

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту
ступінь вищої освіти магістр

галузі знань 14 Електрична інженерія

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему Аналіз та оптимізація контактної системи
елегазового вимикача 110 кВ

Виконав: студент групи ЕЕ-22дм
Бушний Д.В.
(прізвище, та ініціали)



(підпис)

Керівник
доц. Романченко Ю. А.
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри
доц. Руднев Є. С.
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Рецензент
доц. Шумакова Т.О.
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Київ 2023 р.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії

Кафедра Електричної інженерії

Ступінь вищої освіти магістр

Галузь знань 14 Електрична інженерія
(шифр і назва)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІ

доц. Руднев Є. С.

“ ” 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Бушному Данилу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Аналіз та оптимізація контактної системи

елегазового вимикача 110 кВ

керівник проекту доц. Романченко Ю. А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23.10.2023 року № 564/15.23-С

2. Строк подання студентом проекту 08.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту Види контактних з'єднань елегазового вимикача.
Конструкція вимикача.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз існуючих контактних систем елегазових вимикачів; розрахунок і оцінка режиму роботи головних контактів; модернізація конструкції головних контактів; розрахунок електричного поля в дугогасильному пристрої; тепловий розрахунок при струмі термічної стійкості $I=40$ кА; розрахунок електродинамічних зусиль

5. Перелік графічного матеріалу у відповідності із завданням: презентація з основними схемами, кресленнями, таблицями Принципова схема головних і дугогасильних контактів апарату. Контактна система елегазового вимикача. Схема роботи вимикача.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1-6	доц. Романченко Ю.А.		

7. Дата видачі завдання 16.10.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	20.10.23	
2	Аналіз існуючих контактних систем елегазових вимикачів, постановка завдання роботи	28.10.23	
3	Елегаз як основа створення сучасних комутаційних апаратів і розподільних пристроїв	03.11.23	
4	Конструкція вимикача	10.11.23	
5	Розрахунок електричного поля	17.11.23	
6	Тепловий розрахунок режиму роботи контактної системи	24.11.23	
7	Розрахунок електродинамічних зусиль	01.12.23	
8	Оформлення магістерської роботи	08.12.23	

Студент



(підпис)

Бушний Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Романченко Ю. А.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 96 стор., 35 рис., 11 табл., 17 бібл. найм.

Запропонована модернізація конструкції елегазового вимикача на 110 кВ. Розглянуто переваги контактів Multi-contact, а так само досліджені їх основні види. Виконані основні перевірочні розрахунки конструкції контактів Multilam. В результаті розрахунку режиму роботи, було визначено прийнятний режим. Проведено розрахунок електричного поля в дугогасильному пристрої і в горловині введення. На основі розрахунку електричного поля було знайдено оптимальне положення контактних пластин LA-CUDD в рухомому головному контакті. Показано, що запропонована модернізація не припускає перевищень по допустимому нагріву для контактів і контактних точок в режимі протікання номінального струму і струму термічної стійкості. Розрахований допустимий рівень електродинамічних зусиль в контактній системі.

Ключові слова: елегазовий автоматичний вимикач, модернізація конструкції, дугогасильний пристрій, контактна система, оптимальне положення, режим роботи головних контактів, електродинамічні зусилля, припустимий рівень

ABSTRACT

The explanatory note contains 96 pages, 35 figures, 12 tables, 17 bibl. nam.

The modernization of the 110 kV SF6 circuit breaker design is proposed. The advantages of Multi-contact contacts are considered, as well as their main types are investigated. The main verification calculations of the Multilam contact design have been performed. As a result of the calculation of the operating mode, an acceptable mode was determined. The calculation of the electric field in the arc suppression device and in the neck of the input. Based on the calculation of the electric field, the optimal position of the LA-CUDD contact plates in the movable main contact was found. It is shown that the proposed modernization does not involve exceeding the allowable heating for contacts and contact points in the mode of flow of rated current and thermal stability current. The allowable level of electrodynamic forces in the contact system is calculated.

Keywords: SF6 circuit breaker, structural modernization, arc suppression device, contact system, optimal position, operating mode of main contacts, electrodynamic forces, allowable level

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	8
Розділ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНТАКТНИХ СИСТЕМ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ, ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ РОБОТИ	11
1.1. Типи контактних з'єднань.....	12
1.2. Головні і дугогасильні контакти.....	13
1.3. Види контактних з'єднань елегазового вимикача.....	16
1.4. Умови роботи контактів.....	22
1.5. Контактна система Multi-contact.....	27
1.6. Постановка задачі.....	33
Розділ 2. ЕЛЕГАЗ ЯК ОСНОВА СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ І РОЗПОДІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....	34
2.1. Загальні відомості щодо елегазу.....	34
2.2. Основні характеристики елегазу.....	35
2.3. Можливі домішки у складі елегазу.....	37
2.4. Продукти розпаду елегазу.....	38
2.5. Джерела утворення домішок у елегазі.....	39
2.6. Вплив елегазу на атмосферу.....	42
Розділ 3. КОНСТРУКЦІЯ ВИМИКАЧА.....	44
3.1. Розробка конструкції вимикача.....	44
3.2. Модернізація конструкції головних контактів.....	51
3.3. Конструкція дугогасильних контактів.....	55
3.4. Методика розрахунку і оцінка режиму роботи головних контактів...	56
Розділ 4. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ.....	67
4.1. Розрахунок електричного поля в дугогасильному пристрої.....	67

4.2. Визначення оптимального положення контактів Multilam в рухомому головному контакті.....	73
Розділ 5. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ РОБОТИ КОНТАКТНОЇ СИСТЕМИ.....	81
5.1. Визначення теплового режиму контактів при номінальному струмі	81
5.2. Тепловий розрахунок при струмі термічної стійкості $I = 40$ кА.....	84
Розділ 6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ.....	88
ВИСНОВКИ.....	92
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	94
ДОДАТОК А.....	96

ВСТУП

Головна задача електроенергетичної системи (ЕЕС) – це забезпечення надійного та стійкого функціонування приєднаних до електричних станцій та підстанцій споживачів електроенергії.

