемикачі мають малі розміри, зручні при монтажі; при перемиканні викид полум'я і газів виключений. Контактна система дозволяє керувати одночасно великою кількістю кіл. Такими пе-

ремикачами дозволяється відключати номінальні струми.

Пакетні вимикачі не забезпечують видимого розриву кола, тому в деяких колах встановлюють рубильники.

Рубильники і вимикачі призначені для ручного безпосереднього чи дистанційного замикання, розмикання або переключення електричних кіл.

Вони розраховані на вимкнення незначних струмів і при наявності відповідних дугогасильних пристроїв допускають вимкнення струму до $(1 \div 1,25) I_{\text{ном}}$.

Рубильники і перемикачі виконуються на струми від 100 А і вище. Окремі серії, головним чином постійного струму, випускаються на струми до 10 кА. Виготовляються рубильники також і на малі струми (5–10 А). Рубильники і перемикачі виконуються одно-, дво- і триполюсними (рис. 3.2). Основними елементами їх є: нерухомі врубні контакти 4, рухомі контакти 5, які закріплені шарнірно в інших нерухомих контактах 6, дугогасильний пристрій та привод. Монтуються рубильники на ізоляційних плитах 7. Конструктивно рубильник може виконуватись для приєднання проводів позаду або спереду.

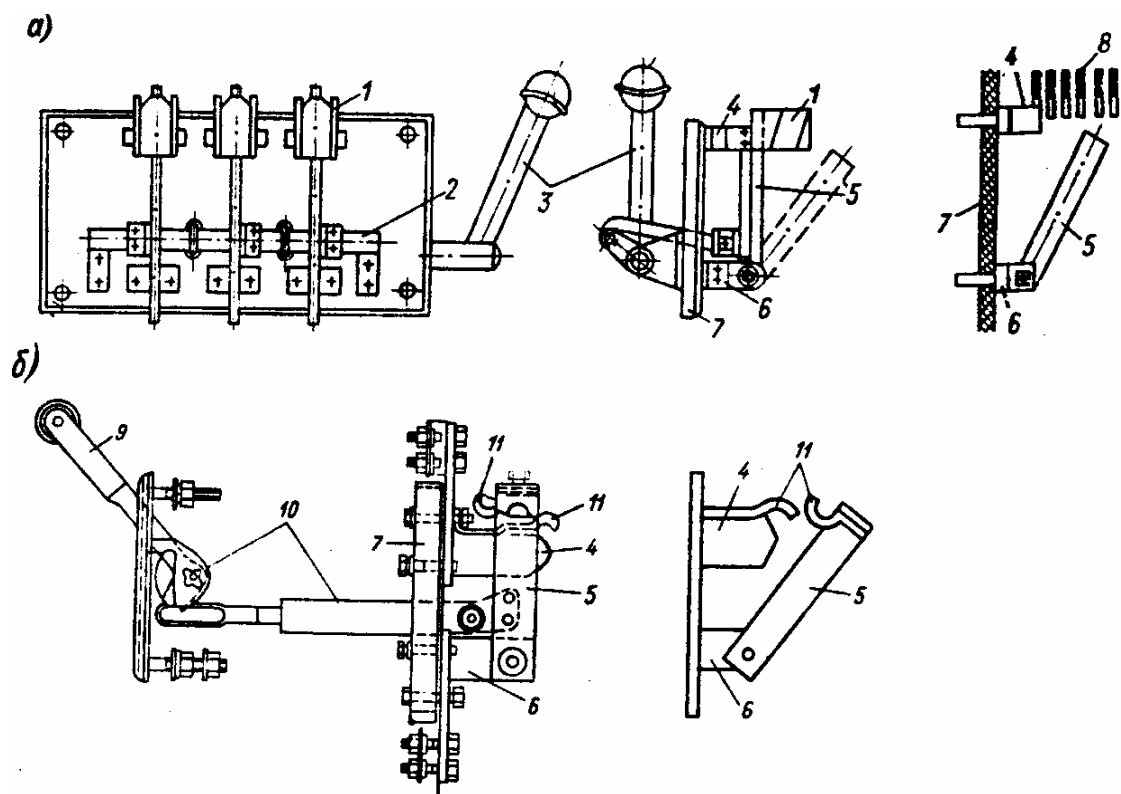


Рисунок 3.2 - Будова рубильників:

- а – рубильник з боковою рукояткою і дугогасильними камерами;
- б – рубильник з центральним важільним приводом і дугогасильними контактами

Приведення в дію може здійснюватися за допомогою центральної рукоятки, бокової рукоятки 3 через вал 2 або центральної рукоятки 9 через систему важелів 10.

Найважливішою частиною рубильника є контакти. Майже виключне застосування в цих апаратах знаходять врубні контакти. В рубильниках на малі струми контактне натиснення забезпечується пружними властивостями матеріалу губок, а на струми від 100 А і вище – стальними пружинами. Зі збільшенням натиску зменшується перехідний опір, але збільшується зношення контактів через тертя, і це обмежує натиск.

Гасіння дуги постійного струму при малих струмах (до 75 А) відбувається за рахунок її механічного розтягнення ножами, що розходяться. При більших струмах гасіння виконується в основному пересуванням дуги під дією електродинамічних сил контура струму (деталі рубильника, дуга). Скорочення довжини ножа призводить до збільшення напруженості магнітного поля і електродинамічних сил, що значно підвищує вимикальну здатність рубильника. Граничним значенням раціонального скорочення довжини ножа є така довжина, при якій забезпечується надійне гасіння струму до 75А.

Гасіння електричної дуги при однофазному струмі напругою 220 В і при трифазному струмі напругою 380 і 500 В виконується в основному за рахунок біякатодних явищ, які мають місце при переході струму через нуль. Вже при відстані біля 2 мм між контактами дуга надійно гасне. Довжину ножа в рубильниках змінного струму через це треба обирати не з умов гасіння дуги, а з механічних умов.

При монтажі рубильників в розподільних ящиках або закритих розподільних пристроях малого об'єму досить актуальним стає питання обмеження розмірів дуги. Необхідно, щоб іонізовані гази, які лишилися після погасання дуги, не спричинили перекриття на корпус або між струмоведучими частинами. В таких випадках рубильники обладнуються різноманітними дугогасильними камерами 1 (рис. 3.2).

Дослідження та досвід показали, що для створення малогабаритних рубильників та перемикачів, які мають надійну комутаційну здатність в межах своїх номінальних струмів, необхідне застосування дугогасильних камер. Достатньо ефективною можна вважати камеру з дугогасильною решіткою 8.

Дугогасильні контакти 11 можуть застосовуватись в рубильниках постійного струму при струмах вище 100 А і в усіх рубильниках змінного струму, де швидкість розходження контактів та їх зазор помітно не впливають на умови гасіння дуги. Дугогасильні контакти, вимикаючись останніми, служать тут для захисту головних ножів від обгоряння.

На більші струми (вище 1000 А) рубильники виконуються з декількома паралельними ножами. Перевага такого способу блочного конструювання полягає в тому, що потребує відпрацювання тільки одного блока. Набором відповідної кількості блоків компонуються рубильники на більші

струми. При змінному струмі треба враховувати, що внаслідок ефекту близкості струм між окремими пластинами розподіляється нерівномірно. Номінальний струм рубильника росте при цьому не пропорційно кількості пластин, а повільніше. Наприклад, при трьох паралельних елементах, кожен на 1000 А, номінальний струм рубильника буде 2500 А.

Вітчизняна промисловість випускає декілька серій рубильників і перемикачів. Рубильники і перемикачі без гасіння охоплюють діапазон струмів від 100 А до 5000 А при напрузі до 500 В.

Рубильники і перемикачі з дугогасильними камерами випускаються на струми 100–630 А, окремі типи – до 1500 А, напругу 220 і 440 В постійного струму та 380–500 В змінного струму. При напрузі 220 В постійного струму і 380 В змінного струму рубильники і перемикачі допускають відключення струму до номінального. При 440 і 500 В струми, які вимикаються, складають половину номінального. Механічна зносостійкість – до 5000 циклів увімкнення-вимкнення для рубильників на номінальні струми до 630 А та до 2000 циклів – при більших номінальних струмах.

3.1.2 Вибір рубильників

Вибір рубильників виконується:

за напругою установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

за струмом навантаження

$$I_{\text{ном}} \leq I_{\text{ном}}; I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}};$$

за конструктивним виконанням;

за електродинамічною стійкістю

$$i_y \leq i_{\text{гр}}, \text{ с};$$

за термічною стійкістю

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}.$$

Номінальний струм $I_{\text{ном}}$, граничний наскрізний струм $i_{\text{гр}}, \text{ с}$, струм і час термічної стійкості $I_{\text{тер}}, t_{\text{тер}}$ наводяться в каталогах і довідниках.

3.1.3 Запобіжники

Запобіжник – це комутаційний електричний апарат, призначений для вимкнення електричного кола, яке захищається, руйнуванням спеціально передбачених для цього струмоведучих частин під дією струму, що перевищує певні значення.

В більшості запобіжників вимкнення кола виконується розплавленням плавкої вставки, яка нагрівається струмом, що проходить по ній. Після вимкнення кола необхідно замінити вставку, що перегоріла, на нову. Ця операція виконується вручну або автоматично заміною всього запобіжника.

Запобіжник вмикається послідовно в коло, яке захищається (рис. 3.3). Для створення видимого розриву в електричному колі використовується неавтоматичний вимикач (рубильник).

Основними елементами запобіжника є *корпус, плавка вставка (плавкий елемент), контактна частина, дугогасильний пристрій та дугогасильне середовище*.

Запобіжники виготовляються на напругу змінного струму 220, 380, 600 В і постійного струму 24, 110, 220, 440 В. Запобіжники напругою до 1кВ виготовляються на номінальні струми до 1000 А.

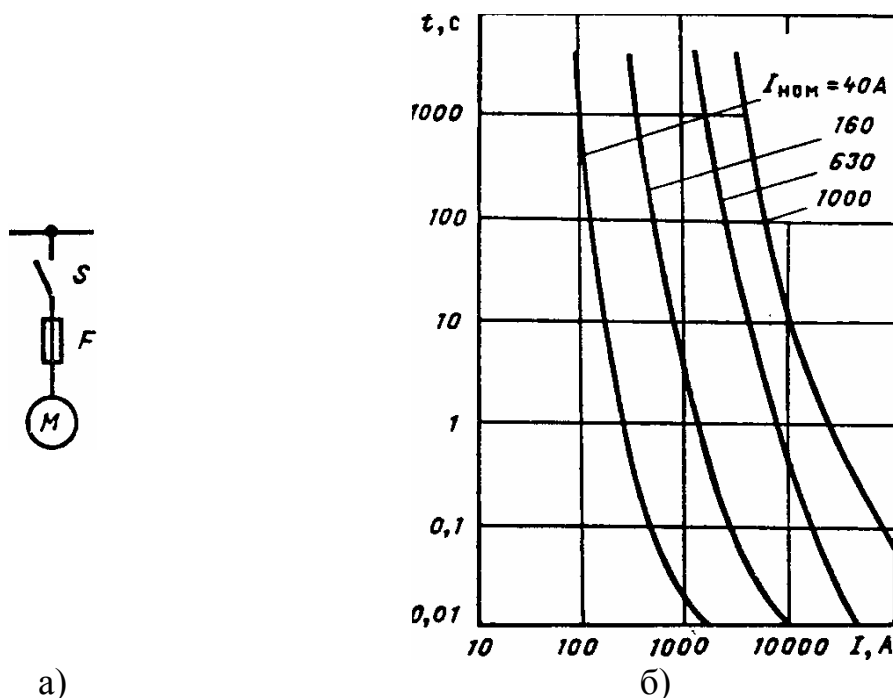


Рисунок 3.3 - Схема увімкнення (а) та захисна характеристика (б) запобіжника при різних номінальних струмах плавкої вставки.

Запобіжники характеризуються номінальним струмом плавкої вставки, тобто струмом, на який розрахована плавка вставка для тривалої роботи. В один і той же корпус запобіжника можуть бути вставлені плавкі елементи на різні номінальні струми, тому сам запобіжник характеризується *номінальним струмом запобіжника (основи)*, який дорівнює найбільшому з номінальних струмів плавких вставок, призначених для даної конструкції запобіжника.

В нормальному режимі тепло, яке виділяється струмом навантаження в плавкій вставці, передається в навколишнє середовище, і температура всіх частин запобіжника не перевищує допустиму. При перевантаженнях або КЗ температура вставки збільшується, і вона розплавляється. Чим більший струм, що протікає, тим менший час плавлення. Ця залежність називається *захисною (часо-струмовою) характеристикою* запобіжника (рис. 3.3, б).

Запобіжники не повинні вимикати електричне коло при проходженні умовного *струму неплавлення* і мають вимикати коло при проходженні умовного *струму плавлення* протягом певного часу, який залежить від номінального струму (ДЕСТ 17242–79Е). Наприклад, при номінальних струмах 10–25 А плавка вставка не повинна розплавлятися протягом 1 години при струмах 130% від номінального і повинна розплавлятися протягом того ж часу при струмах 175% від номінального.

Для того, щоб зменшити час спрацювання запобіжника, використовуються плавкі вставки з різного матеріалу, спеціальної форми, а також використовується металургійний ефект.

Найбільш широко розповсюдженими матеріалами плавких вставок є мідь, цинк, алюміній, свинець та срібло.

Цинк і свинець мають низьку температуру плавлення (419–327°C), що забезпечує невелике нагрівання запобіжників в тривалому режимі. Такі плавкі вставки зазвичай застосовуються в запобіжниках без наповнювачів. Запобіжники зі вставками з цинку і свинцю мають великі витримки часу при перевантаженнях.

Мідні вставки зазнають окислення; їх переріз з часом зменшується, і захисна характеристика запобіжника змінюється. Для зменшення окислення звичайно використовують луджені мідні вставки. Температура плавлення міді 1080°C.

Срібні вставки не окислюються, і їх характеристики найбільш стабільні.

Алюмінієві вставки використовуються в запобіжниках у зв'язку з дефіцитом кольорових металів.

При великих номінальних струмах плавка вставка виконується з паралельних дротів або тонких мідних смуг.

Для прискорення плавлення вставок з міді і срібла використовується **металургійний ефект** – явище розчинення тугоплавких металів в розплавлених, менш тугоплавких. Якщо, наприклад, на мідний дріт діаметром 0,25 мм напаяти кульку олов'яно-свинцевого сплаву з температурою плавлення 182°C, то при температурі дроту 650°C вона розплавиться протягом 4 хв., а при 350°C – протягом 40 хв. Той же дріт без розчинника плавиться при температурі не меншій 1000°C. Зазвичай для створення металургійного ефекту на мідних і срібних вставках застосовують чисте олово, яке має більш стабільні властивості. В нормальному режимі роботи кулька практично не впливає на температуру вставки.

Прискорення плавлення вставки досягається також застосуванням плавкої вставки спеціальної форми (рис. 3.4, б). При струмах КЗ вузькі ділянки нагріваються настільки швидко, що відведення тепла практично не відбувається. Вставка перегорить одночасно в декількох звужених місцях (перетин В–В, рис 3.4, б), перш ніж струм КЗ досягне свого усталеного значення в колі постійного струму або ударного струму в колі змінного струму (рис. 3.5). таке явище називається **струмообмежувальною дією** за-

побіжника. Електродинамічні сили в колі, захищеному таким запобіжником, настільки зменшуються, що в деяких випадках струмоведучі частини і апарати не потребують перевірки за електродинамічною стійкістю.

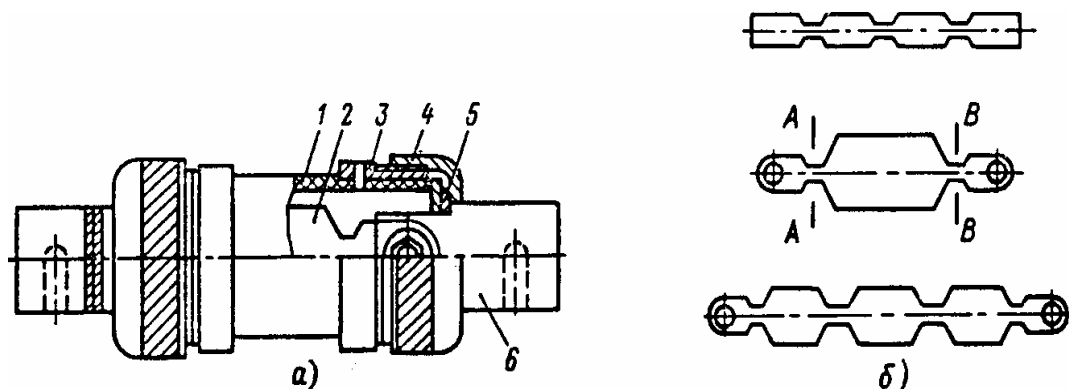


Рисунок 3.4 - Запобіжник типу ПР-2:

a – патрон на номінальні струми 100–1000 А;

б – форми плавких вставок

Гасіння електричної дуги, яка виникає після перегорання плавкої вставки, має здійснюватись якнайшвидше. Час гасіння дуги залежить від конструкції запобіжника.

Найбільший струм, який плавкий запобіжник може відключити без будь-яких пошкоджень або деформацій, називається *граничним струмом вимкнення*.

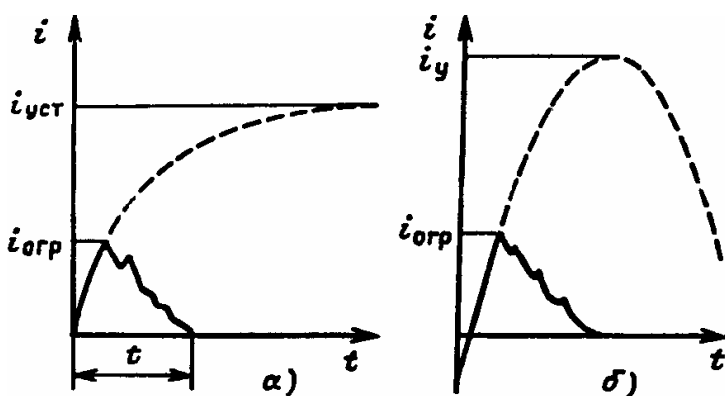


Рисунок 3.5 - Струмообмежувальний ефект плавких запобіжників:

a – при постійному струмі; *б* – при змінному струмі

Запобіжники отримали широке застосування в промислових електроустановках, на електростанціях, підстанціях, в побуті та мають різну конструкцію. Розглянемо конструкцію запобіжників, які отримали найбільш широке застосування в електричних установках.