На даний момент стан ЕЕС України характеризується значною кількістю застарілого обладнання. Це стосується не лише генераторного обладнання, а й комутаційного. Наразі відбувається повне заміщення масляних вимикачів на повітряні та елегазові. Повітряні вимикачі довели свою надійність, але їм на зміну приходять елегазові вимикачі, які мають деякі недоліки.

Моделювання технічного стану високовольтних вимикачів це перспективна ідея, завдяки якій можливо зрозуміти стан вимикача не лише, коли настає ремонт цього вимикача чи його відмова, а попередити відмову вимикача завчасно. Крім цього завдяки статистичним даним та визначенню технічного стану можливо вдосконалити комутаційне обладнання ЕЕС України.

Наразі ЕЕС велика кількість обладнання з вичерпаним терміном служби, це сприяє збільшенню кількості аварійних ситуацій. Існуюча система ремонтного та технічного обслуговування не задовольняє потреби, оскільки регламент планових ремонтів спирається лише на комутаційний ресурс. Визначення лише кількості комутацій не дає розуміння про стан комутаційного обладнання. Через це зношене обладнання після ремонту може вийти з ладу до наступного планового ремонту.

Аналіз стану комутаційного обладнання повинен опиратися не лише на виявлення явних дефектів, але й визначати ресурс самого обладнання. Технічне діагностування повинно оцінювати також стан функціональних вузлів обладнання, причому повинен робитись прогноз залишкового ресурсу для вузлів агрегату. Для складного обладнання, яке складається з багатьох вузлів та

конструкцій, потрібно визначати стан окремо, з подальшим розрахуванням стану, спираючись на отримані дані. Кожен елемент системи обладнання може мати свій спрацьований ресурс, відмінний від інших 14 елементів. Не відновлювальна відмова передбачає повний технічний збій не лише вузла, а й комутаційного обладнання.

Суттєвий вплив на надійність обладнання може давати не повне відновлення ресурсу кожного з вузлів. Час відновлення вузла може залежати від багатьох факторів і для кожного вузла він буде різним. Тому потрібно враховувати це для моделювання технічного стану високовольтних вимикачів. Розробка моделі оцінки стану вимикачів потребує комплексного використання алгоритмів нечіткої логіки, як єдиної можливої альтернативи алгебраїчним методам.

Дослідження, розробки та впровадження в експлуатацію вимикачів високої напруги як силового комутаційного обладнання почалися з масляних і маломасляних вимикачів (1920-1950-ті рр.), Далі в експлуатації з'явилися досконаліші повітряні вимикачі (1940-1960-ті рр.), потім – вакуумні і елегазові вимикачі.

Високовольтні вимикачі (ВВ), в яких використовується елегаз (SF_6) В якості ізоляційного і дугогасильного середовища в даний час стають все поширенішими завдяки більш високим показникам комутаційного і механічного ресурсів, відключаючій здібності, надійності і компактності в порівнянні з повітряними, масляними та маломасляними вимикачами. Використання елегазу як дугогасильного середовища має як переваги, так і недоліки.

Переваги:

1. Вибухо- і пожежна безпека;
2. Висока відключаюча здібність при особливо важких умовах відключення (відключення невидалених коротких замикань (НКЗ) і ін.);
3. Надійне відключення ємнісних струмів холостих ліній;
4. Малий знос дугогасильних контактів;

5. Легший доступ до дугогасителів і простота їх ревізії в порівнянні з масляними вимикачами;

6. Відносно мала вага (в порівнянні з баковими масляними вимикачами);

Недоліки:

1. Необхідність в наявності пристроїв для наповнення, перекачування і очищення SF₆;

2. Відносна складність конструкції ряду деталей і вузлів, а також необхідність застосування високонадійних ущільнень;

3. Відносно висока вартість дугогасильного середовища і вимикача в цілому.

Високовольтні вимикачі – ключова ланка енергетичної системи. Від них залежить надійність енергопостачання споживачів, і функціональна безпека роботи енергосистеми.

З цих причин вдосконалення конструкції і підвищення надійнісних і техніко-економічних параметрів високовольтних вимикачів було і залишається актуальним завданням сучасного електроапаратобудування.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНТАКТНИХ СИСТЕМ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РОБОТИ

Контактна система – важливий елемент високовольтного вимикача. Від її роботи залежить надійність роботи апарату в цілому, тому і завдання її модернізації є актуальною. Елегазовий вимикач представлений на рис.1.1, де показані всі його складові частини:

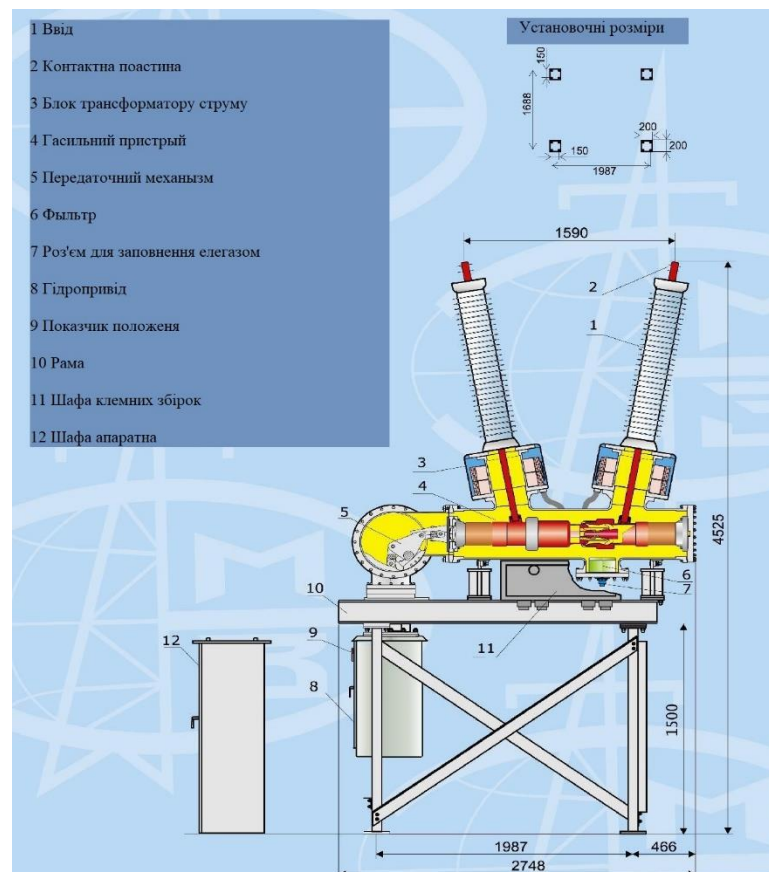


Рисунок 1.1 – Розріз елегазового вимикача

Підключення елегазового вимикача відбувається на введенні 1 через контактну пластину 2. Блок трансформаторів струму 3 служить для

вимірювання параметрів ланцюга. Гасительній пристрій 4 призначений для гасіння електричної дуги і приводиться в рух гідроприводом 8 через передавальний механізм 5. Так само на шафі гідроприводу передбачений показчик положення 9 для оцінки положення вимикача. Для обслуговування апарату обладнано роз'ємом для заповнення елегазом 7 і фільтр 6. Сам вимикач розташовується на рамі 10, до якої так само кріпиться шафа клемних збірок 11 для зовнішніх підключень. Апаратна шафа 12 розташовується окремо і служить для розміщення в ньому керуючої апаратури.

1.1 Типи контактних з'єднань

Контактна система елегазового вимикача складається в більшості випадків з пари або декількох пар рухомих і нерухомих елементів, при замиканні яких утворюється електричний ланцюг.

Розрізняють дві групи контактних з'єднань: нерухомі і рухомі. Нерухомі контактні з'єднання служать для жорсткого приєднання внутрішніх струмоведучих частин і зовнішнього приєднання з'єднувальних проводів до апарата. Під час роботи апарату такі сполуки не роз'єднує. Рухливі контактні з'єднання мають один або кілька рухомих контактів, які в процесі роботи, стикаючись з нерухомими контактами, створюють електричний ланцюг. Залежно від характеру зіткнення елементів контактного з'єднання контакти поділяють на поверхневі (площинні), лінійні і точкові. У точкових контакт відбувається в одній точці. При цьому контактні натискання невеликі і для зменшення опору контактів застосовують дорогоцінні метали, що не утворюють окису. В лінійних ж умовне контактування відбувається по лінії. В цьому випадку можна створити велику ступінь натискання. Ці контакти виконуються так, що циліндр під час контактування переміщається по площини і оксиди стираються. Для цих контактів застосовують мідь.

Поверхневі контакти застосовуються при великих струмах, створюється висока ступінь натискання, завдяки чому в деяких місцях поверхня очищається від оксидів.

1.2 Головні і дугогасильні контакти

В сучасному апаратобудуванні використання головних і дугогасильних контактів в елегазовім вимикачі є обов'язковим. Схема включення головних і дугогасильних контактів показана на рис.1.2, де дугогасильні контакти 1 включені паралельно головним контактам 2. Головні контакти розраховують на тривалий перебіг робочого струму, а дугогасильні - на короткочасне протікання струму, але їх контактні поверхні виконують з тугоплавкого матеріалу. При включенні спочатку замикаються дугогасильні контакти, і електрична дуга, що виникає при відскоку цих контактів, може викликати деякий їх підгар. Потім вмикаються головні контакти, шунтуючи дугогасильні.

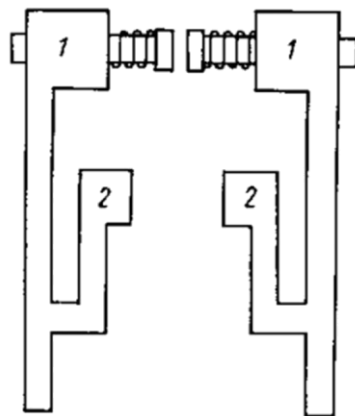


Рисунок 1.2 – Принципова схема головних і дугогасильних контактів апарату

При відключенні спочатку розмикаються головні контакти, але ланцюг залишається замкненим через дугогасильні контакти, і тільки після повного відключення головних контактів починають розмикатися дугогасильні, розриваючи електричний ланцюг. Таким чином, при включенні і при відключенні апарату електричний ланцюг створюється і розривається дугогасильними контактами, на яких виникає електрична дуга і утворюються

підгар і окисні плівки. У всіх випадках електричної дуги між головними контактами не виникає, і вони стикаються чистими поверхнями. Зовнішній вигляд типової контактної системи представлений на рис.1.3.

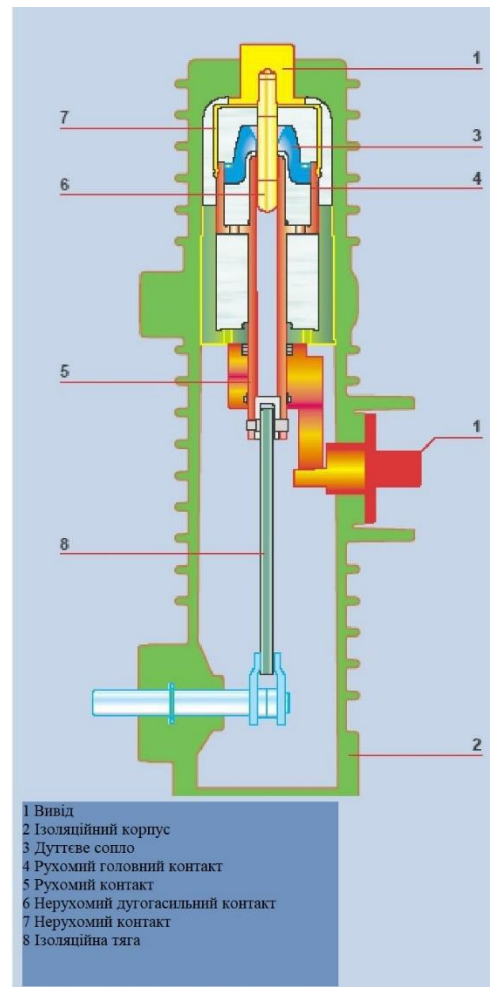


Рисунок 1.3 – Контактна система елегазового вимикача

Розглянемо конструкцію елегазового вимикача VD4 виробництва АВВ (Рис.1.3). При включеному стані елегазового вимикача струм тече через вивід 1. При комутації спочатку відбувається перерозподіл струму від рухомого головного контакту 4 і нерухомого контакту 7 на нерухомий дугогасильний контакт 6 і рухливий контакт 5. Потім ізоляційна тяга 8 починає віддаляти дугогасильні контакти один від одного, в результаті чого між ними починає горіти дуга. Дугтве сопло 3 забезпечує охолодження і видування дугової плазми елегазом під високим тиском. Вся контактна система розташовується в ізоляційному корпусі 2.

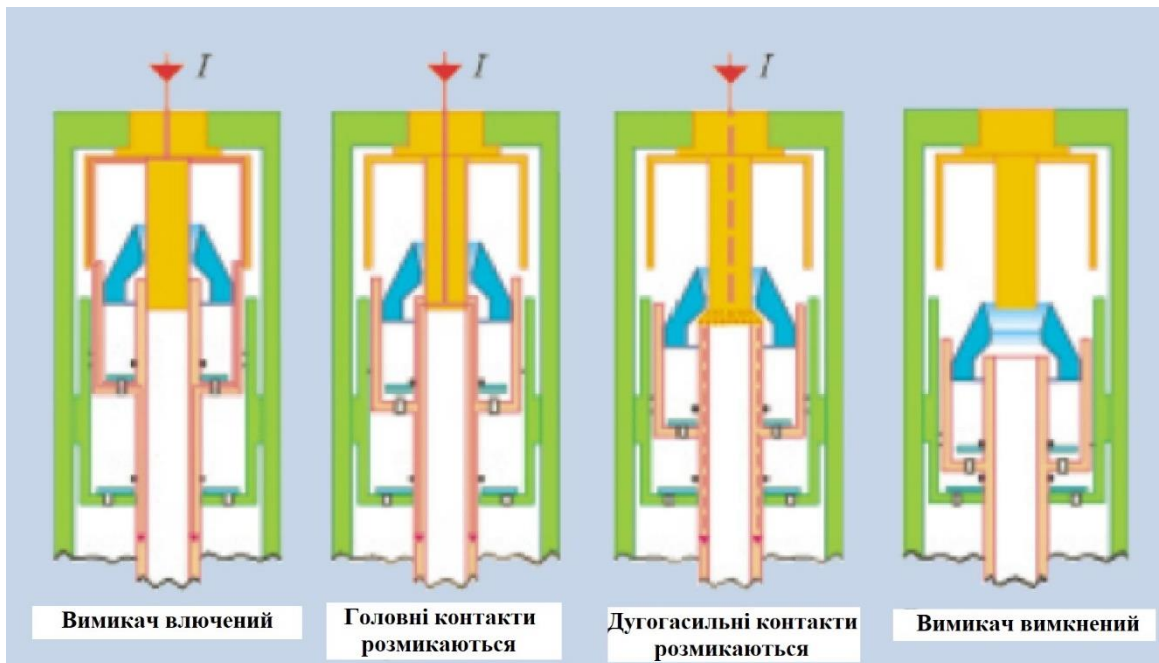


Рисунок 1.4 – Схема роботи вимикача

Схему роботи контактної системи вимикача при відключенні можна розділити на три етапи:

1. Розмикання головних контактів.

Запалювання дуги не відбувається, так струм протікає через дугогасильні контакти. Рухаючись вниз, рухомий елемент стискає газ в нижній камері. Стиснутий газ перетікає з нижньої камери в верхню, зрівнюючи тиск в обох камерах.

2. Розмикання дугогасильних контактів.

Струм протікає через утворену між дугогасильними контактами електричну дугу. Газ не може витекти назовні ні через сопло, так як отвір все ще закрито нерухомим дугогасильним контактом, ні через внутрішню частину дугогасительного контакту, так як вона закрита електричною дугою (ефект закупорювання).

При малих значеннях струму, коли струм проходить через природний нуль і дуга гаситься, газ протікає через контакти. При сталому низькому тиску можливий зріз струму, однак він не створює істотних комутаційних перенапруг, і невеликої кількості стисненого газу досить для відновлення

електричної міцності між двома контактами. Таким чином, запобігає повторне запалення при наростаючому фронті поверненої напруги.

При великих значеннях струму КЗ, тиск, створений електричною дугою, закриває клапан між двома камерами, і вимикач починає працювати в автодутьовому режимі. Тиск у верхньому обсязі піднімається завдяки нагріванню газу і його молекулярної дисоціації при високій температурі. Підвищення тиску пропорційно току дуги і забезпечує її гасіння при першому переході струму через нульове значення.