Запобіжники з закритими розбірними патронами без наповнювача типу ПР-2 (рис. 3.4, *a*) виготовляються на напруги 220 В і 500 В, номінальні

струми 100–1000 А; граничні струми, що вимикаються, при напрузі 380 В і $\cos\varphi \geq 0,4$ становлять 6–20 кА.

Патрон запобіжника **ПР-2** (рис. 3.4, а) на струми 100 А і вище складається з товстостінної фібрової трубки 1, на яку щільно насаджені латунні втулки 3, що запобігають розриву трубки. На втулки нагвинчуються ковпачки 4, які закріплюють плавку вставку 2.

Патрон вставляється в нерухомі контактні стойки, закріплені на ізоляційній плиті. Необхідне контактне натискання забезпечується кільцевою або пластинчатою пружиною.

Плавкі вставки виготовляються з цинку у вигляді пластини з вирізами. На звужених ділянках виділяється більше тепла, ніж на широких. При номінальному струмі надлишкове тепло завдяки теплопровідності цинку передається широким частинам, тому вся вставка має приблизно однакову температуру. При перевантаженнях нагрівання вузьких ділянок відбувається скоріше, і вставка плавиться в найбільш нагрітому місті (переріз А–А, рис. 3.4, б).

При КЗ вставка плавиться у вузьких перерізах А–А та В–В. Дуга, що виникла, викликає утворення газів (50% CO_2 , 40% H_2 , 10% парів H_2O). Тиск в залежності від струму, що вимикається, може досягати 10 МПа та більше, що забезпечує швидке гасіння дуги та струмообмежувальну дію запобіжника. Для зменшення перенапруги, що виникає при вимкненні струмів коротких замикань, плавка вставка має декілька звужених місць. При їх почерговому плавленні повна довжина дугового проміжку вводиться в коло не одразу, а ступенями.

Запобіжники насипні типу **ПН-2** (рис. 3.6) широко застосовуються для захисту силових кіл до 500 В змінного та 440 В постійного струму і виконуються на номінальні струми 100–600 А.

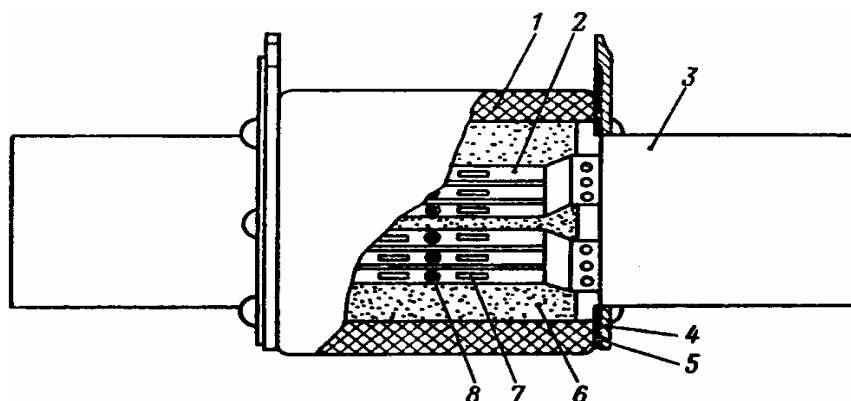


Рисунок 3.6 - Запобіжник типу **ПН-2**

Фарфорова, квадратна зовні та кругла зсередини, трубка 1 має чотири різьбових отвори для гвинтів, за допомогою яких встановлюються кришка 4 з ущільнювальною прокладкою 5. Плавка вставка 2 приварена електроконтактним точковим зварюванням до шайб врубних контактних ножів 3.

Кришки з азбестовими прокладками герметично закривають трубку. Трубка заповнена сухим кварцовим піском 6. Плавка вставка виконана з одної або декількох мідних смуг товщиною 0,15–0,35 мм і шириною до 4 мм. На вставці виконані прорізи 7, які зменшують переріз вставки в 2 рази. Для зниження температури плавлення вставки використовується металургійний ефект – на смужки міді напаяні кульки олова 8. Температура плавлення в цьому випадку не перевищує 475°C.

Для зменшення перенапруг, що виникають, плавка вставка має по довжині прорізи, при чому їх кількість залежить від номінальної напруги запобіжника (з розрахунку на 100-150 В на ділянку між прорізами). Оскільки вставка згоряє у вузьких місцях, то довга дуга ділиться на ряд коротких дуг, сумарна напруга на яких не перевищує суми катодних і анодних падінь напруги. Наповнювачем в запобіжниках **ПН** є чистий кварцовий пісок (99% SiO_2). Замість кварцу може бути використана крейда (CaCO_3), іноді пісок змішують з азбестовим волокном. При гасінні дуги крейда розкладається з виділенням вуглекислого газу CO_2 та CaO – тугоплавкого матеріалу. Реакція відбувається з поглинанням енергії, що сприяє гасінню дуги. Іноді використовують для наповнення гіпс (CaSO_4) та борну кислоту.

Запобіжники серії **ПП-31** з алюмінієвими вставками на номінальній струмі 63–1000 А (граничний струм вимкнення до 100 кА при напрузі 660 В) розроблені замість запобіжників серії **ПН-2**.

Запобіжники серії **ПП-17** виготовляються на струми 500–1000 А, напругу змінного струму 380 В та постійного струму 220 В. Їх гранична вмикальна здатність 100–120 кА. Запобіжник складається з плавкого елемента, що знаходиться в керамічному корпусі, заповненому кварцовим піском, показчика спрацьовування і вільного контакту. При розплавленні плавкого елемента запобіжника перегоряє плавкий елемент показчика спрацьовування, вивільняючи зведений при збиранні показчика бойок,

який перемикає вільний контакт. Останній замикає коло сигналізації положення запобіжника.

Швидкодіючі запобіжники для захисту напівпровідникових приладів **ПП-41**, **ПП-57**, **ПП-71**, **ПП-59** виконуються з плавкими вставками зі срібної фольги в закритих патронах з наповненням кварцовим піском. Вони розраховані на встановлення в колах змінного струму напругою 380–1250 В і постійного струму 230–1050 В; но-

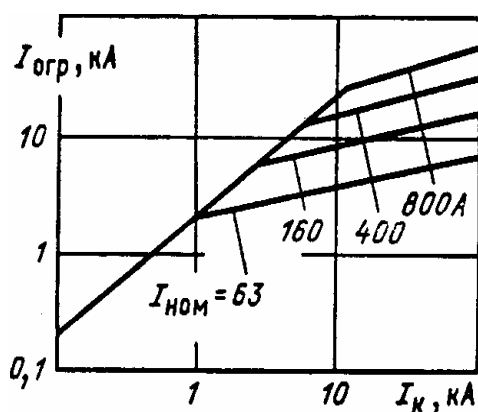


Рисунок 3.7. Характеристика обмеження струму КЗ запобіжником **ПП-57**

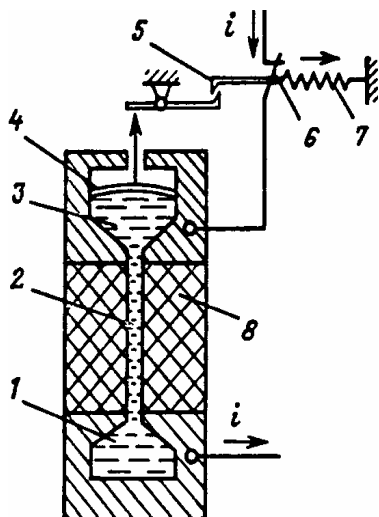


Рисунок 3.8 - Конструктивна схема рідиннометалевого запобіжника

мінальні струми 100–2000 А, граничні струми вимкнення до 200 кА. Ці запобіжники мають помітну струмообмежувальну дію. Залежність обмеженого струму $I_{обм}$ в мережі з напругою 660 В від розрахункового струму КЗ I_k при різних номінальних струмах плавкої вставки $I_{ном}$ для швидкодіючого запобіжника ПП-57 показано на рис. 3.7. Чим менший номінальний струм вставки, тим менше парів металу в дузі, тим більший опір дуги і вищий ступінь обмеження струму в колі, що вимикається.

В розглянутих вище запобіжниках необхідна заміна плавкої вставки (плавкого елемента) після її перегорання, що ускладнює експлуатацію. Такого недоліку немає у рідиннометалевих запобіжниках, які розробляються в останні роки.

В ізоляційній трубці 8 (рис. 3.8) канал 2 малого діаметру, заповнений рідким металом (галій, сплав Ga–In, Sn та ін.) з резервуарів 1 та 3, виконує роль плавкої вставки. При струмі КЗ стовпчик металу в каналі 2 вибухає і дуга в ньому гасне. Тиск, що виникає в трубці, діє на мембрану 4, яка діє на зачіпку 5 і розчіплює її. Пружиною 7 розмикаються контакти 6, забезпечуючи розрив кола. Метал заповнює канал 2 і запобіжник знову готовий до роботи. Для увімкнення запобіжника в електричне коло необхідно вручну або приводом дистанційно увімкнути контакт 6.

3.1.4 Вибір запобіжників

Вибір запобіжників виконується:

за напругою

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

за струмом запобіжника (основи)

$$I_{ном} \leq I_{ном}; I_{max} \leq I_{ном};$$

за номінальним струмом плавкої вставки.

Номінальний струм плавкої вставки вибирається так, щоб у нормальному режимі і при допустимих перевантаженнях вимкнення запобіжника не відбувалося, а при довготривалих перевантаженнях і КЗ коло вимикалося б якомога швидше. При цьому виконуються умови селективності захисту. Ці питання розглядаються в дисциплінах “Електричні мережі” та “Релейний захист”. Номінальний струм запобіжника узгоджується з вибраним номінальним струмом плавкої вставки.

Запобіжники, обрані за нормальним режимом, перевіряються за граничним струмом вимкнення :

$$I_{г.в} \leq I_{відм}.$$

3.2 Низьковольтні автоматичні комутаційні апарати

3.2.1 Автоматичні вимикачі

Автоматичний вимикач призначений для комутації кіл при аварійних режимах роботи електричних мереж, а також нечастих (від 6 до 30 на добу) оперативних перемикачів електричних кіл.

Автоматичні вимикачі виготовляють для кіл змінного до 1000 В і постійного струму до 440 В одно-, дво-, три- та чотирьополюсними на номінальні струми від 6,3 до 6300 А.

Незалежно від призначення і швидкодії вимикачі складаються з таких основних елементів:

- 1) головної контактної системи (головних контактів);
- 2) дугогасильної системи;
- 3) приводу;
- 4) розчіплювального пристрою;
- 5) розчіплювачів;
- 6) допоміжних контактів.

Головна контактна система – основний елемент конструкції вимикача. Вона повинна задовольняти дві основні вимоги:

- 1) забезпечувати, не перегріваючись і не окислюючись, тривалий режим роботи при номінальному струмі;
- 2) бути спроможною, не ушкоджуючись, вмикати і вимикати великі струми короткого замикання, які досягають в сучасних промислових установках 75–100 кА, а в окремих енергоємних виробництвах з короткими мережами – 150–200 кА.

У зв'язку з цим у вимикачах на середні і великі струми з високою вимикальною здатністю застосовуються багатоступеневі контактні системи, які складаються, наприклад, з основних і дугогасильних контактів.

Використання металокераміки дозволяє в сучасних конструкціях на великі струми застосовувати переважно двоступеневі контактні системи, а у вимикачах на малі і середні (до 630 А) струми – одноступеневі контактні системи (місткові, важільні).

Контактні системи на середні і великі струми виконуються з компенсацією електродинамічних сил. Найбільш ефективним слід вважати принцип електродинамічної компенсації. Компенсуюче зусилля тут (як і електродинамічні сили) росте пропорційно квадрату струму і систему можна виконати так, що компенсуюча сила буде завжди перевищувати силу, що відкидає. Електромагнітна компенсація стає неефективною при великих

струмах, тому що при насиченні (при струмах 10–25 кА) компенсуюче зусилля мало зростає зі збільшенням струму, в той час коли сила, що відкидає, продовжує зростати пропорційно квадрату струму.

Дугогасильна система повинна забезпечувати вимкнення великих струмів короткого замикання в обмеженому просторі. Під дією електродинамічних сил, що виникають, дуга швидко розтягується і гасне, але її полум'я займає дуже великий простір. Задачею дугогасильного пристрою є обмеження розмірів дуги і забезпечення її гасіння в малому об'ємі. З цією метою широке розповсюдження отримали камери з дугогасильними решітками і камери з вузькими щілинами. В сучасних конструкціях все більше застосування знаходять полум'ягасильні решітки.

Як правило, магнітне поле дугогасіння у вимикачах створюється самим контуром струму. Електродинамічні сили контура струму (особливо при коротких замиканнях) забезпечують швидке переміщення дуги по контактах, а також в камері.

Підвищити здатність вимикання вимикачів можна застосуванням ряду паралельних контактних систем з одночасним існуванням і штучним підтримуванням горіння електричних дуг на їх дугогасильних контактах. Розмикання паралельно увімкнених контактів відбувається неодноразово, і дуга виникає на тих контактах, які розмикаються останніми. Але можна створити такі умови, при яких дуга виникне і буде одночасно існувати на всіх паралельних контактах. В цьому випадку вимикальна здатність вимикача збільшиться пропорційно числу паралельно увімкнених дугогасильних контактів.

Досить серйозним питанням є вимикання малих струмів при оперативних комутаціях. При струмах $I < 0,5I_{\text{ном}}$ магнітне поле контура струму (електродинамічні сили) може виявитись недостатнім для забезпечення руху дуги в камерах з вузькими щілинами. Доводиться йти на збільшення зазору контактів і приймати інші спеціальні заходи.

Привод служить для увімкнення вимикача за чисею командою (оператора, системи автоматичного керування та ін.). Вимикачі виконуються з ручним чи руховим приводом, або і з тим, і з іншим. Під руховим розуміють привод, в якому сила створюється будь-яким видом енергії, окрім енергії м'язів оператора, наприклад електромагнітом, електродвигуном, пневматикою, гідравлікою і ін. Вимкнення вимикача здійснюється пружинами після роз'єднання розчіплювального пристрою.

Розчіплювальний пристрій призначений:

- 1) для виключення можливості утримувати контакти вимикача у увімкненому положенні (рукою, дистанційним приводом) при наявності ненормального режиму роботи в колі, яке захищається;
- 2) для забезпечення миттєвого вимкнення, тобто швидкості розходження контактів, яка не залежить від оператора, роду і маси приводу.

Розчіплювальний пристрій – це система шарнірно-зв'язаних важелів, які з'єднують привод увімкнення з системою рухомих контактів. Схема на

рис. 3.9, *а* відповідає положенню “вимкнено вручну” і “вимикач зведено”. “Зведено” означає, що контакти 7 та 8 розімкнуті, а фігурний важіль 9 поставлений під зачеплення 4 валика відключення 5; це здійснюється обертанням рукоятки 1 вправо. При обертанні рукоятки вліво пружина 2, що відключає, переведе важелі 3 і 6, які “ламаються”, через мертве положення до упору шарніра 0 у важіль 9 і замкне контакти. Положення “увімкнено” показано на рис. 3.9, *б*.

У випадку виникнення ненормальних умов роботи в колі, яке захищається, відповідний розчіплювач поверне валик відключення і виведе його із зачеплення з фігурним важелем. Під дією пружини відключення фігурний важіль повернеться і іншим своїм кінцем переведе важелі, які “ламаються”, вправо через мертве положення. Пружина відключення “зламає” важелі і розімкне контакти. Вимикач опиниться в положенні “вимкнено автоматично” (рис. 3.9, *в*). Для повторного увімкнення необхідно відвести рукоятку вправо і ввести у зачеплення фігурний важіль з валиком відключення.

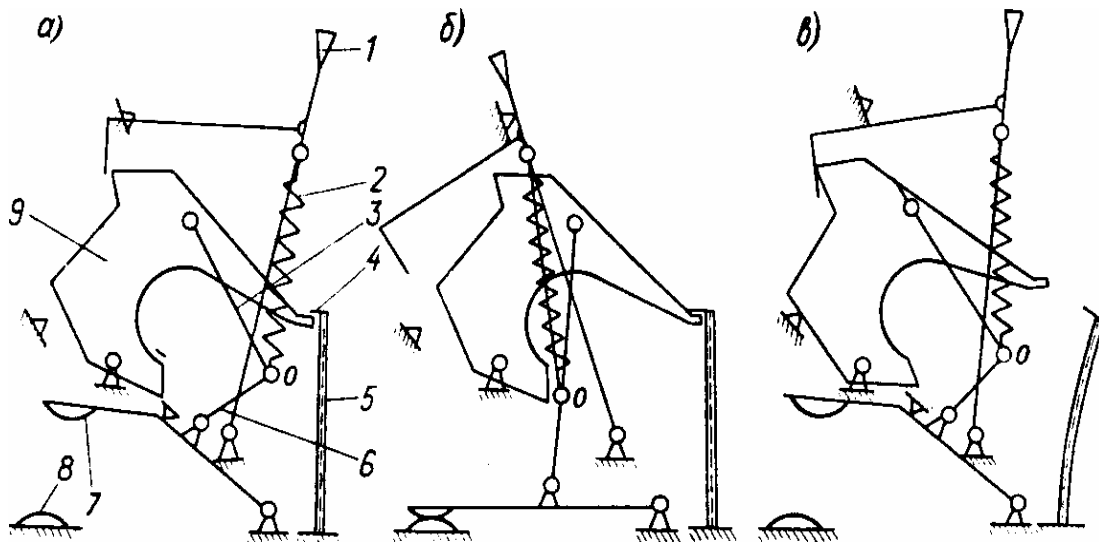


Рисунок 3.9 - Приклад виконання розчіплювального пристрою автоматичного вимикача

Конструкції розчіплювальних пристроїв досить різноманітні, але їх дія подібна до описаної вище. В подальшому розчіплювальний пристрій будемо зображати схематично у вигляді двох зчеплених важелів (рис. 3.10).