3. Вимикач відключений.

При перериванні дуги утворений тиск у верхній камері знижується, так як газ протікає через контакти. Клапан відкривається знову, і в дугогасильну камеру надходить новий потік газу. Таким чином, вимикач відразу ж готовий до нового включення і відключення з максимальним значенням вимикаючої здібності.

1.3 Види контактних з'єднань елегазового вимикача

В складі високовольтних вимикачів є кілька видів контактних з'єднань, що забезпечують проходження струму в токоведучому ланцюзі. У їх числі розмикаючі контакти дугогасительного пристрою та конструктивно необхідні нерозмикаючі контакти, в тому числі між нерухомими елементами дистанційного керування та токоведучими стрижнями високовольтних вводів.

1.3.1. Розмикаючі контакти

Розмикаючі контакти сучасних високовольтних елегазових вимикачів виконуються на основі конструкцій розеточного типу. Контакти розеточного типу (рис.1.5) складаються з декількох колодок або пластин, званих ламелями, які притискаються пружинами до круглого контактного стрижня. Контакти можуть бути як з гнучким зв'язком (рис.1.5, а), так і без нього (рис.1.5, б). Розеточні контакти застосовуються як в якості дугогасильних, так і головних.

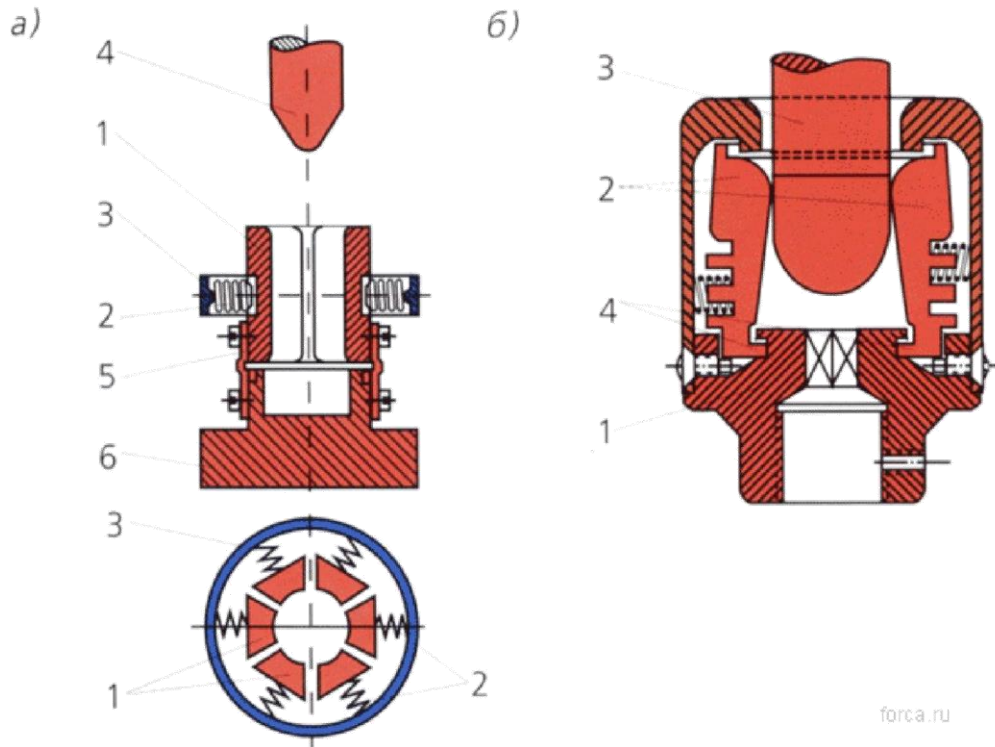


Рисунок 1.5 – Розеткові контакти:

- а – з гнучким зв'язком: 1 – контактні сегменти; 2 – пружини; 3 – завзяте кільце;
 4 – рухливий контакт; 5 – гнучкий зв'язок; 6 – контактотримачі;
 б – без гнучких зв'язків: 1 – контактотримачі; 2 – контактні сегменти;
 3 – рухливий контакт; 4 – контактні виступи

В загальному випадку, розеточний контакт складається з алюмінієвої обойми, набору мідних струмопровідних ламелей, сталевих пружин підтискання. На рис.1.5 зображено розеточний контакт з гнучким зв'язком. Ламелі 1 з'єднані з нерухомою частиною токоведучої системи за допомогою гнучких пластин 5. Рухомий контакт 4 забезпечений конічним скругленням торця, завдяки якому при замиканні він розсовує підпружинені ламелі 1. Ламелі встановлені радіально в індивідуальні гнізда обойми і фіксуються в них за допомогою пружин. Кожна ламель в робочому положенні має дві точки контакту. Пружина забезпечує необхідну і стабільну силу натискання ламелі в точках контакту. Крім того, стабільність параметрів розеточного контакту в процесі роботи забезпечується за рахунок використання многоточечного контакту і срібного покриття ламелей.

Для виробництва розеточних контактів застосовуються сучасні технології: обойма виготовляється методом екструзії алюмінієвого профілю, ламелі – методом штампування з наступним доведенням віброполірування. Штампована з прецизійної стрічки пружина має багат шарове захисне покриття, виконане на спеціалізованому обладнанні. Покриття компонентів, з яких збираються розеточні контакти, виключають утворення гальванопар і, відповідно, перешкоджають виникненню електрохімічної корозії протягом усього терміну експлуатації

Розеточні контакти так само мають і інші перевагами:

1. Висока надійність. Вихід з ладу однієї або декількох пружин не призводить до виходу з ладу контакту в цілому
2. Низький перехідний опір, відповідно, низькі втрати і розігрів.
3. Розвинена тепловидвідна поверхня, що забезпечує розсіювання великої потужності.