Треба відмітити одну досить важливу обставину. Контактні пружини та пружини вимикання в автоматичних вимикачах розвивають сили в десятки і сотні ньютонів. Система важелів розчіплювального пристрою буде так, що для розчіплення потрібні незначні зусилля. Це дозволяє мати легкі і високочутливі розчіплювачі.

Розчіплювачі – елементи, які контролюють заданий параметр кола, яке захищається, і, діючи на механізм розчеплення, вимикають вимикач при відхиленні значення параметра від встановленого. Це такі реле або елементи реле, які вбудовані у вимикач з використанням елементів останнього або пристосовані до його конструкції. Розчіплювачі виконуються на базі контактних реле. В теперішній час все більше застосування знаходять розчіплювачі на принципах або на базі напівпровідникових реле та їх елементів. При цьому органи контролю параметрів електричної ланки і органи порівняння розчіплювача виконуються з напівпровідникових елементів з виходом на незалежний електромагнітний розчіплювач (виконавчий орган), який діє на механізм розчеплення.

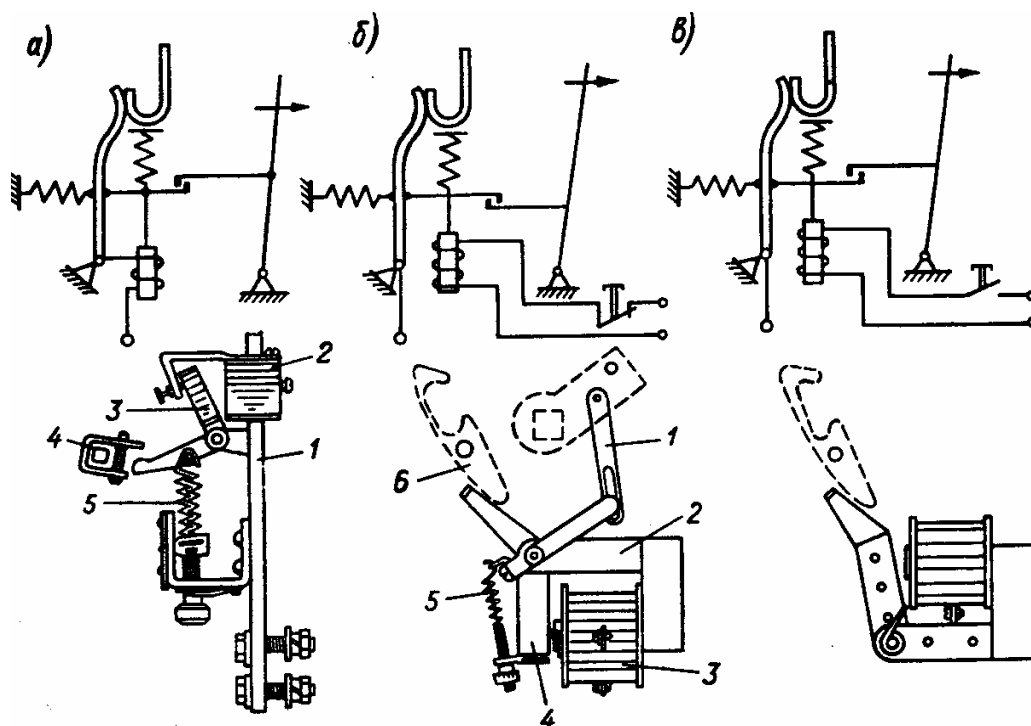
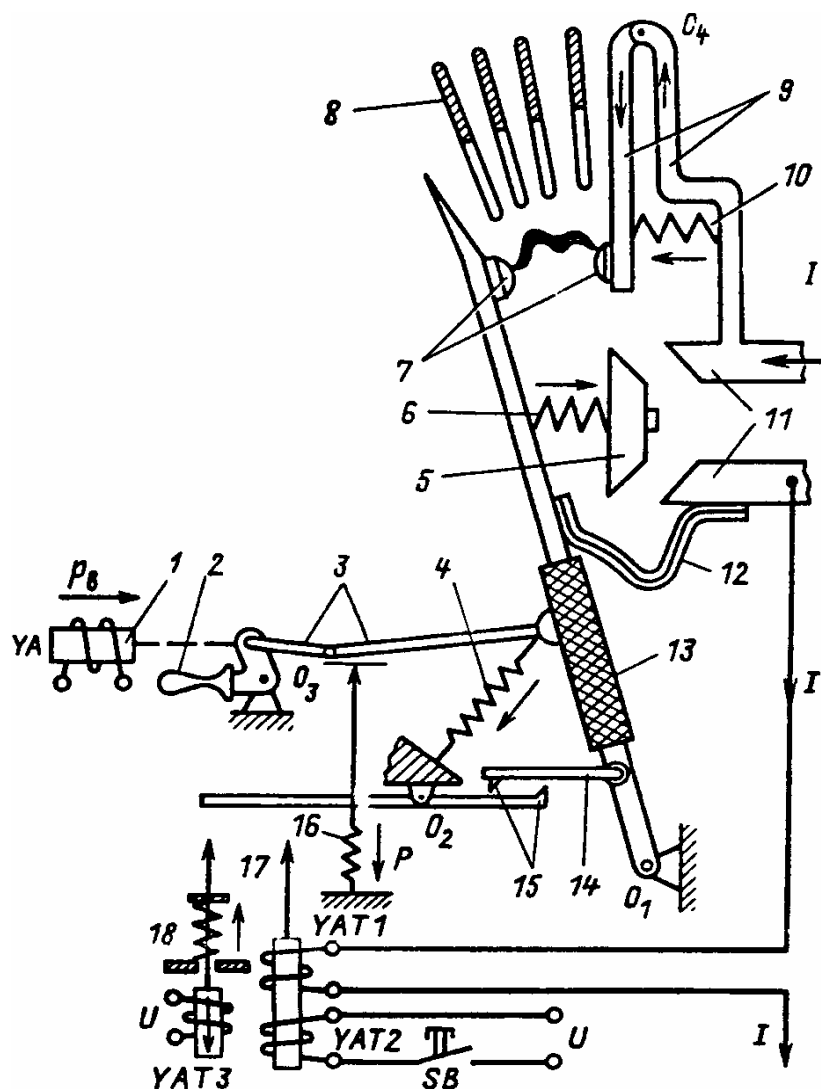


Рисунок 3.10 - Приклади схем виконання деяких розчіплювачів

За виконанням розчіплювачі бувають:

- 1) **струмові максимальні миттєвої або уповільненої дії**, останні використовуються як розчіплювачі перевантаження;
- 2) **розчіплювачі напруги**: *мінімальні* – для вимкнення вимикача при зниженні напруги нижче визначеного рівня, *незалежні* – для дистанційного вимкнення вимикача, які спрацьовують при поданні на них відповідної напруги;
- 3) **розчіплювачі зворотного струму** – спрацьовують при зміні напрямку струму;
- 4) **теплові** – працюють в залежності від значення струму і часу його проходження, звичайно застосовуються для захисту від перевантажень;

Основні елементи автоматичного вимикача та їх взаємодію розглянемо за принциповою схемою рис. 3.11.



Контактна система вимикачів на великі струми – двоступенева, складається з головних 11, 5 та дугогасильних контактів 7. Головні контакти повинні мати малий перехідний опір, оскільки по них проходить основний струм. Звичайно це масивні мідні контакти з срібними накладками на нерухомих контактах і металокерамічними накладками на рухомих контактах. Дугогасильні контакти замикають і розмикають коло, тому вони мають бути стійкі до дуги, що виникає, поверхня цих контактів металокерамічна.

На рис. 3.11 вимикач показаний у вимкненому положенні. Для його увімкнення обертають рукоятку 2 або подають напругу на електромагніт-

ний привод 1 (YA). Зусилля, що виникає, переміщує важелі 3 вправо, при цьому повертається несуча деталь 13, замикаються спочатку дугогасильні контакти 7 та утворюється коло струму через ці контакти та гнучкий зв'язок 12, а потім головні контакти 5-11. Після завершення операції вимикач утримується у увімкненому положенні клямкою 14 з зубцями 15 та пружиною 16.

Вимикають вимикач рукояткою 2, приводом 1 або автоматично при спрацюванні розчіплювачів.

Максимальний розчіплювач 17 спрацьовує при протіканні через його обмотку YAT1 струму КЗ. Утворюється зусилля, що переборює натяг Р пружини 16, важелі 3 переходять вгору за мертву точку, в результаті цього автоматичний вимикач вимикається під дією пружини відключення 4. Цей же розчіплювач виконує функції *незалежного розчіплювача*. Якщо на нижню обмотку YAT2 подати напругу кнопкою SB, він спрацьовує та виконує дистанційне вимкнення.

При зниженні або зникненні напруги спрацьовує *мінімальний розчіплювач 18* та вимикає вимикач.

При вимкненні спочатку розмикаються головні контакти та весь струм переходить на дугогасильні контакти. На головних контактах дуга не утворюється.

Дугогасильні контакти 7 розмикаються, коли головні знаходяться на достатній відстані. Між дугогасильними контактами утворюється дуга, яка вивуається вгору в *дугогасильну камеру 8*, де й гаситься.

Дугогасильні камери виконуються зі сталевими пластинами (ефект гасіння дуги у вузький щілині). Втягування дуги в камеру здійснюється магнітним дуттям. Матеріал камери повинен мати високу дугостійкість.

При протіканні струму КЗ через увімкнений автоматичний вимикач між контактами виникають значні електродинамічні зусилля, що перевищують сили контактних пружин 6 та 10, які можуть відірвати один контакт від іншого, а дуга, що утворилась, може призвести до їх зварювання. Щоб уникнути самочинного вимикання, використовують електродинамічні компенсатори у вигляді шинок 9, зігнутих петель. Струми в шинках 9 мають різний напрямок, що утворює електродинамічну силу, яка збільшує натискання в контактах.

Важелі 3 виконують роль *механізму вільного розщеплення*, який забезпечує вимкнення автоматичного вимикача в довільний момент часу, в тому числі при необхідності та в процесі увімкнення. Якщо вимикач вмикається на існуюче КЗ, то максимальний розчіплювач 17 спрацьовує та переводить важелі 3 вгору за мертву точку, порушуючи зв'язок привода 1 (або 2) з рухомою системою автоматичного вимикача, який відключається пружиною 4, не дивлячись на те, що приводом буде передаватися зусилля на увімкнення. В конструкціях реальних автоматичних вимикачів механізм вільного розщеплення має більш складну конструкцію.

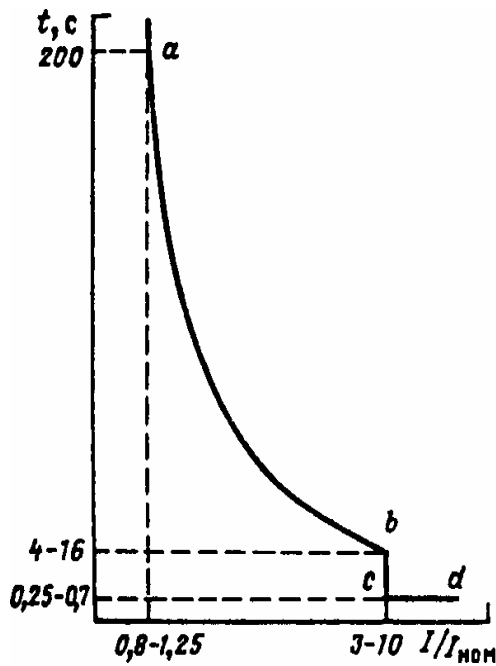


Рисунок 3.12. Захисна характеристика автоматичного вимикача

Захисна характеристика автоматичного вимикача приведена на рис. 3.12. Максимальні розчіплювачі електромагнітного типу мають зворотно залежну від струму витримку часу при перевантаженнях (ділянка *ab*) та незалежну витримку часу при струмах КЗ (*cd*). Уставка по струму регулюється в зоні перевантаження та в зоні КЗ (відсічка). Час спрацювання регулюється при $I_{\text{ном}}$, при $3-10I_{\text{ном}}$ та при струмі КЗ. В автоматичних вимикачах з електромагнітними розчіплювачами витримка часу в незалежній від струму частині характеристики досягається за рахунок часового анкерного механізму, в залежній – від сили притягання якоря електромагніту до осердя.

Автоматичні вимикачі з біметалевими розчіплювачами забезпечують зворотно залежну характеристику при перевантаженнях. Для захисту від КЗ у таких вимикачах використовують електромагнітні розчіплювачі миттєвої дії.

Автоматичні вимикачі серії **A3700** на струми 160–630 А та напругу змінного струму до 660 В, постійного до 440 В виконуються в пластмасовому корпусі з ізолювальними перегородками між полюсами (рис. 3.13) у двох виконаннях: **A3700Б** – струмообмежувальні з електромагнітними розчіплювачами миттєвої дії та напівпровідниковими розчіплювачами; **A3700С** – селективні з напівпровідниковими розчіплювачами з регульованою витримкою часу.

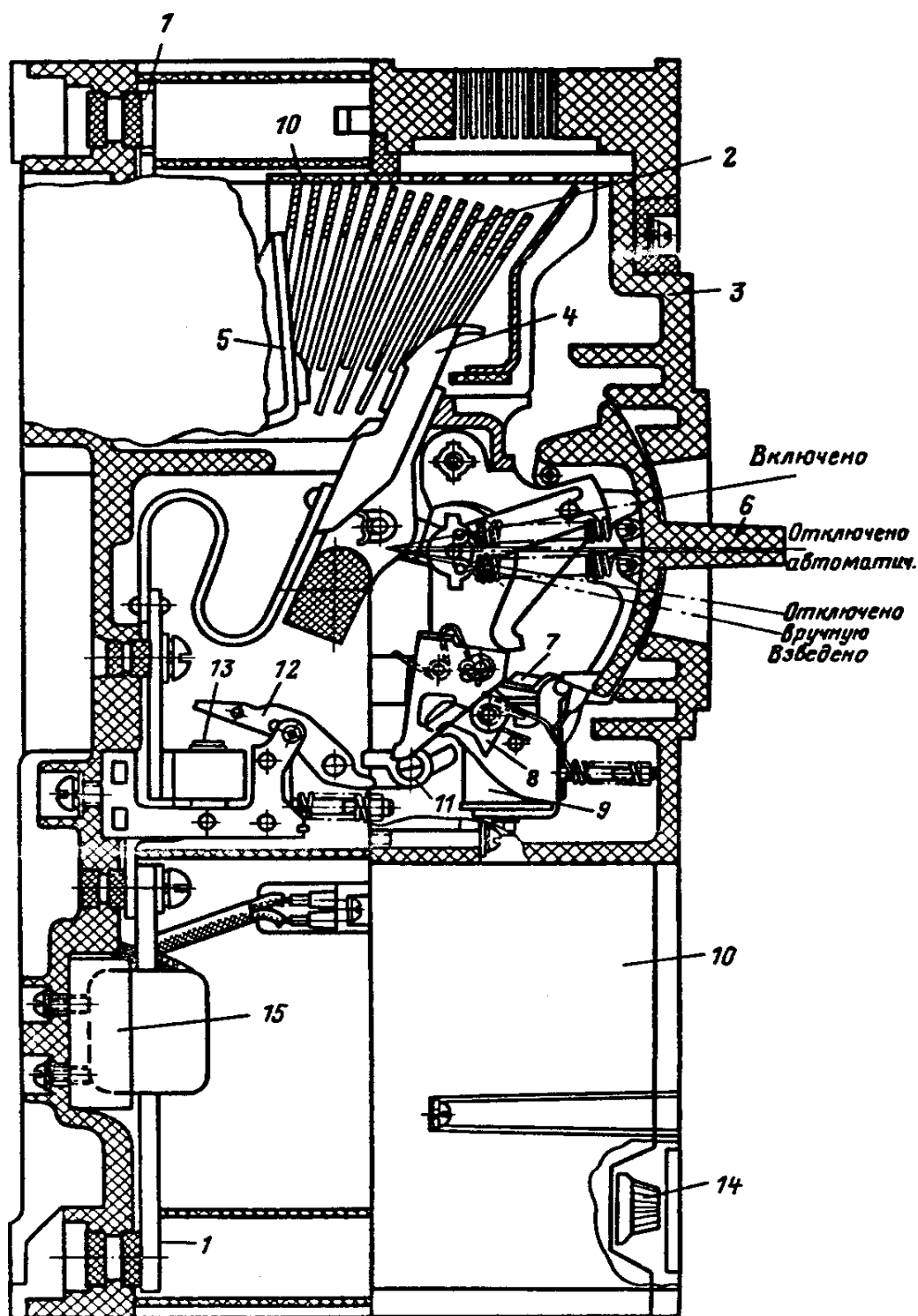


Рисунок 3.13 - Автоматичний вимикач АЗ700Б на 160 А, 660 В:

1 – виводи головного кола; 2 – дугогасильна камера; 3 – пластмасова кришка; 4 – рухомий контакт; 5 – нерухомий контакт; 6 – рукоятка керування; 7 – якорь незалежного розчіплювача; 8 – бойок; 9 – котушка незалежного розчіплювача; 10 – напівпровідниковий блок керування; 11 – рейка відключення; 12 – якорь; 13 – магнітопровід розчіплювача ми

Границі регулювання: струм спрацювання при перевантаженнях $1,25I_{\text{ном}}$, при КЗ $3-10I_{\text{ном}}$; час спрацювання при $6I_{\text{ном}}$ 4–16 с, при КЗ 0,1–0,4 с.

Автоматичні вимикачі серії **A3700** мають одну пару контактів на полюс (4, 5) з металокерамічними накладками. Увімкнення та вимкнення може проводитися вручну рукояткою 6 або електромеханічним приводом у вигляді окремого блока, що встановлюється над кришкою вимикача (на рис. 1.13 не показаний).

Автоматичне вимкнення при КЗ проводиться розчіплювачем миттєвої дії, до магнітопровода якого 13 притягується якір 12, ударяючи по кулачку рейки відключення 11. При перевантаженнях спрацьовує напівпровідниковий блок 10, діє на незалежний розчіплювач 9, до якого притягується якір 7, звільняючи бійок 8, який діє на рейку відключення 11. Рейка звільняє механізм вільного розщеплення і контакти розмикаються. Дуга, що з'являється, гаситься в камері 2 зі сталевими пластинами. Граничний струм вимкнення 60–110 кА.

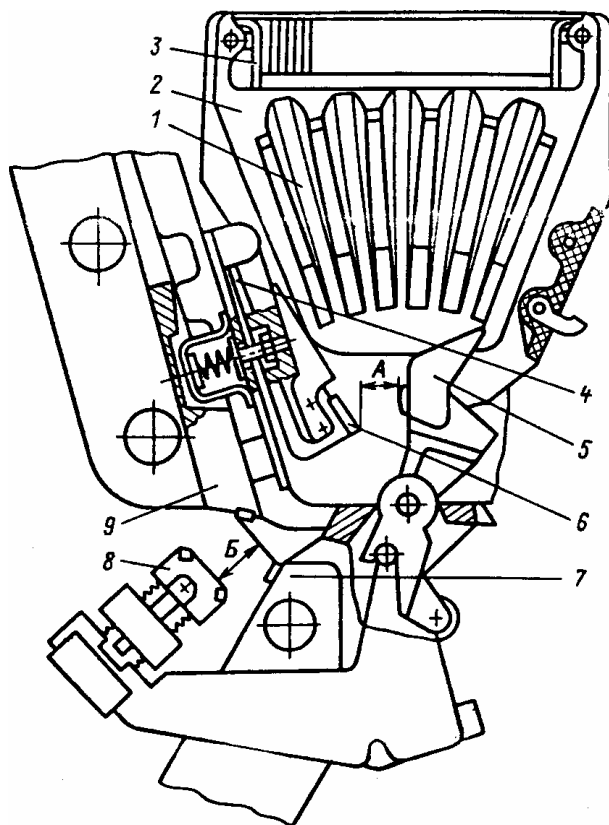


Рисунок 3.14 - Контактна група і дугогасильний пристрій автоматичних вимикачів серії **Э16, Э25, Э40**

Автоматичний вимикач **A3700** виготовляється в стаціонарному та висувному виконаннях і широко використовується в комплектних розподільних пристроях напругою до 1 кВ.

Вимикачі **Э06** на струм до 1000 А мають одноступеневу контактну систему, що складається з пари контактів, які вмикаються паралельно. Вимикачі **Э16, Э25, Э40** на струми від 1600 А до 6300 А мають робочі нерухомі контакти 7, 9, облицьовані срібними накладками, рухомий робочий контакт 8 та дугогасильні контакти 5 і 6 із накладками з металокераміки (рис. 3.14). Дугогасильний контакт 6 виконаний з петлеподібним динамічним компенсатором 4.

Дугогасильний пристрій складається з ізоляційного корпусу 2, в якому розміщені сталеві пластини 1, та полум'ягасильної решітки 3. Автоматичні вимикачі серії **Э** виготовляють для стаціонарної установки або висувними. Висувні вимикачі додатково оснащують втичними контактами на виводах головного кола, важелями для механічного блокування, колесами для переміщення по коліях каркаса. Вони можуть мати **робоче положення** – головне і допоміжне коло замкнені; **контрольне** – головне коло розімкнене, а допоміжне – замкнене; **ремонтне** – головне і допоміжне коло розімкнені.

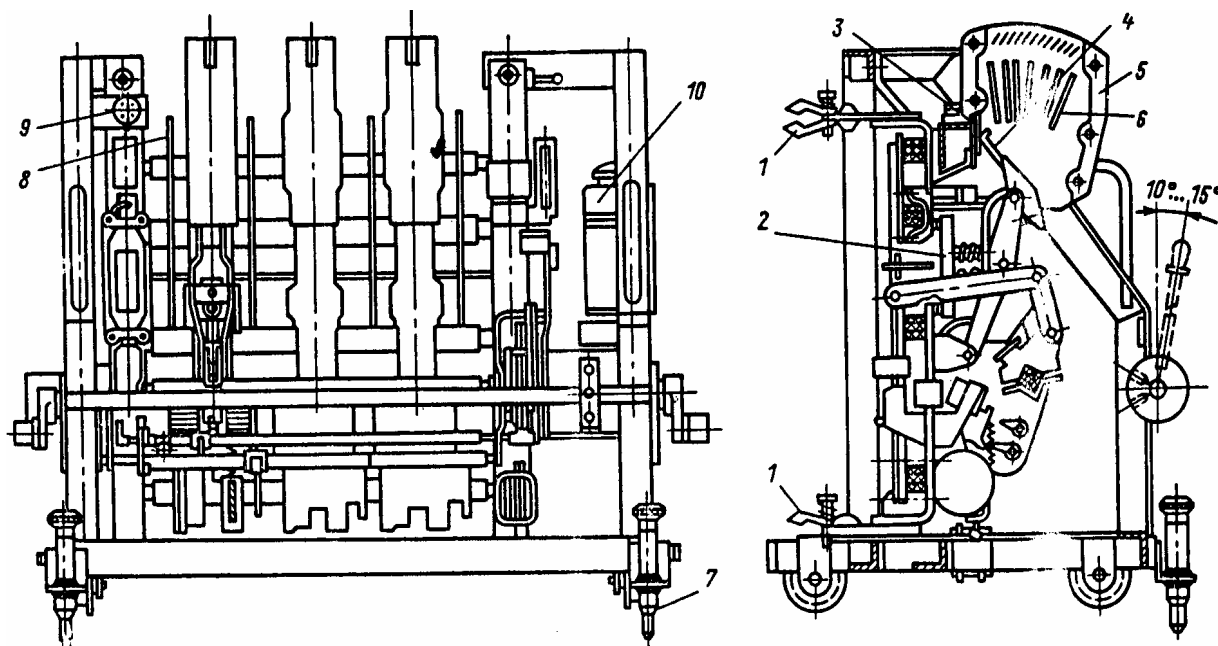


Рисунок 3.15 - Автоматичний вимикач
АВМ в висувному виконанні

1 – роз'ємні контакти головного кола; 2 – головний рухомий контакт;
3 – нерухомий дугогасильний контакт; 4 – рухомий дугогасильний контакт;
5 – дугогасильна камера; 6 – сталеві пластини; 7 – фіксатор положення;
8 – ізоляційні перегородки; 9 – штепсельний роз'єм кіл керування; 10 – електродвигунний привод

Спеціальне механічне блокування запобігає вкачуванню та викачуванню вимикача у увімкненому стані.

Автоматичні вимикачі серії **АВМ** випускають на номінальні струми до 2000 А і напруги 500 В змінного та 440 В постійного струму. Вимикач має дві пари контактів на полюс – головні 2 та дугогасильні 3, 4 (рис. 3.15). Гасіння дуги відбувається в камері 5 зі стальними пластинами 6. Вимикачі **АВМ** мають максимальні розчіплювачі зі зворотно залежною витримкою часу при перевантаженнях, яка досягається за рахунок годинникових механізмів. При струмах КЗ максимальний розчіплювач спрацьовує з встановленою витримкою часу 0,25; 0,4; 0,6 с за рахунок спеціального механічного уповільнювача розщеплення.

Привод може бути ручним, важільним або електродвигунним. Вимикачі АВМ виготовляють для стаціонарного розміщення або висувним, для комплектних розподільних пристроїв (рис. 3.15).

Крім автоматичних вимикачів розглянутих серій, для захисту електричних кіл від перевантажень та КЗ використовуються вимикачі **АЕ-1000**, **АЕ-2000**, **АК-63**, **А-63**, **АВ-45** та ін.

Автомати гасіння поля (АГП) відносяться до особливої групи (рис. 3.16). Вони призначені для вимкнення струму в обмотці збудження генераторів. Автомат має головні контакти, розташовані відкрито (на рисунку не

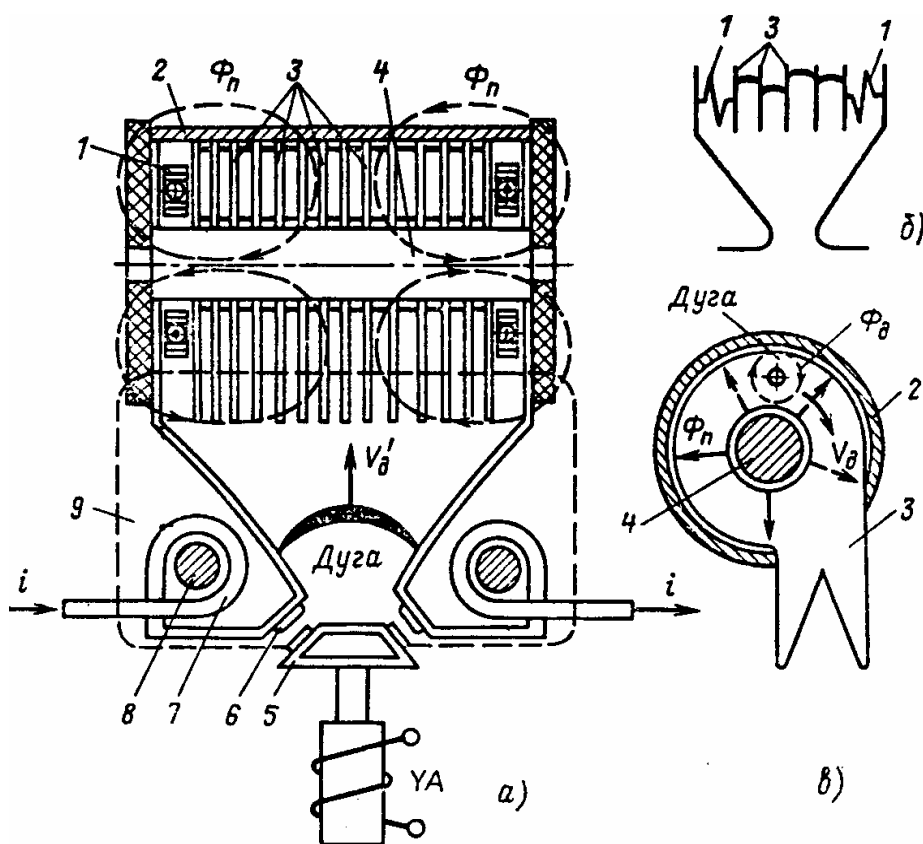


Рисунок 3.16 - Автомат гасіння поля

показані), і дугогасильні контакти (5, 6) в камері гасіння дуги. У увімкненому положенні АГП утримується клямкою. При вимиканні контакти 5 відходять вниз і виникають дуги між контактами 5 та 6, які силою магнітного поля, створеного котушками 7, осердями 8 і сталевими полюсами 9, видувуються догори. Утворюється одна довга дуга. Вона заганяється в кільцеву дугогасильну камеру, де розбивається між мідними пластинами 3 на короткі дуги. Одночасно в коло вмикаються котушки 1, які утворюють радіальне магнітне поле, що замикається зі сталевого осердя 4 на сталевий зовнішній кожух 2. В результаті взаємодії з магнітним полем короткі дуги отримують круговий обертовий рух (рис. 3.16, в) з великою швидкістю і тому не плавлять пластин. Вся енергія, що виділяється в дузі, розподіляється по поверхні пластин і гаситься ними. Температура пластин при цьому не повинна перевищувати 200°C, виходячи з цього і вибирають розміри пластин. Паралельно до пластин увімкнені секції шунтуючих опорів (на рис. 3.16 не показані). В цьому випадку дуга на решітці гасне не одразу, а по секціях, стрибками, наближаючись до нуля. Першою гасне дуга в секції, шунтованій меншим опором. Поступове спадання струму зменшує перенапруги, що виникають при розриві кола постійного струму. Власний час вимкнення автоматичного вимикача серії АГП не більший 0,15 с, а повний час гасіння поля залежить від параметрів генераторів.

3.2.2 Вибір автоматичних вимикачів

Вибір автоматичних вимикачів виконується:

за напругою установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

за родом струму та його значенням

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}}; \quad I_{\text{тах}} \leq I_{\text{ном}};$$

за конструктивним виконанням;

за граничним струмом, що вимикається.

Селективні автоматичні вимикачі, які діють з витримкою часу при КЗ, перевіряють за умовою

$$I_{\text{п},0} \leq I_{\text{вим}},$$

де $I_{\text{п},0}$ – діюче значення періодичної складової струму 3-фазного КЗ в початковий момент; $I_{\text{вим}}$ – діюче значення номінального струму вимкнення автоматичного вимикача;

за струмом увімкнення

$$i_y \leq I_{\text{увм,мах}},$$

де i_y – ударний струм КЗ; $I_{\text{вимк,мах}}$ – амплітудне значення номінального струму увімкнення;

за постійною часу затухання аперіодичної складової струму КЗ

$$T_a \leq T_{a, \text{ном}}$$

де $T_a = \frac{x_{\text{рез}}}{\omega_{\text{рез}}}$ визначається в розрахунку струмів КЗ; $T_{a, \text{ном}}$ – постійна ча-

су аперіодичної складової струму КЗ за каталогом (0,005–0,015 с).

Заводи-виробники гарантують термічну та електродинамічну стійкість автоматичних вимикачів з розчіплювачами максимального струму, перевіреними за струмами увімкнення та вимкнення.

3.2.3 Контактори та магнітні пускачі

Контактор – це двопозиційний комутаційний апарат з самоповерненням, який призначений для частих комутацій струмів, не більших за струми перевантаження, та приводиться до дії приводом.

Контактори виконуються на струми 4–400 А, на напругу 220, 440, 750 В постійного та 380, 660, 1140 В змінного струму і допускають 600–1500 циклів вмикань за годину. Деякі спеціальні серії контакторів допускають до 14000 циклів вмикань за годину. Контактори можуть бути одно-, дво-, три-, чотири- та п'ятиполюсними.

Електромагнітні контактори знайшли широке застосування в електроустановках. Увімкнення контактної системи в них здійснюється електромагнітом.

В залежності від режиму роботи контактори поділяють за категоріями використання:

- змінного струму типів АС-1, АС-2, АС-3, АС-4;
- постійного струму типів ДС-1, ДС-2, ДС-3, ДС-4, ДС-5.

Контактори категорії **АС-1** розраховуються на використання в колах електропечей опору та призначені для комутації тільки номінальних струмів. Контактори категорії **АС-2** розраховуються на пуск електродвигунів з фазним ротором та комутують струм до $2,5I_{\text{ном}}$. Контактори категорії **АС-3** розраховуються на пуск електродвигунів з короткозамкненим ротором та на відключення електродвигунів, що обертаються, і комутують струм $6\text{--}10I_{\text{ном}}$. Контактори категорії **АС-4** розраховуються на пуск електродвигунів з короткозамкненим ротором та на відключення електродвигунів, що обертаються повільно або зупинились в аварійному режимі, вони комутують струми $6\text{--}10I_{\text{ном}}$.

Контактори постійного струму в залежності від категорії розраховані на комутацію струмів від $I_{\text{ном}}$ до $10I_{\text{ном}}$.

Контактори можуть бути розраховані на роботу в переривчасто-тривалому, тривалому, повторно-короткочасному або короткочасному режимі.

Контактори не мають пристроїв, що реагують на перевантаження чи КЗ. Цю функцію виконують запобіжники та автоматичні вимикачі, які вмикаються послідовно з контактором та захищають коло від перевантажень і КЗ. Електродинамічна та термічна стійкість контакторів не нормується.

На відміну від автоматичних вимикачів контактори не мають механічних пристроїв, які запирають контактор в положенні “увімкнено”. У увімкненому положенні контактор утримується електромагнітом.

Основними елементами контакторів є головні контакти, дугогасильний пристрій, електромагнітна система та допоміжні контакти.

На рис. 3.17, а показана схема керування однополюсним контактором.