Виключений нагрів контакту струмами Фуко.

Контакти розеточного типу можна умовно розділити на два класи:

1. Контакти, призначені для гасіння електричної дуги (дугогасильні контакти вимикача).
2. Контакти, які використовуються для комутацій в електричному ланцюзі при відсутності електричної дуги.

1. Дугогасильні контакти вимикача.

Особливості дугогасильних контактів полягають, перш за все, в застосуванні тугоплавких і корозійностійких матеріалів, що дозволяє здійснювати багаторазові комутації в умовах впливу високої температури і агресивних продуктів розкладання елегазу. В якості таких матеріалів використовуються, як правило, композиції на основі міді з високим вмістом вольфраму (сплави типу Кіріт). Певну проблему технологічного характеру при цьому представляють зварювання кірітових наконечників і мідних елементів

головного токоведучого ланцюга. На сучасних виробництвах для цього використовують метод дифузійного зварювання.

Іншою особливістю дугогасильних контактів є конструктивно необхідна обмеженість їх розмірів, оскільки в області горіння дуги при роботі дугогасильного пристрою необхідно створити інтенсивний потік стисненого газу. Інтенсивність дуття і діаметр каналу для протікання газу вибираються за умовами гасіння дуги і дозволяють застосовувати нерухомі дугогасильні контакти з діаметром не більше 20-40 мм. Довжина кола такого циліндра не перевищує 100-120 мм, на яких необхідно розмістити достатню кількість ламелей для забезпечення низького перехідного опору. В сучасних вимикачах число ламелей дугогасильного контакту становить 6-15, при цьому ширина кожної ламелі не перевищує 6-12 мм. У цих умовах число контактних точок збігається з числом ламелей і так само вкрай обмежена. У замкнутому положенні дугогасильних контактів електричний струм протікає через контактну пару Кіріт (ламелі розеточного контакту)- мідь (основа циліндричного контакту). У процесі взаємного переміщення контактів ламелі переходять на кірітовий торець циліндричного контакту, і контактний опір зростає. Наявність великого перехідного опору дугогасильних контактів (100-300 мкОм) не приводить до значного тепловиділення при протіканні робочого струму, оскільки частка струму через дугогасильні контакти становить величину порядку 5% повного струму.

В процесі відключення дугогасильні контакти розігріваються до високої температури, що практично виключає можливість застосування звичайних пружин. Для створення контактного натискання підпружинюванням ламелей здійснюється за рахунок пружних властивостей матеріалу самого розеточного контакту. Розеточний контакт при цьому фактично являє собою трубу з розрізами на торці, що формують необхідне число ламелей.

Як приклад на рис.1.6 показані елементи дугогасильного пристрою вимикача типу ВГТ виробництва ВАТ «Уралмашзавод»

2. Головні контакти вимикача

В конструкції головних контактів обмеження в розмірах і пов'язане з цим обмеження можливого числа ламелей, виникають через прагнення до компактності всієї конструкції в цілому, а так само через необхідність зниження маси рухомого контакту для забезпечення необхідних динамічних характеристик вимикача. Кількість ламелей визначається заданою величиною контактної опору і необхідністю тривалого протікання робочого струму. При токах порядку 1-3 кА, характерних для вимикачів високої напруги (110 і вище) кількість ламелей становить, як прищепило 20-40 штук. У генераторних вимикачах з робочим струмом, що досягає 10 кА, кількість ламелей може досягати 200 штук і більше. Відсутність електричної дуги дозволяє застосовувати матеріали з низьким контактним опором. Як правило, використовуються мідні контакти, покриті шаром срібла. Для створення контактної натискання застосовують пружини, виготовлені зі сталі або бронзи.

Головні контакти можуть бути розміщені в єдиному обсязі з дугогасильними контактами. У цьому випадку вони захищені від агресивних продуктів розкладання елегазу тим, що в процесі гасіння дуги потік газу в ДУ спрямований всередину порожнього рухомого дугогасительного контакту. У тому випадку, якщо необхідно гасити дугу з екстремально великими струмами к.з. (До 275 кА), для захисту головних контактів від продуктів розкладання елегазу, приймають спеціальні конструктивні заходи. Наприклад, в генераторних вимикачах серії НВ фірми Siemens, а також серії FKG і PKG фірми АВВ, головні контакти відокремлені від дугогасильних металевої стінкою.

Випробування високовольтних вимикачів показують, що при відключенні струмів к.з. можливе іскріння між розбіжними головними контактами, незважаючи на те, що вони шунтовані дугогасильними контактами. Для того, щоб виникаючі іскри НЕ руйнували шар сріблення, в деяких конструкція високовольтних вимикачів в ряду ламелей розеточного головного контакту встановлюють додаткові ламелі, виконані з дугостійкого матеріалу. В процесі

відключення, ці ламелі сходять з нерухомого контакту останніми і, таким чином, усувають ефект руйнування посріблених поверхонь. На рис.1.6 показані головні контакти вимикача ВГТ. Його дугогасильні контакти розраховані на струм до 50 кА, а головні витримують тривалий струм в 3150 А.