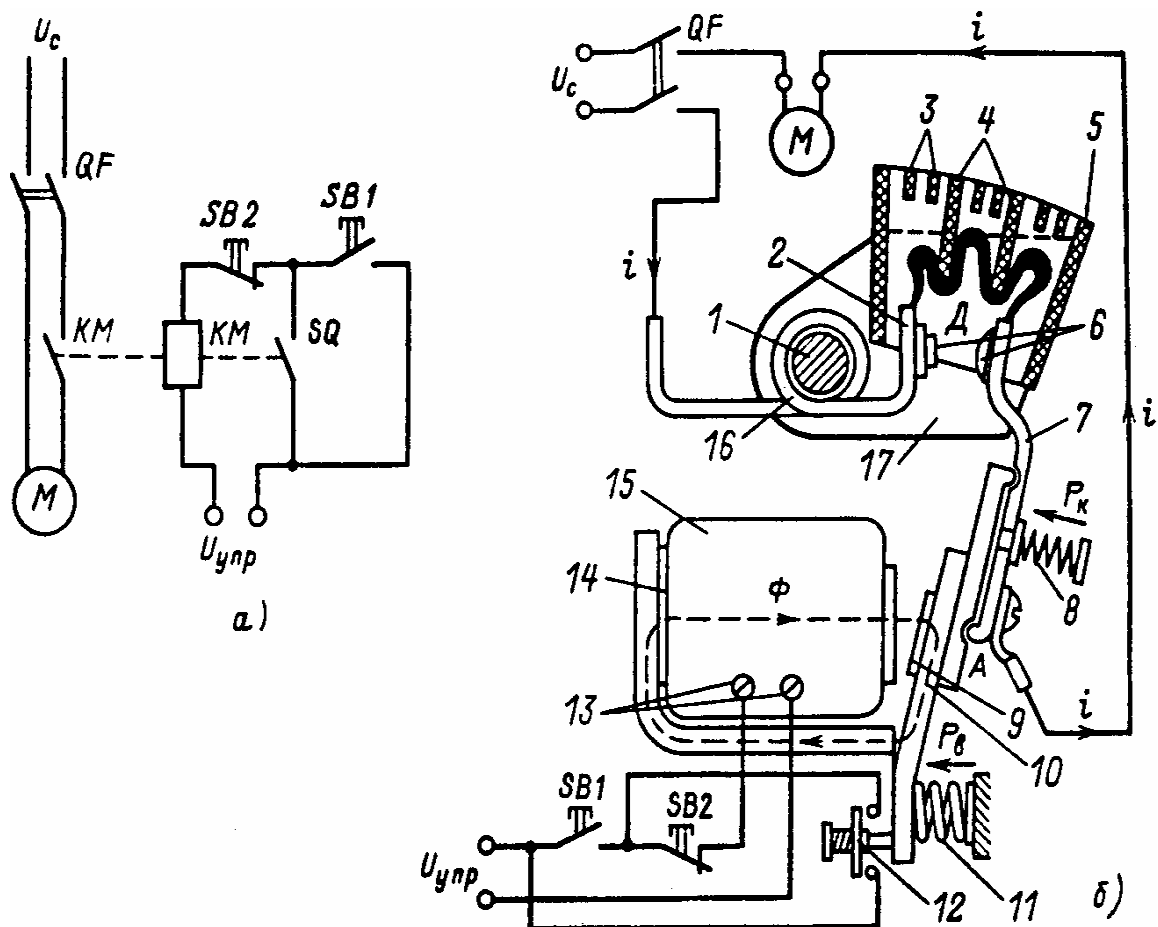


Рисунок 3.17 - Електромагнітний контактор:

а) схема увімкнення, б) принцип дії

Головні контакти контактора KM увімкнені в коло двигуна M , а котушка – в коло керування послідовно з кнопками керування $SB1$, $SB2$ та допоміжними контактами SQ .

На конструктивній схемі (рис. 3.17, б) контактор показаний в момент відключення, коли напруга з котушки 15, розташованої на осерді 14, знята і рухома система під дією пружини 11 прийшла в нормальне положення. Дуга, що виникає між контактами 2 і 7, гаситься в камері 5 з ізоляційними перебірками 4. Втягування дуги в камеру відбувається за рахунок магнітного поля, створеного магнітною системою, що складається з котушки 16, яка увімкнена послідовно в головне коло, сталюого осердя 1 та полюсних наконечників 17. На виході з камери встановлена полум'ягасильна решітка 3, що перешкоджає виходу іонізованих газів за межі камери.

Для увімкнення контактора подається напруга на затискачі котушки 13 натисканням кнопки SB1. В котушці утворюється магнітний потік, який притягує яр 10 до осердя. На якорі укріплений рухомий контакт 7, який після дотику з нерухомим контактом 2 ковзає по його поверхні, руйнуючи плівку окислів на поверхні контактів. Натискання в контактах утворюється пружиною 8. Контактні накладки 6 з срібла задовольняють мінімальний перехідний опір. В деяких випадках накладки виконуються з дугостійкої металокераміки. Контактор утримується у увімкненому положенні своєю котушкою. Після вмикання контактора замикаються допоміжні контакти 12 (SQ), які шунтують кнопку SB1, тому розмикання пускової кнопки не розриває коло котушки 15 (KM).

На якорі 10 передбачена немагнітна прокладка з латуні 9, яка зменшує силу притягання, обумовлену остаточною індукцією в осерді. Таким чином, при знятті напруги з котушки 15 яр не “залипає”. При значному зниженні напруги в колі управління, а також при її зникненні контактор автоматично вимикається.

Для вимкнення контактора достатньо натиснути на кнопку SB2, яка розімкне коло живлення котушки 15.

Коло керування контактором може отримувати живлення від первинного силового кола. Захист електродвигуна в розглянутій схемі виконується автоматичним вимикачем QF.

До електромагнітних контакторів загальнопромислових серій відносяться такі типи:

- змінного струму* КТ, КТП, КТВ;
- постійного струму* КП, КПВ, КПД;
- постійного та змінного струму* КМ, РПК, КН.

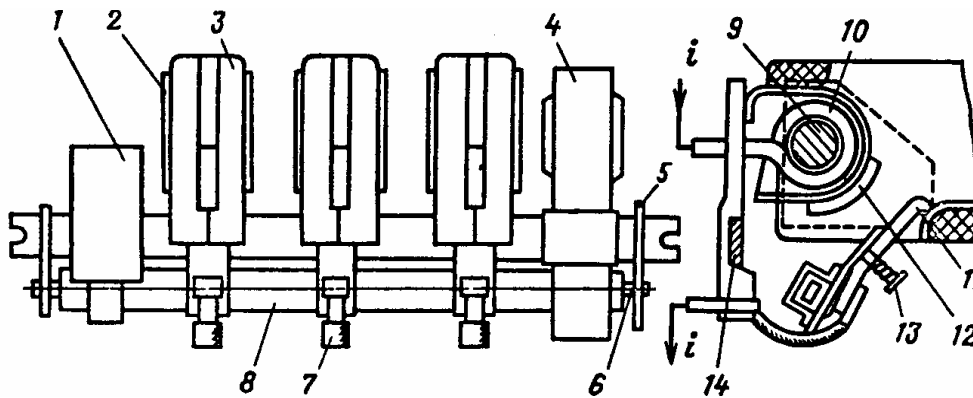


Рисунок 3.18 - Конструктивна схема контактора серії **КТ**

Широко використовується *контактор поворотного типу* серії **КТ6000** з щільними камерами та магнітним дуттям а також **КТ7000** з дугогасильними решітками для тяжких режимів роботи в колах змінного струму (категорії АС-3, АС-4).

На рис. 3.18 показана конструктивна схема контактора **КТ6000**. На металевій рейці *14* кріпляться вузли нерухомих контактів *12* разом з системами магнітного дуття – котушкою *10*, осердям *9*, бічними сталевими пластинами *2* та дугогасильними камерами *3*. На рейці *14* розташоване осердя електромагніта, нерухома частина допоміжних контактів *1* та кріпляться опори підшипників *5* для головного вала *6*. Зовнішня частина вала *8* ізолювана, на ньому розташовані рухомі контакти *11* з контактними пружинами *13* та гнучкими зв'язками *7* (три полюси), рухома частина контактів *1* та якорь електромагніта *4*. Робота контактора проходить так, як було описано вище. Контактори цієї серії випускаються на напругу 380 В та 660 В на струми 100–1000 А, допускають до 1200 увімкнень за годину, струми увімкнення при номінальній напрузі сягають $8I_{\text{ном}}$.

Контактори серії КМ 2000 виготовляють на постійний струм напругою 220 В до 350 А та змінний струм напругою 380 В до 600 А. Головні контакти – місткові, дугогасильна камера з магнітним дуттям. Котушка електромагніта в цих контакторах живиться від мережі постійного струму або випрямленою напругою від окремого пристрою, зібраного на напівпровідникових діодах по однофазній містковій схемі.

Магнітний пускач – це комутаційний апарат, призначений для пуску, зупинки та захисту електродвигунів. Магнітні пускачі складаються з електромагнітного контактора, вбудованих теплових реле та допоміжних контактів.

Найбільш поширеними серіями магнітних пускачів є ПМБ, ПМА, ПА. Пускачі можуть бути реверсивними і нереверсивними, у відкритому захищеному та пилобризконепроникному виконанні, з тепловими реле та без них. Магнітні пускачі використовуються для керування електродвигунами змінного струму напругою до 660 В, потужністю до 75 кВт.

Електрична конструктивна схема магнітного пускача серії ПАЕ показана на рис. 3.19.

При натисканні кнопки *SB1* подається живлення в котушку контактора *KM(5)* через контакти теплових реле *KST1*, *KST2*, що розмикаються, і кнопку *SB2*. Якір електромагніта 6 притягується до осердя 4, обертаючись навколо вісі O_1 . При цьому нерухомі контакти 2 замикаються рухомих контактом 8. Натискання в контактах забезпечуються пружиною 9.

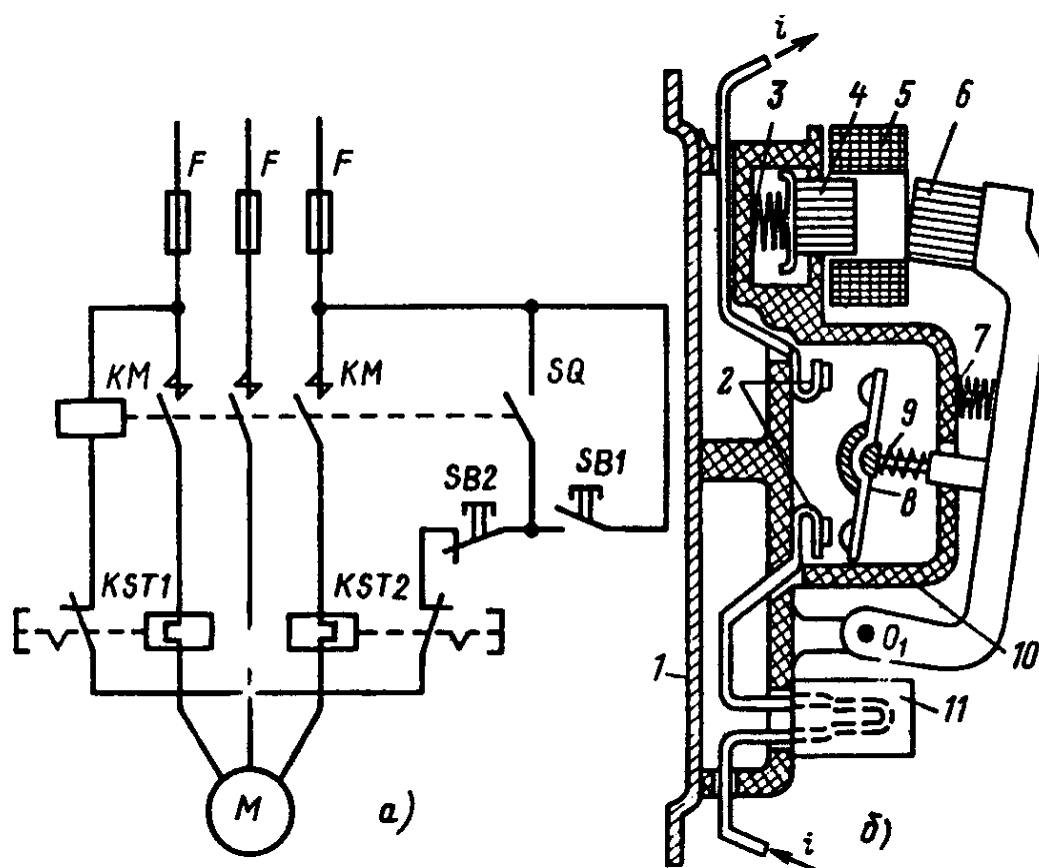


Рисунок 3.19- Конструктивна схема магнітного пускача серії ПАЕ

Одночасно замикаються допоміжні контакти *SQ* (рис. 3.18, а), які шунтують кнопку *SB1*. При перевантаженні електродвигуна спрацьовують обидва або одне теплове реле 11, коло котушки розмикається контактами *KST1*

і KST2. При цьому якір 6 більше не утримується осердям, і під дією власної маси та пружини 7 рухома система переходить у вимкнене положення, розмикаючи контакти. Двократний розрив в кожній фазі та закрита камера 10 забезпечує гасіння дуги без спеціальних пристроїв.

Амортизуюча пружина 3 захищає рухома частину від різких ударів при вмиканні магнітного пускача. Всі деталі пускача розташовуються на металевій основі 1.

Для захисту електродвигуна від коротких замикань в електричне коло вмикаються запобіжники F .

3.2.4 Вибір контакторів та магнітних пускачів

Вибір контакторів та магнітних пускачів виконується за такими основними параметрами:

за напругою установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

за родом і значенням струму

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}};$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}};$$

за потужністю електродвигунів, які підключаються

$$P_{\text{підкл}} \leq P_{\text{дод}};$$

за категорією використання.

Розділ 4

Нові розробки вітчизняних та зарубіжних виробників електричного обладнання

4.1 Електричне обладнання Рівненського заводу високовольтної апаратури (РЗВА)

4.1.1 Роз'єднувачі

Роз'єднувачі зовнішньої установки серії РД(З)-110 на напругу 110 кВ і приводи до них (рис. 4.1 та рис 4.2) призначені для вмикання та вимикання безструмових ділянок електричних кіл, а також заземлення вимкнених ділянок електричних ланок та мереж за допомогою заземлювача.

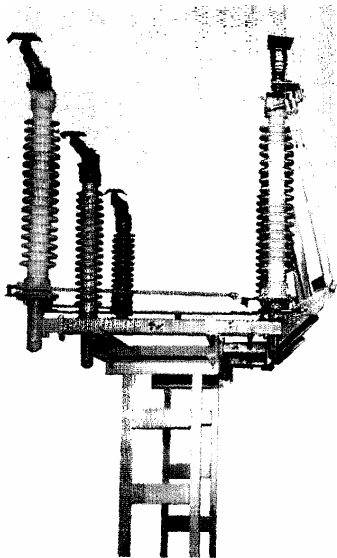


Рисунок 4.1- Загальний вигляд
установки серії РД -110

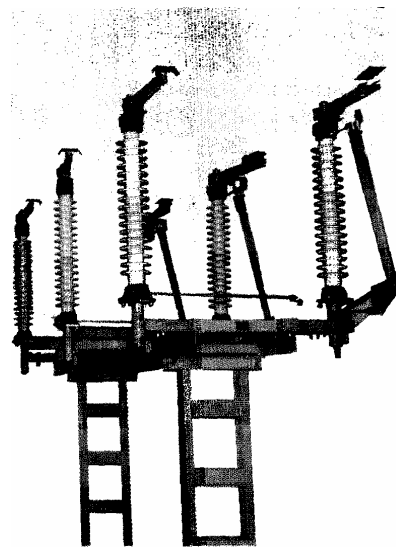


Рисунок 4.2 - Загальний вигляд
установки серії РД(З)-110

Технічна характеристика

Номінальна напруга, кВ	110
Номінальний струм, А	1000
Струм електродинамічної стійкості, кА	80
Струм термічної стійкості, кА	31,5
Час протікання струму термічної стійкості, с	3
Габаритні розміри для одного полюса,(ахbхh) мм	2056х590х1509

Роз'єднувачі мають два варіанти виконань: з одним заземлювальним ножем та з двома заземлювальними ножами. Роз'єднувачі поставляються для монтажу однополюсних (що складаються з одного ведучого полюса) або триполюсних (що складаються з одного ведучого та двох ведених полюсів) устаткувань на горизонтальній площині. Всі три полюси повинні керуватися одним приводом. Для управління роз'єднувачі комплектуються приводами ручними типу **ПР** без вала, з одним або двома валами заземлювачів (**ПР3.1** та **ПР3.2** відповідно). Роз'єднувачі зовнішньої установки серії **РД(3)-110** забезпечують комфорт в експлуатації, швидкий монтаж та багатоваріантність вибору схем монтажу.

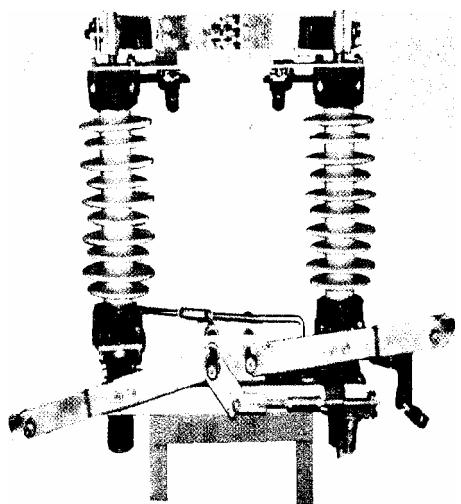


Рисунок 4.3- Загальний вигляд роз'єднувача типу **РД(3)-35/1000**

Роз'єднувачі високовольтні типу **РД(3)-35/1000** зовнішньої установки та приводи до них (рис. 4.3) призначені для вимикання та вмикання безструмових ділянок електричних кіл напругою 35 кВ, а також заземлення вимкнутих об'єктів за допомогою заземлювачів в умовах помірного та холодного клімату (УХЛ1). Виготовляються з нормальною та посиленою ізоляцією.

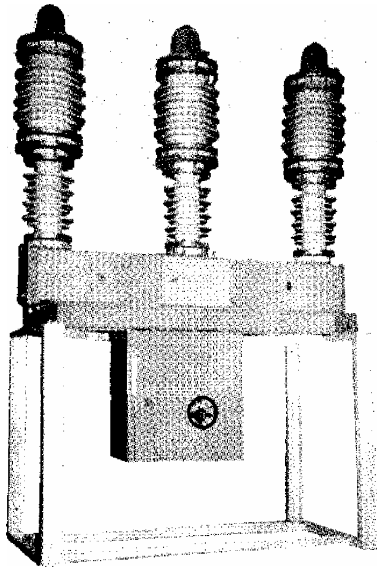
Для управління роз'єднувачі комплектуються приводами ручними типу **ПР** без вала, з одним або двома валами заземлювачів (**ПР3.1**, **ПР3.2** відповідно).

Технічна характеристика

Номінальна напруга, кВ	35
Номінальний струм, А	1000
Струм електродинамічної стійкості, кА	63
Струм термічної стійкості, кА	26
Габаритні розміри, мм:	
- ширина	810, 890, 1040
- глибина	290
- висота	795

4.1.2 Вимикачі вакуумні типу ВБЗЕ(П)-35-20/1000

Вимикачі вакуумні типу **ВБЗЕ(П)-35-20/1000** з електромагнітним (пружинним) приводом



зовнішньої установки на клас напруги 35 кВ змінного струму частотою 50 та 60 Гц (рис 4.4) призначені для встановлення у відкритих розподільних пристроях 35 кВ і для комплектних блоків фідерів тягових підстанцій залізниці. Можуть поставлятися на експорт в країни з помірним (У1) та тропічним (Т1) кліматом. Вимикачі вакуумні типу **ВБЗЕ(П) - 35-20/1000** забезпечують високий комутаційний та механічний ресурс, надійність і швидкодію, низькі експлуатаційні витрати.

Рисунок 4.4 - Загальний вигляд вимикачів типу **ВБЗЕ(П)-35-20/1000**

Технічна характеристика

Номинальна напруга, кВ	35
Номинальний струм I_n , А	630,1000
Номинальний струм вимикання, $I_{н.в.}$, кА	20
Струм вмикання, кА:	
- найбільший пік	52
- початкове діюче значення періодичної складової	20
Номинальна напруга оперативного струму, В:	
- постійного	10;220
- змінного	127;220
Ресурс за механічною зносостійкістю, циклів	3000
Комутаційна зносостійкість	
- при I_n , цикли ВУ	3000
- при $I_{н.в.}$, цикли ВУ	50
Габаритні розміри, мм. не більше:	
- ширина	2000
- довжина	920
- висота	2610
Маса, кг, не більше	900

4.1.3 Вакуумні вимикачі типу ВБЗЕ-27.5

Однофазні вакуумні вимикачі типу **ВБЗЕ – 27.5** (рис. 4.5) призначені для комутації електричних кіл однофазного змінного струму частотою 50 Гц напругою 27,5 кВ в системах електроживлення залізниці в нормальному режимі роботи установки, а також для автоматичного вимикання цих кіл при коротких замиканнях та перевантаженнях, які з'являються при нормальних та аварійних режимах. Вимикачі вакуумні типу **ВБЗЕ-27.5** забезпечують високий комутаційний та механічний ресурс (100 000 операцій), надійність і швидкодію, мають малу вагу та габарити, електромагнітний привод. Гарантійний термін експлуатації 4 роки.

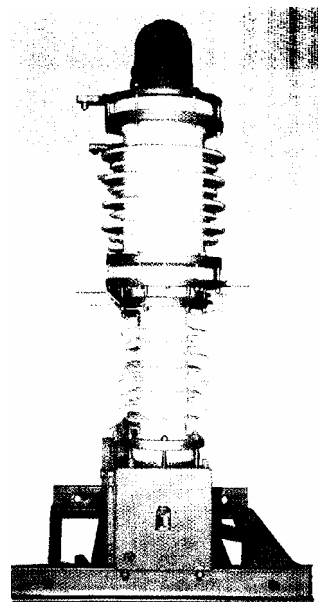


Рисунок 4.5 - Загальний вигляд вимикача типу **ВБЗЕ-27.5**

Технічна характеристика

Номінальна напруга, кВ	27.5
Найбільша робоча напруга кВ	30,5
Номінальний струм вимкнення, кА	20
Номінальний струм, А	1000
Струм термічної стійкості, 3с, кА	20
Повний час вимкнення, с	0,08
Маса, кг ,не більше	350
Номінальна постійна напруга електромагніта привода, В	110,220
Комутаційний ресурс (ВУ), циклів	
- при номінальному струмі	1000
- при ном. струмі вимикання	50
Механічний ресурс, циклів	1000
Габаритні розміри, мм:	
ширина	1118
глибина	920
висота	2592

4.1.4 Вакуумні вимикачі серій VM1S та BP

Вакуумні вимикачі серій VM1S та BP (рис. 4.6) призначені для комутації електричних кіл при номінальних та аварійних режимах в мережах трифазного змінного струму частотою 50 (60) Гц з номінальною напругою 10 кВ для електричних ланок та систем з ізолюованою нейтраллю.

Малий ступінь вигорання контактів гарантує довговічність та високу комутаційну зносостійкість даного типу вимикачів.

Умови експлуатації - вид кліматичного виконання та категорії розміщення У2 та Т3 за ГОСТ 15150. Висота над рівнем моря не більше 1000 м. Верхнє значення температури повітря, що оточує вимикач, для виконання У3 - $+50^{\circ}\text{C}$, для виконання Т3 - $+55^{\circ}\text{C}$. Нижнє значення температури - 25°C .

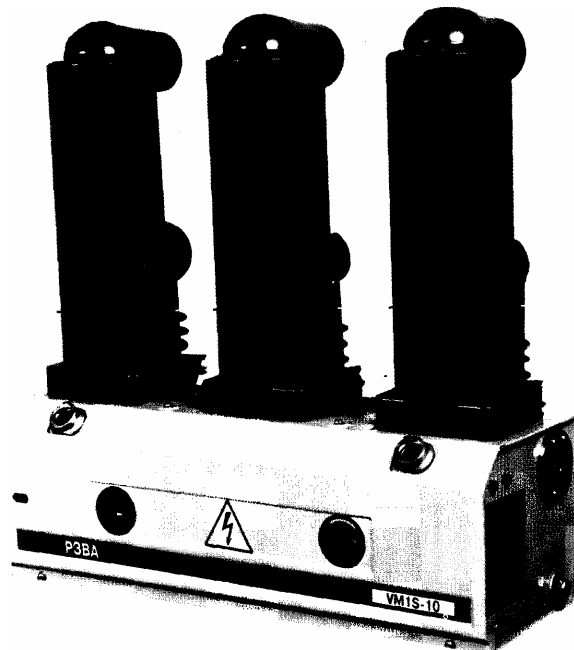


Рисунок 4.6- Загальний вигляд вимикача типу VM1S

Межі застосування - вимикачі використовуються для комплектних розподільних пристроїв нової розробки КУ-10Ц, КГ-6 та КГ-6С, для реконструкції КРП, які знаходяться в експлуатації. Нова конструкція вимикачів серії VM1S, BP дозволила досягнути порівняно з існуючими вакуумними вимикачами наступного:

- зменшені габарити і маса;
- зменшено струм живлення електромагніта при вмиканні вимикача;
- висока надійність та відсутність необхідності ремонтів протягом всього терміну експлуатації.

Вимикачі серій VM1S, BP виконані з урахуванням нових конструктивних рішень проектування та виробництва високовольтних вимикачів. Компонування рами і полюсів вимикача забезпечує зручність обслуговування та експлуатації, мінімальні масо-габаритні показники в

порівнянні з існуючими вимикачами даного типу. Використання електромагнітного привода принципово нової конструкції, а також універсальної плати управління вимикачем забезпечує високий рівень надійності і безпеки під час експлуатації та обслуговування. В конструкції вимикачів серій **VM1S** та **BP** відсутня вимикальна пружина, що зменшує енергоємність привода та підвищує його надійність.

Схемні рішення дозволяють без особливих зусиль використовувати вимикачі у відомих типових розробках комплектних розподільних пристроїв, як для схем з пружинним, так і для схем з електромагнітним приводами.

Основні технічні параметри вимикачів типу **VM1S** та **BP** і їх приводів подано в таблиці 4.1 та додатку Б.

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики вимикачів VM1S та BP

Тип вимикача	Од. виміру	VM1S	BP2		BP3*	BP6*
Номінальна напруга	кВ	10				6
Номінальний струм вимкнення	кА	20	20	31,5	31,5	40
Номінальний струм	А	630, 1000	1600	630.. 1600	3150, 2000	1600 3150
Механічний ресурс	Циклів ВУ	100 000	30000			
Комутаційний ресурс: - при номінальному струмі - при ном.струмі вимкнення	Циклів ВУ	50000 100	30000 40	30000 50		30000 40
Струм споживання кіл електромагніта при вмиканні	А, не більше	16	22	25		
Маса	кг	65-69	100	250	270	
Габарити:	мм					
висота		573	704	945	1232	
глибина		214	300	678	950	
ширина		564	530	700	630	

Примітка: * в стадії розробки

4.1.5 Вакуумні вимикачі типу ВВЭ-10

Вимикачі вакуумні типу **ВВЭ-10** з електромагнітним приводом (рис 4.7) призначені для роботи в шафах комплектних розподільних пристроїв внутрішнього встановлення на клас напруги 10 кВ трифазного змінного струму частотою 50 і 60 Гц.

Призначені для комутації електричних кіл в нормальних і аварійних режимах роботи в промислових та мережевих пристроях з частими комутаціями.

Вимикачі випускаються для потреб народного господарства у виконанні **УЗ** та поставок на експорт в країни з помірним (**УЗ**) та тропічним (**ТЗ**) кліматом.

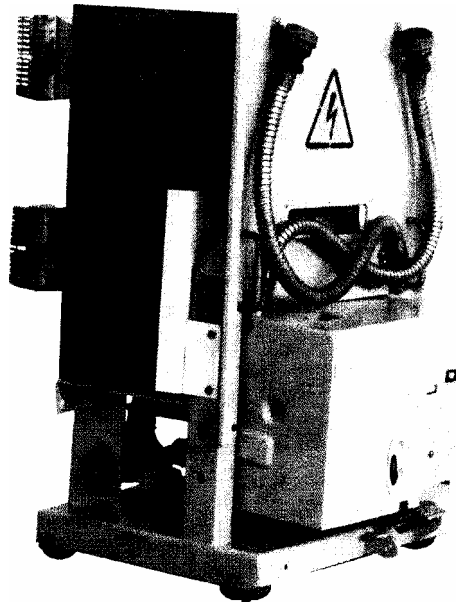


Рисунок 4.7- Загальний вигляд вимикача

типу **ВВЭ-10**

Технічна характеристика

Номінальний струм вимикача, А	630, 1000, 1600, 2500, 3150
Номінальний струм вимкнення, кА	20, 31.5, 40
Струм термічної стійкості, кА	20, 31.5, 40
Струм електродинамічної стійкості, кА	52, 80, 102
Габаритні розміри вимикача до 1600А, мм:	880x640x626
Номінальний струм, А	630, 1000
Маса, кг	140-170
Габаритні розміри вимикача понад 1600А, мм:	945x630x678
Номінальний струм, А	2000, 3150
Маса, кг	249-271

4.1.6 Універсальні модулі

Універсальні модулі - це новий підхід до модернізації викатних елементів КРП на 10 кВ з морально застарілими масляними вимикачами всіх типів, які вже вичерпали свій ресурс.

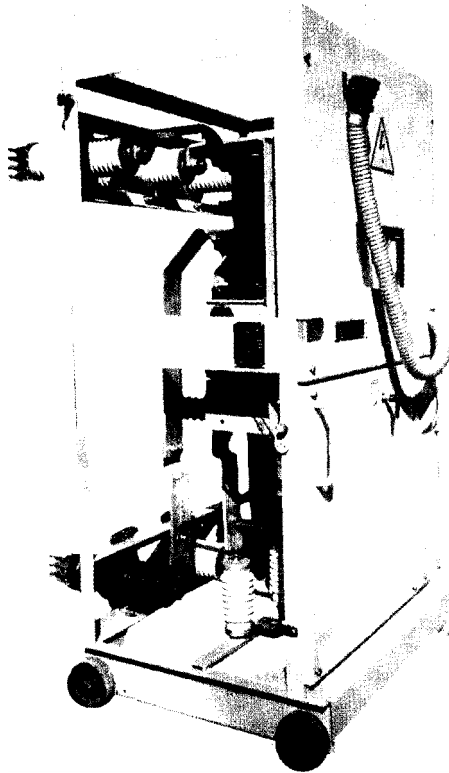


Рисунок 4.8 - Загальний вигляд універсального модуля

Універсальні модулі з вакуумними вимикачами серій **VM1S**, **BP** (рис. 4.8) відповідають ГОСТ 687-78 та всім технічним вимогам, що стосуються маломасляних вимикачів за умовами експлуатації, а за технічними характеристиками їх значно перевищують.

Використовуються для реконструкції викатних елементів в комплектних розподільних пристроях внутрішнього та зовнішнього встановлення на номінальну напругу 10 кВ трифазного змінного струму частоти 50 і 60 Гц для комутації електричних кіл при номінальних та аварійних режимах для систем з ізольованою нейтраллю.

Реконструкція висувних елементів за допомогою універсального модуля з вимикачами **VM1S**, **BP** та системами блокування організована за єдиним принципом. Такий модуль органічно замінює вимикачі маломасляних типів: **ВМП-10П**, **ВМП-10**, **ВМП-10К**, **ВМП-10Э** та **ВМГ-133** на викатних візках таких серій КРП: КРУ-2-10, К-37, К-ХІІ К-ХІІІ, К-ХХV, К-ХХVI, КР-10 і т.і.

Універсальні модулі - це монтажні комплекти, до складу яких входять:

- вимикачі вакуумні **VM1S**, **BP** встановлені на металевому каркасі зі всім необхідним набором струмопровідних шин, змонтованих на вимикачі елементів блокування, управління, контролю та захисту, які вмонтовані у привод вимикача або розміщені на металевому каркасі;

- пристрій релейного захисту, що має повний набір схем, який дозволяє реалізувати еквівалентну заміну будь-якої з схем, що застосовується в

приводах вимикачів, які замінюються у споживача;

- обмежувачі перенапруги (ОПН), що встановлюються на модулі.

Всі габаритні, встановлювальні та приєднувальні розміри модулів повністю відповідають розмірам вимикачів, що замінюються. Встановлення модуля на викатний елемент за всіма розробленими підприємством проектами виконується без зварювальних робіт.

Крім того, підприємство здійснює розробку проектів модернізації будь-яких шаф КРП за замовленням споживачів. При цьому замовник надає підприємству необхідну для розробки проекту документацію.

Для реконструкції шаф КРП, що знаходяться в експлуатації в електричних мережах, замовник може:

- замовити монтажний комплект (вказати тип КРП) та проводити реконструкцію своїми силами;
- запросити для показової реконструкції та навчання персоналу спеціалістів підприємства.

4.1.7 Викатні елементи з вакуумним вимикачем

типу ВВ(Э)-10

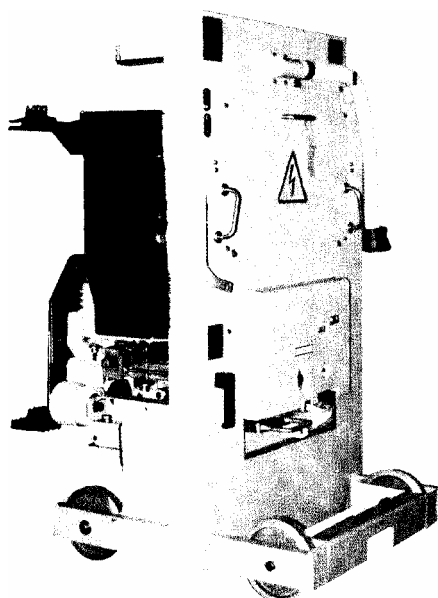


Рисунок 4.9 - Загальний вигляд
викатного елемента з вимикачем типу
ВВ(Э)-10

Викатні елементи з вимикачем вакуумним типу **ВВ(Э)-10** замінюють викатні елементи з вимикачами маломасляними типу **ВМП-10К**, **ВМП-10П**, **ВМПЕ-10**, **ВМПП-10** в шафах КРП серії К-ШУ, К-ХП, К-ХХVI, К-37, КРУ2-10 внутрішнього встановлення на номінальну напругу 10 кВ, номінальний струм 630 А, 1000 А, 1600 А, номінальний струм вимикання 20 і 31,5 кА.

Викатні елементи з вакуумними вимикачами типу **ВВ(Э)-10** можуть також виконуватися практично для

всіх серій існуючих КРП, які в даний час експлуатуються в електричних мережах.

Викатні елементи випускаються також для заміни електромагнітних вимикачів типу **ВЭ-6**, **ВЭ-6С** та **ВЭМ-6**, які вже відпрацювали свій ресурс в КРП серії КЭ-6, КЭ-6С або К-Х, відповідно. Викатні елементи виконуються з вимикачами високовольтними елегазовими типу **НА-3** фірми **ABB SACE SPA**, **Shneider Electric** (номінальні струми – 1600 А, 2000 А, 3150 А, номінальні струми вимкнення до 40 кА, номінальна напруга 6 кВ, привод пружинний) та іншими, наприклад - вакуумними вимикачами серії **BP6**.

При заміні застарілих викатних елементів новими, конструкції шаф КРП, схеми релейного захисту та блокування можуть залишатися незмінними, що дозволяє виконувати модернізацію КРП з найменшими витратами.

4.1.8 Загальнопідстанційний

пункт управління ЗПУ

Загальнопідстанційний пункт управління **ЗПУ** виконується збірним та є спорудою, яка складається з каркасу і полегшених профільних оцинкованих панелей з утеплювачем з теплоізоляційних (негорючих) матеріалів. **ЗПУ** має два виходи із східцями. В **ЗПУ** є приміщення для розміщення панелей релейного захисту та автоматики власних потреб типу **ПРР-1**, апаратури зв'язку і пристроїв телемеханіки, джерел оперативного струму, оперативно-виїздного персоналу. Всі приміщення мають освітлення, електричне опалення та вентиляцію. В холодну пору року в приміщенні автоматично підтримується температура не нижча +5° С. Кількість та тип панелей, вмонтованих в блоки **ЗПУ**, визначається замовником та залежить від функціонального призначення **ЗПУ**. В загальнопідстанційний пункт управління **ЗПУ** входять в комплект постачання комплектні трансформаторні підстанції типів **КТПБР-110/35/10(6)** і **КТПБР-М-35/10** . Загальнопідстанційний пункт складається з восьми блоків.