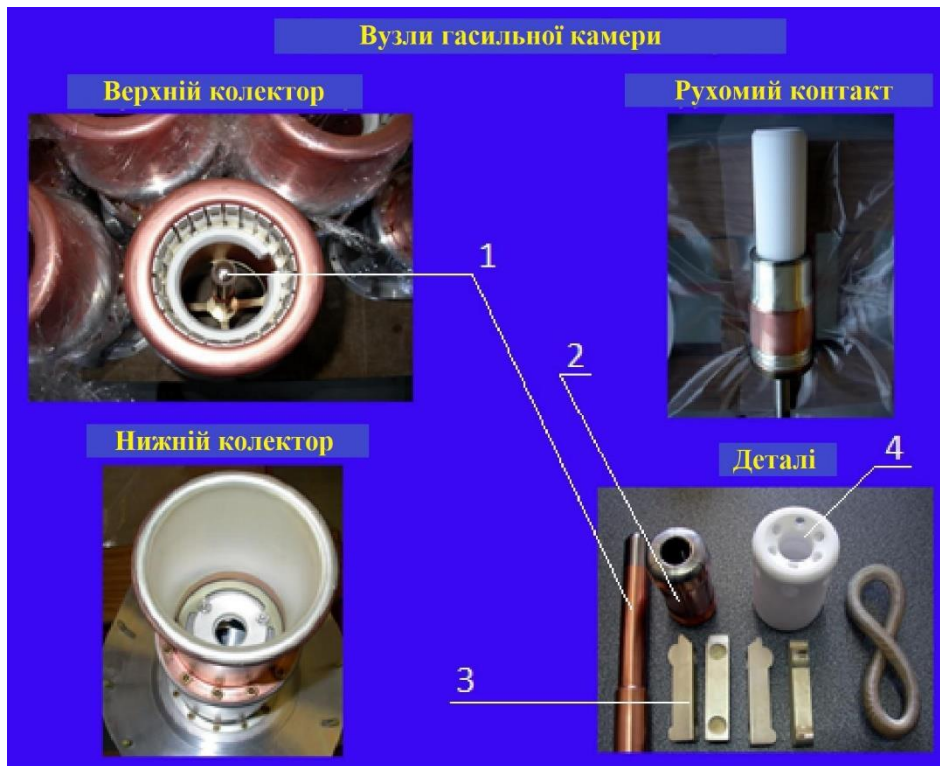


Рисунок 1.6 – Контакти високовольтного вимикача ВГТ:

- 1 – дугогасильний нерухомий контакт; 2 – дугогасильний рухливий контакт;
3 – ламелі головних контактів; 4 – сопло

1.3.2. Нерозмикаючі рухливі контакти

В нерозмикачих рухомих контактах контактні частини переміщуються одна щодо іншої, але не розмикаються. Такі контакти зустрічаються у вимикачах і роз'єднувачах. Вони замінюють менш надійні гнучкі з'єднання.

Нерозмикаючі контакти набули широкого застосування для приєднань головних контактів елегазового вимикача до нерухомих елементів токоведущей системи (рис.1.7). Верхній контакт 1 з'єднаний з нерухомим латунним

склянкою 2 через Z-образні пластини 3, розташовані по колу в два яруси. Пластини забезпечені пружинами 4, притискають їх до контакту і склянці.

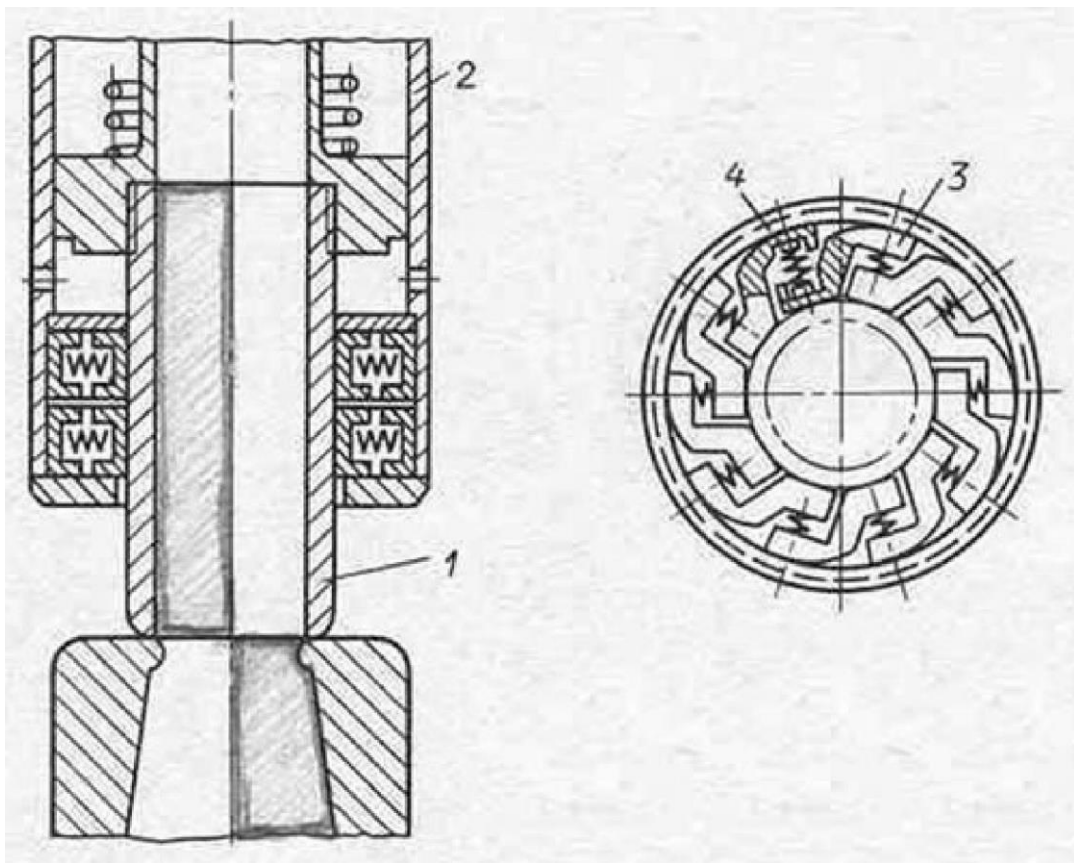


Рисунок 1.7 – Ковзаючі нерозмикаючі контакти

1.4 Умови роботи контактів

Опір контактного з'єднання включає в себе опору власного матеріалу контактних елементів і перехідного опору в місці їхнього зіткнення. Перехідний опір залежить від матеріалу контактів, сили притиснення їх один до одного, площі контактної поверхні, її стану і температури. При зіткненні двох контактних поверхонь 1 і 2 (рис.1.8) електричне з'єднання відбувається не по всій поверхні, а по точкам дотику, які утворюються через неточності обробки поверхонь і їх зносу в результаті впливу електричної дуги. При натисканні контактів відбувається часткове зминання матеріалу контакту в точках дотику.