Габаритні розміри блоків, мм	
ширина	2050
глибина	5250
висота	3100

4.2 Комплектні розподільчі установки напругою 10 кВ

Комплектна розподільча установка (КРУ) — це сукупність електричних апаратів (комутаційних та вимірювальних апаратів, схем релейного захисту, автоматики та обліку електричної енергії) розподільної установки (РУ), змонтованих на заводі в умовах серійного масового виробництва в одній шафі. У порівнянні зі звичайними збірними розподільчими установками КРУ дозволяє прискорити введення нових потужностей, підвищити надійність енергосистем, підвищити безпеку обслуговування, автоматизувати процес виготовлення розподільчого пристрою та його монтажу. Тому КРУ є перспективним напрямком розвитку РУ всіх номінальних напруг. В даний час в Україні сучасні КРУ з вакуумними вимикачами виготовляють ряд підприємств, найпотужнішими з яких є Рівненський завод високовольтної апаратури - РЗВА та Севастопольський завод "ТАВРИДА- Електрик".

Компоновку типової комірки КРУ показано на рис.4.1. Основою КРУ є сталевий зварений каркас, до якого кріпляться основне електротехнічне обладнання. У середині комірка розбита на відсіки, у яких знаходяться елементи КРУ. У відсіку *А* установлюються збірні шини КРУ, закріплені на опорних ізоляторах. У відсіку *Б* розташовується вимикач *1* із приводом *2*. Відсік *В* містить вимірювальний трансформатор струму *4* і вихідний кабель. Приєднання вимикача *1* до збірних шин і трансформатора струму виконується за допомогою вставних роз'єднувачів з розетковими або пальцевими контактами. У відсіку *Д* розташовуються кабелі керування, а у відсіку *Г* — апарати систем релейного захисту і прилади для вимірювання параметрів електричної мережі.

Розбивка об'єму КРУ на комірки диктується тим, що можливі ушкодження окремих елементів повинні бути локалізовані, інакше при аварії можливий не тільки вихід з ладу всієї комірки, але й ушкодження усього КРУ.

При виникненні дуги між шинами з'являється електродинамічна сила, що зі швидкістю в сотні метрів у секунду переміщає дугу, при цьому дуга заподіює великі руйнування. Для того щоб перешкодити руху дуги, у даний час починає застосовуватися ошиновка з твердою ізоляцією із склоткані, просоченої епоксидною смолою. При наявності такої ізоляції дуга не може переміщатися уздовж шин.

Одним з основних елементів комірки є вимикач. Через те що перегородки між комірками виготовлені з листової сталі і мають невелику міцність, вибух вимикача може привести до руйнування не тільки комірки, але і всього КРУ. Зазвичай в КРУ застосовують маломасляні вимикачі, але останнім часом рекомендується застосовувати пожежонебезпечні вакуумні вимикачі. На рис. 4.10 показано КРУ з маломасляним вимикачем типу ВМП-10.

Гази, що виходять з вимикача при вимкненні електричної дуги,

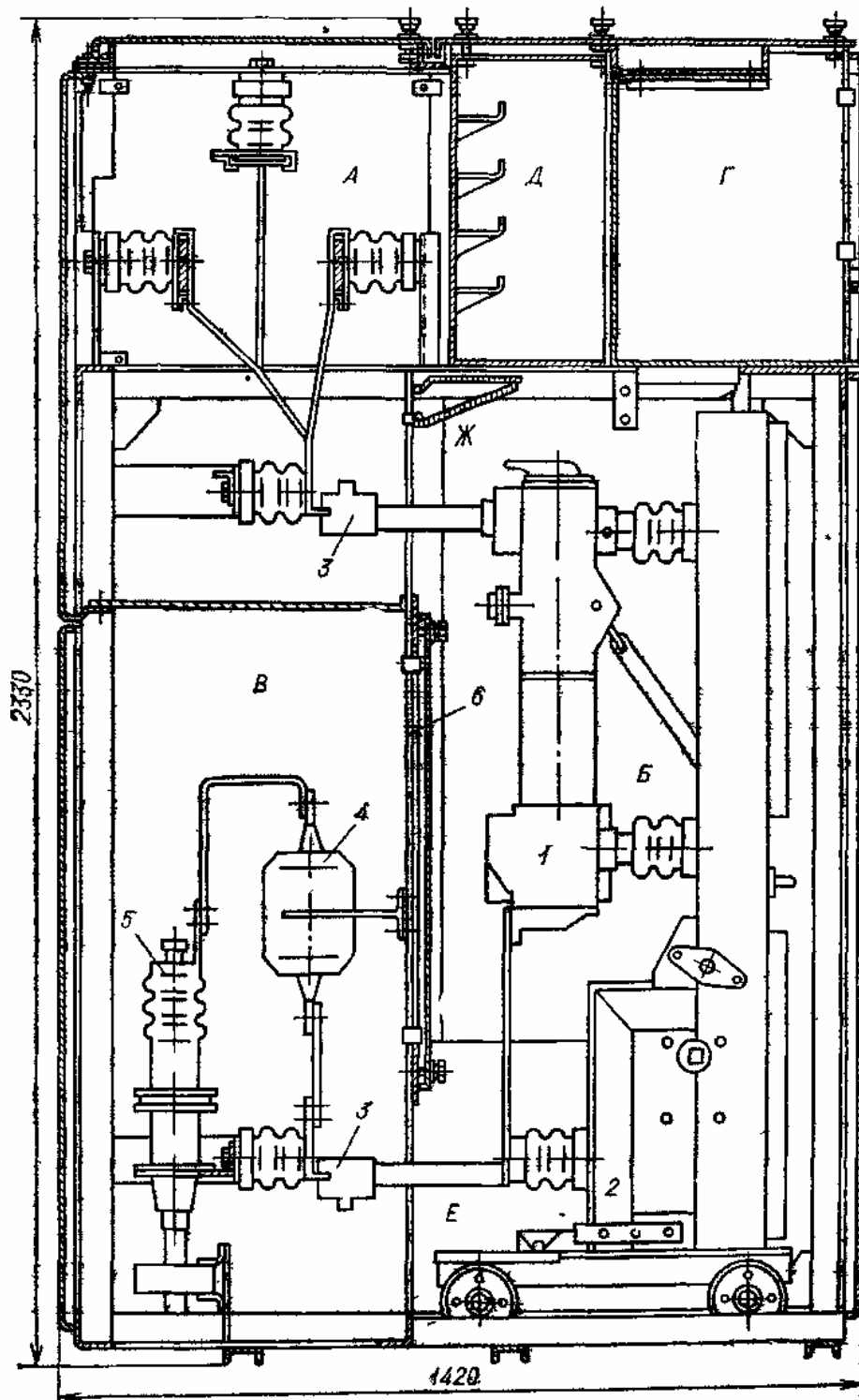


Рисунок 4.10 - КРУ напругою 10 кВ з вимикачем типу ВМПЭ

повинні мати вільний вихід з комірки, щоб уникнути можливого вибуху. При великій потужності вимкнення вихлопні гази повинні викидатися в

атмосферу за допомогою спеціальних газовідвідних каналів. Для зменшення небезпеки вибуху необхідно, щоб допоміжні контакти схеми керування вимикачем були винесені в інший відсік, тому що можливе запалення газу від іскри, що виникає при розриві ланцюга струму.

При потужностях вимкнення до 350 МВ·А раціональним є пружинний привод, вбудований у механізм самого вимикача. Через малу потужність двигуна такого привода (до 100 Вт) відпадає необхідність застосування потужного автономного джерела живлення (акумулятора).

В усіх сучасних КРУ вимикач монтується на візку, що дозволяє викочувати вимикач разом із приводом із КРУ для ревізії і ремонту. Компонування вимикача з вставними роз'єднувачами дозволяють легко здійснити їхнє блокування і безпечні умови роботи. Механізм викочування заблокований з механізмом вимикача. Викочування можливе тільки тоді, коли вимикач вимкнено.

Візок вимикача має три фіксованих положення: робоче, коли роз'єднувачі увімкнено, проміжне, коли роз'єднувачі вимкнено, але ланцюги вторинної комутації і керування приводом залишаються увімкненими, і третє, коли всі ланцюги вимкнено і вимикач може бути викочений з комірки.

При переведенні візка з робочого положення в проміжні металеві штори 6 закривають отвір Ж і Е в перегородці комірки і відокремлюють відсік Б вимикача від відсіків А та В, які можуть знаходитися під високою напругою.

При вкочуванні вимикача ці штори відкриваються. У проміжному положенні комірки механізм вимикача може бути випробуваний на відповідність заданим технічним характеристикам, тому що ланцюги керування залишаються увімкненими. У ремонтному положенні ланцюги керування вимкнено.

Звичайні роз'єднувачі рублячого типу у КРУ не знайшли застосування, тому їх замінено вставними роз'єднувачами. Рухомі пальцеві контакти 3 закріплені на твердих шинах, зв'язаних з виводами вимикача. Нерухомі контакти у вигляді масивних шин закріплені на спеціальних опорних ізоляторах. При вкочуванні візка пальці рухливих контактів охоплюють нерухомі і створюють надійний контакт. Ця конструкція забезпечує надійне комутування номінальних струмів до 3000 А.

Вимірювальні трансформатори струму 4, які вмонтовано в КРУ, мають литу ізоляцію. У сучасних КРУ масляні вимірювальні трансформатори напруги (ВТН) типу **НОМ**, **НТМИ** і інші також замінюються ВТН із литою ізоляцією типу **НОП**. Ці ВТН вибухо- та пожежобезпечні, мають менші габаритні розміри, не мають потреби в контролі і догляді за маслом.

Апаратура релейного захисту і вимірювальних приладів монтується на відкидній передній кришці відсіку Г. При ревізії і ремонті ця кришка відкривається і всі прилади стають легкодоступними. З'єднання приладів з

іншою схемою вторинної комутації здійснюється багатожилым гнучким кабелем.

У зв'язку зі створенням більш досконалого маломасляного вимикача типу ВКЭ-10 було розроблено нове малогабаритне КРУ типу КМ-1 (рис.4.11). Номінальна напруга КРУ даного типу - 10 кВ, номінальний струм — до 1600 А, номінальний струм вимкнення — до 31,5 кА.

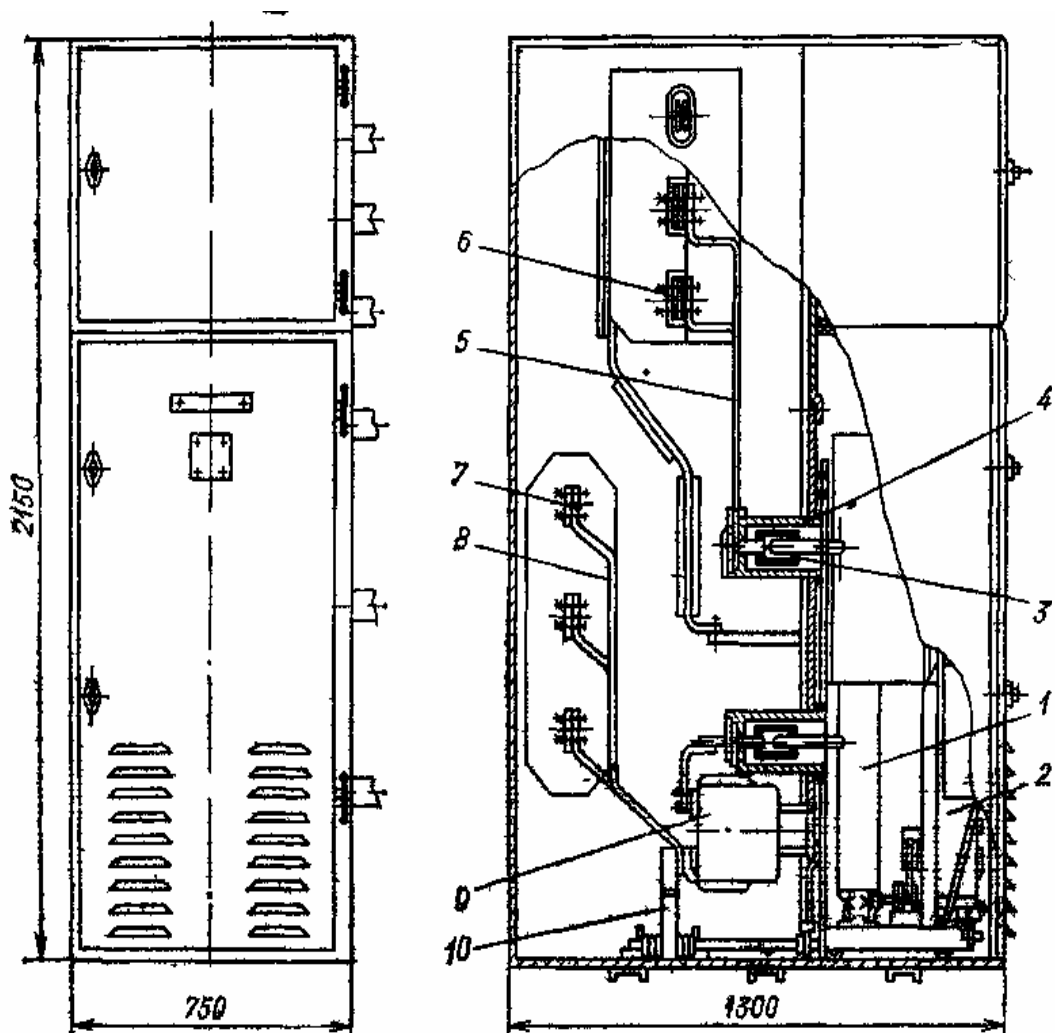


Рисунок 4.11 - КРУ напругою 10 кВ з вимикачем ВКЭ - 10

Вимикач ВКЭ-10 має пружинний привод 2. Увімкнення вимикача в схему здійснюється за допомогою вставних роз'єднувачів з розетковими контактами 3. Для підвищення електричної міцності і захисту контактів від пилу вони закриті ізоляційними втулками 4. Верхній контакт вимикача за допомогою шин 5 з'єднується зі збірними шинами 6. Нижній контакт вимикача з'єднується з лінійними шинами 7 за допомогою шин 8. Струм вимірюється за допомогою вимірювального трансформатора з литою ізоляцією. В комірках, що мають вимірювальні трансформатори напруги, також використовуються трансформатори з литою ізоляцією. Заземлення

лінійних шин при ремонті здійснюється заземлювачем 10.

Подальшим розвитком комплектних розподільчих установок напругою 6-10 кВ є застосування в них в якості комутаційного апарата сучасних вакуумних вимикачів, які виготовляються в Україні Севастопольським заводом “ТАВРИДА-Електрик” та Рівненським заводом високовольтної апаратури – РЗВА.

Малі розміри вакуумного вимикача дозволяють створити малогабаритні КРУ (рис. 4.12). В одній комірці може бути розміщено два вимикачі 1, що дає можливість скоротити об'єм КРУ майже в 2 рази. Номінальний струм вимкнення таких КРУ до 3000 А, струм вимкнення – до 31,5 кА. Великою перевагою вакуумних вимикачів є значний термін служби вимикача без ревізії (до 25 років) а також значне зниження експлуатаційних витрат.

Зменшення розмірів КРУ, значне підвищення надійності досягаються використанням твердої ізоляції збірних шин і всіх струмоведучих частин. Однак цей шлях зв'язаний зі значними труднощами, особливо при великих номінальних струмах КРУ.

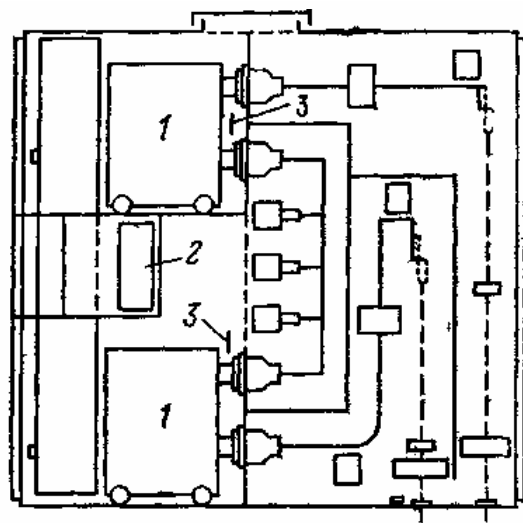


Рисунок 4.12 - КРУ з вакуумними вимикачами:

1 – вакуумний вимикач; 2 – апарати керування; 3 – захисні щити

4.3 Комутаційне обладнання КРУ

Одним з перспективних напрямків електроапаратобудування, що швидко розвивається, є створення нових типів вимикачів змінного струму високої напруги для КРУ, що відрізняються меншими габаритами і відповідають вимогам сучасної енергетики по комутаційній здібності і надійності. Такими вимикачами, дугогасильне середовище яких є більш ефективним в порівнянні з стисненим повітрям і маслом, є елегазове та вакуумне дугогасильне середовище.

Використання елегазу (SF₆ ТВ 6-02-1249-83) для цієї мети обумовлені його високими ізоляційними і дугогасильними властивостями, а також його пожежобезпечністю. Зокрема, вимогами МАГАТЕ заборонено застосування маломасляних вимикачів на АЕС, а "Програмою технічного переоснащення і модернізації електротехнічного обладнання

АЕС" передбачено застосування для власних потреб атомних електричних станцій тільки елегазових вимикачів з пружинним приводом.

Елегазові вимикачі для комплектних розподільчих установок напругою 10 кВ виготовляють ряд підприємств Росії, Німеччини, Франції.

Елегазові вимикачі характеризується:

- високою надійністю;
- компактністю і малою масою;
- тривалим терміном роботи без огляду (5 років або 5000 циклів увімкнення -вимкнення);
- високою швидкістю;
- надійним вимиканням малих індуктивних і ємнісних струмів без зрізу струму і виникнення перенапруги;
- відсутністю необхідності використання обмежувачів перенапруг (ОПН) з будь-якими типами навантаження.

4.3.1 Елегазовий вимикач типу ВГП 10

Елегазовий вимикач російського виробництва (рис. 4.13) типу **ВГП 10-40/3200 УХЛЗ** з електромашинним (пружинним) приводом є вкатним елементом ввідної або секційної комірки комплектних розподільчих установок (КРУ) типу К-105, які використовується для приймання і розподілу трифазного змінного струму з частотою 50 Гц і 60 Гц, напругою 6 (10) кВ для систем з ізольованою нейтраллю, що складаються з шаф К-104М на електричних станціях, підстанціях і в електроустановках промислових підприємств.

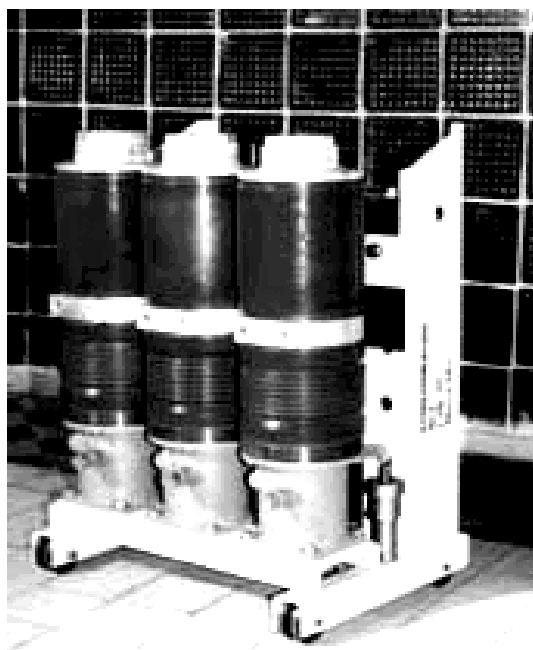


Рисунок 4.13 - Загальний вигляд елегазового вимикача **ВГП 10-40/3200 УХЛЗ**

До складу вимикача входять наступні основні складові частини:

- три елегазові дугогасильні пристрої (ДП) А 7204-М707;
- пружинний привод А 7204-М706;
- візок А 7204-М700.01.000.

Технічні характеристики вимикача **ВГП 10-40/3200 УХЛЗ** наведено в таблицях 4.2 та 4.3

4.4 Електричне обладнання КРУ концерна SIEMENS

4.2.1 Електромагнітні контактори

Повна програма контакторів, які виготовляє фірма **SIEMENS**, розрахована на потужності від 3 до 450 кВт. Контактори для двигунів типів **3RT** і **3TF5/6** повністю перекривають весь діапазон потужностей. Контактори підходять як для звичайних двигунів, так і для двигунів з великими пусковими струмами, для швидких комутаційних циклів і для експлуатації в важких умовах. Крім цього, пристрої мають дуже великий термін експлуатації, високу надійність, встановлюються легко і швидко. Пристрої не містять шкідливих речовин, наприклад, азбесту чи кадмію. Цим забезпечується оптимальний захист навколишнього середовища.

Допоміжний контактор SIRIUS 3RH 11 - це один з кращих у світі контактних пристроїв для систем керування. Міцність і надійність, простий монтаж без використання інструментів, можливість експлуатації в будь-яких умовах, найкраща сумісність з контроллерами – це новий чотиріполюсний допоміжний контактор **SIRIUS 3RH 11**. Пристрої можуть працювати як на постійній так і на змінній напрузі. Комутаційна спроможність – 6А при 230В. Що стосується гнучкості, то вставний допоміжний перемикач дозволяє легко збільшити кількість полюсів до 8. Крім того, в будь-якій комбінації гарантується необмежене примусове керування.

Для забезпечення надійності контактних поверхонь **3RH 11** має спеціальні рифлення контактних поверхонь – таким чином, зв'язок з контроллером завжди залишається оптимальним. Спеціальні з'єднувальні контактори (інтерфейси) для підключення вторинних кіл відрізняються низькою споживаною потужністю і широким великим діапазоном роботи котушок електромагніту. Це основні із багатьох важливих критеріїв надійного взаємозв'язку з системами управління.

Контактори серії 3TG10 - це беззвучні, недорогі, ефективні та придатні для різноманітного використання в електроустановках електричні апарати. **3TG10** – це практичне рішення для використання в серійній продукції, наприклад, в системах електричного обігрівання або гідромоторах. Невеликі контактори беззвучно працюють в різного роду розподільних пристроях промислових підприємств, а також в установках, що є в житлових приміщеннях лікарнях, готелях, офісах. Контактори можуть бути вмонтованими в корпус основного пристрою завдяки невеликій своїй глибині - всього 60 мм. Невелика ширина – 36 мм дозволяє встановлювати їх в розподільних чи комутаційних шафах промислових електроустановок. Контактори **3TG10** – це серійна продукція, яка широко використовується у всьому світі. Контактор може комутувати омичне навантаження до 20 А і двигун потужністю до 4 кВт.

За якістю і надійністю контактори серії **3TG10** задовольняють вимоги світових стандартів.

Силові вимикачі 3RV1 серії SIRIUS - струмообмежувальні силові вимикачі, призначені для систем комутації електричних кіл. Вони економічні, компактні, універсальні і надійні в діапазоні від струмів 0,16 А до 100 А. Чотири типорозміри вимикачів перекривають всі можливі варіанти встановлення в КРП. При змінній напрузі 400В **SIRIUS 3RV1** надійно вмикає та захищає двигуни потужністю до 45 кВт. В мережі змінного струму 400 В вони стійкі до коротких замикань. Гарантією надійності є вимикальна спроможність при короткому замиканні від 50 до 100 кА. При цьому попередні запобіжники в електричних колах можуть не використовуватись. Крім того, **SIRIUS 3RV1** забезпечує захист від перевантажень і короткого замикання або тільки від короткого замикання двигуни і трансформатори. Таким чином, споживацькі системи і двигуни завжди надійно захищені.

Запобіжникові вимикачі навантаження серії 3NP5 - це новий тип електричних апаратів, який має переважне застосування в промисловості. Ці вимикачі типорозмірів від **N100** (струм комутації - 160А) до **NH100** (630 А) мають максимальну надійність і різнопланове призначення, можуть застосовуватись навіть при самих жорстких вимогах до електричного обладнання. Вони мають надзвичайно високу комутаційну здатність, повне розділення запобіжників, дугогасильні камери з деіонною решіткою, контролюють спрацювання запобіжників електронного типу або силового вимикача.

Запобіжникові вимикачі навантаження серії 3NP35 – це невеликі електричні апарати на струми до 160 А. При конструкційній ширині лише 89 мм роз'єднувачі **3NP35** є найменшими у своєму класі. Це єдиний пристрій типорозміру **NH100** до 160 А для плавких вставок шириною 21 мм. Вони мають інтегровані кріплення для монтажних плат і 35-міліметрових профільних шин, існують варіанти виконання з адаптерами для 40- і 60- міліметрових систем збірних шин. Крім того, вимикачі мають економічне підключення без кабельного наконечника, захист від дотику обслуговуючого персоналу, безпечні роз'єми і різні види додаткового приладдя. Все це дозволяє найкращим чином використовувати їх потужність і розміри в розподільних щитах та комутаційних шафах при монтажі в приміщенні і на промислових об'єктах.

Головні і аварійні вимикачі фірми SIEMENS виконуються з переднім чи нижнім кріпленням, з кріпленням до шин на розподільному щиті, можуть виконуватись інтегрованими в ізоляційний матеріал чи в литий корпус електричного обладнання а також для обертового приводу будь-якого виду технологічного процесу. Вони задовольняють всі можливі функціональні варіанти: прості вимикачі, перемикачі, ступеневі перемикачі для роботи за схемою зірки, трикутника і реверсивні

перемикачі; перемикачі з вимірюванням струму і напруги та багатьох інших стандартних серій включно до 12-ти ступеневих вимикачів.

Нові реле часу серії **SIRIUS 3RP10** та **3RP15** розраховані на довгу бездоганну роботу як в монофункціональному режимі з комбінованою напругою змінного та постійного струмів на 24 В, 110-127 В або 200-240В, так і в багатофункціональному режимі з великим діапазоном напруг від 24 до 240 В. Електронний захист від спотворення сигналу і руйнування дозволяє використовувати їх в поєднанні з будь-якими пристроями, навіть безпосередньо поряд з ненавантаженим контактором.

Комутаційна спроможність складає 3 А для змінної напруги 230 В і 1А для постійної напруги 24 В. Реле перевірені у відповідності зі стандартом ІЕС 947-5-1, укомплектовані перемикачем часу від 0,05с до 100 годин, надійні і розраховані на довготривалий режим експлуатації до 30 мільйонів механічних циклів або 100000 електричних комутаційних циклів з допоміжним захисним навантаженням.

Реле захисту від перевантажень виготовляються з термічною затримкою та електронними. Для трифазних двигунів пропонуються рішення, які задовольняють усі вимоги до захисту. Реле захисту від перевантажень серії **3RU** спрацьовує з термічною затримкою за біметалевим принципом. Точність спрацьовування відповідає вимогам DIN і ІЕС. Електронні реле **3RB12** мають плавний регульований поріг спрацювання і додатковий термісторний захист від перегрівання для повного захисту двигуна та попереднього попередження про перевантаження. Реле, які мають однакові монтажні розміри, працюють в діапазоні струмів від 0,25А до 820А. Для локалізації струму замикання на землю можуть використовуватись внутрішній і зовнішній трансформатори.

При всьому цьому, дані реле компактні і мають підвищену безпеку та простий дизайн, що дозволяє економити місце в комутаційній шафі та комірках КРУ.

Таблиця 4.2 Технічні характеристики вимикача ВГП 10-40/3200 УХЛЗ

Параметр	Значення
Номинальна напруга, кВ	6(10)
Найбільша робоча напруга, кВ	7,2(12)
Номинальний струм вимикання, кА	40(31,5)
Номинальний струм, А	3200
Струм вимикання (при 50 Гц), кА:	
найбільший пік	102
початкове діюче значення періодичної складової	40
Час протікання струму термічної стійкості, с	3
Частота, Гц	50(60)
Струм електродинамічної стійкості, найбільший пік, кА	128
Нормована безструмова пауза при АПВ, с	0,3
Повний час вимикання, с, не більше	0,055
Абсолютний тиск елегазу в дугогасильних пристроях, МПа (кгс/см ²)	0,4(4)
Витікання елегазу з внутрішньої порожнини вимикача в рік, % від маси, не більше	1
Номинальна напруга електродвигуна для заводу робочої пружини, В	220
Габаритні розміри, мм, не більше:	
довжина	800
ширина	740
висота	1200
Маса вимикача, кг, не більше	160

Таблиця 4.3 Експлуатаційні характеристики вимикача ВГП 10

Параметр	Значення
Кліматичне виконання	"УХЛ"
Категорія розміщення	3-3,1
Температура навколишнього середовища	від -25°C до +40°C
Вологість	від 80% (при +15°C) до 98% (при +25°C)
Термін служби, років, не менше	30
Напрацювання на відмову, год., не менше	40000
Комутаційна зносостійкість при номінальному струмі вимкнення 40 кА, циклів	25
Механічна зносостійкість, циклів	5000
Сейсмостійкість у відп. з "Нормами проектування сейсмостійких атомних станцій" ПНАГ-5-006-87	до 9 балів

4.3.2 Елегазові вимикачі серії HD4 концерн АВВ

Концерн **ABB** розробив і виробляє нову серію елегазових вимикачів **HD4** з пружинними приводами і номінальним абсолютним тиском елегазу 380 кПа.

Розпочато випуск вимикачів 10 кВ серії **HD4/GT** на номінальні струми 630-3150 А і номінальні струми вимкнення 20-40 кА, які мають



Рисунок 4.14 - Загальний вигляд елегазового вимикача **HD4** з пружинними приводами

сертифікат відповідності ДЕСТ. Діапазон робочих значень температури навколишнього повітря від +55 до -25°C. Сейсмостійкість – 9 балів за шкалою Ріхтера. Будь-які значення струму вимикаються вимикачами без зрізів, повторних пробоїв і комутаційних перенапруг.

При нульовому відносному тиску елегазу вимикач витримує найбільшу робочу напругу і вимикає до 30% від номінального струму вимикача. **HD4** компактні, мають високий механічний ресурс і

високу надійністю, що підтверджено випробуваннями (10000 і 20000 циклів вимкнення-увімкнення без навантаження). Вони здатні вимикати до 30 разів струми КЗ в діапазоні 60-100% номінального струму вимкнення (25 разів струм 40 кА) і до 10000 разів – номінальні струми. Технічні параметри наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Номінальні параметри вимикача HD4

Напруга, кВ	Номінальний струм, А	Номінальний струм вимкнення, кА	Випробувальна напруга (50 Гц, 1 хв.), кВ	Випробувальна напруга – імпульс, кВ
12	630-3600	16-50	42	75
17,5	630-3600	16-50	42	95
24	630-3600	16-40	50	125
36	630-2500	16-31,5	70	170
40,5	1250-2500	25-31.5	95	185

Трикартне випробування кожного полюсного елемента вимикача **HD4** в процесі виготовлення на відсутність витоків елегазу забезпечує герметичність вимикача на протязі всього терміну служби.

В експлуатацію вже поставлені також перші шафи комплектних розподільних установок серії **K-104M** з цими вимикачами

4.3.3 Вакуумні вимикачі VD4 і VM1 концерну ABB

Концерн **ABB** виготовляє вакуумні вимикачі **VD4** з пружинними приводами і **VM1** з електромагнітними приводами. При цьому використовують одні й ті самі полюси, тому вимикачі мають однаковий вигляд (рис. 4-15).

Виготовляються вимикачі **VD4** напругою 10 кВ на номінальні струми 630-2500 А і номінальні струми вимкнення до 40 кА за ліцензією **ABB** в Російській федерації в ВАТ “Московский завод “Электроцит” де підготовлено до випуску на ринок і **КРУ** серії **K-104M** і **K-105** з цими вимикачами. Інші типи вакуумних вимикачів **VD4** і **VM1** також можуть бути поставлені за замовленнями споживачів концерном **ABB**.

Полюси вимикачів на номінальний струм до 2500 А виготовляються за новою технологією. Деталі полюсів, що знаходяться під напругою, залиті в епоксидну смолу і утворюють єдине ціле з корпусом полюсу. Вакуумні дугогасильні камери (ДК) захищені від механічних і інших зовнішніх впливів. Положення ДК в полюсі визначено при виготовленні полюса і не потребує регулювання при зборці вимикача.

Забезпечується стабільність перехідного опору верхнього електричного з'єднання ДК з струмовідводом полюса, тому що воно захищено від окислювання. Діапазон робочих температур навколишнього повітря від +40 до -25°C.



Рисунок 4.15 - Загальний вигляд вакуумного вимикача **VD4**

Механічний і комутаційний ресурси VD4 при номінальному струмі дорівнюють 15000-30000 циклам вимкнення-увімкнення (ВУ). Механічний ресурс привода вимикача VM1 сягає 100000 циклів ВУ і обмежується механічною стійкістю сильфона ДК.

Комутаційний ресурс при номінальному струмі вимкнення вакуумних вимикачів в залежності від струму складає 50-100 циклів ВУ. Схеми управління вимикачів уніфіковані для змінного і постійного струму.

Технічні параметри вакуумних вимикачів наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 Номінальні параметри вимикачів VD4 та VM1

Напруга, кВ	Номінальний струм, А		Номінальний струм вимикання, кА		Випробув альна напруга (50 Гц, 1хв), кВ	Випробуваль на напруга – імпульс, кВ
	VD4	VM1	VD4	VM1		
12	до	до	до 63	до 50	42	75
17,5	4000	3150	до 40	до 31.5	38	95
24	до 2500	до 2000	до 25	до 25	50	125
36	до	-	до 40	-	70	170
40,5	3150	-	до 31,5	-	80	190

Габаритні і приєднувальні розміри вимикачів на однакові параметри різного типу одні й ті самі. Всі типи вимикачів мають механічні блокування для захисту від неправильних операцій і пристрої захисту від багатократних спрацювань. Велика кількість варіантів виконання вимикачів дозволяє замовити вимикач будь-якого типу з різними приводами та різних типових комплектних розподільчих установок з конфігурацією вторинних кіл за замовленням споживача.

В Україні, як уже розповідалось вище, подібного типу вимикачі та комплектні розподільчі установки виготовляються теж на двох підприємствах – " ТАВРИДА-Електрик" в місті Севастополі та " РЗВА"- у місті Рівному.

Обслуговування вимикачів практично зведено до проведення мінімального об'єму робіт, що виконуються в порядку поточного обслуговування комплектної розподільчої установки.

Термін роботи даного типу вимикачів до списання складає не менше 25 років.

Список літератури

1. Таев И.С. Электрические аппараты, общая теория. - М.: Энергия, 1977. - 270 с.
2. Залесский А.М., Кукеков Г.А. Тепловые расчеты электрических аппаратов. Л. - : Энергия , 1967 . - 380 с.
3. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 1974. – 544 с.
4. Чунихин А. А. Электрические аппараты . - М.: Энергия, 1975. – 567 с.
5. Электрическая часть станций и подстанций / Под ред. А. А. Васильева. М. - : Энергия, 1980. – 608 с.
6. К. Регаллер, Р. Рейхарт. Физика дуги и переходные процессы в сетях / Под ред. К. Реггаллера . - М.: Энергоиздат, 1981. – 345 с.
7. Ульянов С.А. Электрические переходные процессы в электрических системах. - М.: Энергия, 1970. – 350 с.
8. Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов / А. А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др. ; Под ред. А.А. Васильева. М. - : Энергоатомиздат, 1990. – 567 с.
9. Родштейн Л.А. Электрические аппараты. 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 304 с.
10. Рожкова Л. Д. , Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций : Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
11. Инструкция по выбору , установке и эксплуатации дугогасящих катушек. – М.: Энергия, 1971. – 104 с.
12. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 года \ Пер. с англ. Под ред. Ю.Н. Старшинова. – М.: Энергия, 1980. – 256 с.
13. Кузнецов Ю.С. Аппараты распределения электрической энергии напряжением до 1000 В. - М.: Энергия, 1970. – 544 с.
14. Чунихин А.А., Жаворонков М.А. Аппараты высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с..