Чим більше контактне натискання F і м'якше матеріал контакту, тим більше площа реального з'єднання і менше перехідний опір R_p (рис.1.9, а).

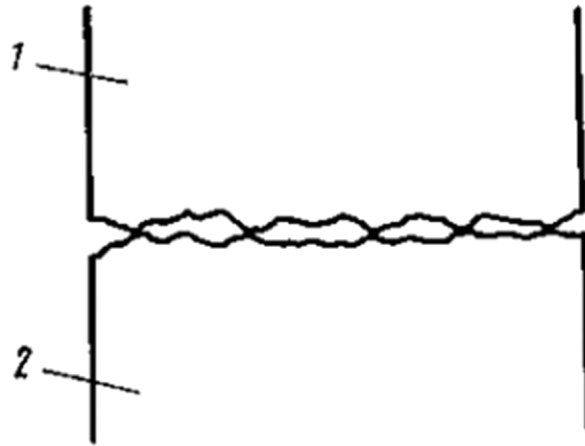


Рисунок 1.8 - Дотичні контактні поверхні

Кожен контактний матеріал характеризується деяким граничним значенням натискання, понад якого перехідний опір практично не знижується. Дуже різку залежність перехідного опору від натискання мають вугільні контакти. Цю властивість вугільного контакту широко використовують у вугільних регуляторах напруги, що здійснюють регулювання струму збудження електричних машин.

Надмірний нагрів контактів призводить до їх окислення. У елегазових вимикачах взаємодія металу контакту з хімічно агресивними продуктами розкладання SF₆ призводить до формування плівок фторидів металів на поверхні контактів. Окисні і фторидні плівки більшості металів не проводять електричний струм і різко підвищують перехідний опір (рис.1.9, б). На ділянці а - б перехідний опір зростає внаслідок все більш інтенсивного виникнення окисної плівки. На ділянці б - с опір падає внаслідок порушення міцності матеріалу і його розм'якшення, що призводить до збільшення площі дотику. На ділянці с - d опір знову починає рости внаслідок різкого збільшення питомого опору матеріалу. Це зростання буде тривати до повного розплавлення матеріалу.

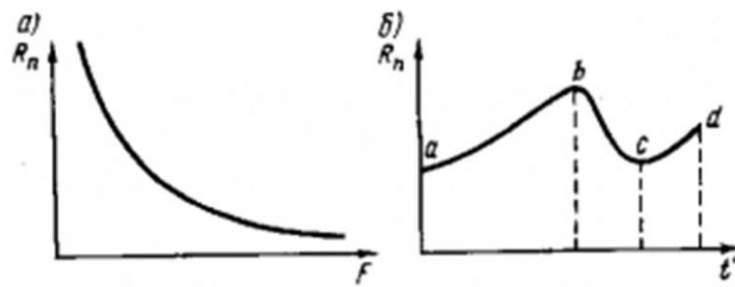


Рисунок 1.9 – Залежності перехідного опору від натискання (а) і від температури (б)

Особливо значні підвищення температури контактів можуть мати місце при проходженні через них струму короткого замикання. Гранично допустима температура при токах короткого замикання для контактів з міді становить 200-300 °С, а для алюмінієвих - 150-200 °С. У випадках перевищення граничної допустимої температури механічна міцність матеріалу контактів різко зменшується.

Нагрівання контактів прохідним струмом може призвести до розплавлення і приварювання контактів один до одного.

Властивості апаратів витримувати певні значення аварійних струмів без теплового пошкодження контактів характеризуються стійкістю до проходження струмів КЗ. Вона визначається найбільшим значенням струму, який може витримати апарат у включеному стані, не пошкоджуючи і не відключаючи мимоволі.

Розміри контактної поверхні мало впливають на контактний опір, оскільки зі збільшенням поверхні і відповідно числа точок дотику знижуються натискання на одиницю площі і змінання. Однак від поверхні контакту залежать умови його нагрівання і при тому ж опорі великі за розміром контакти допускають велике навантаження струмом.

Матеріал контакту повинен мати високу механічну міцність, хорошою електропровідністю, теплостійкістю і антикорозійною стійкістю. Широке

поширення отримали контакти з міді і її сплавів (латунь, бронза) для виготовлення як рухомих, так і нерухомих контактних з'єднань. При тривалій безперервній роботі, щоб уникнути окислення мідні контакти покривають шаром олова або срібла, а так само виконують з срібними накладками.

Алюміній і сталь застосовують, головним чином, для нерухомих контактних з'єднань. Для захисту від корозії алюмінієві контакти іноді оцинковують, а сталеві покривають шаром кадмію. Велику теплостійкість і твердість мають вольфрамові контакти.

Нікель, платину і срібло використовують для контактів малопотужних апаратів, де потрібна точність і надійність спрацьовування.

Срібні контакти мають провідну окисну плівку з такою ж електропровідністю, як і сам метал, а платинові практично не покриваються окисною плівкою.

Широке застосування в електричних апаратах отримали металокерамічні контакти, виконані шляхом пресування суміші порошків різних металів.

На контакти електричних апаратів в моменти їхнього включення і відключення діють виникаючі електродинамічні і механічні сили, які впливають на перехідний опір і призводять до механічного зносу контактів. У перший момент включення апарату, коли на контакти ще повністю не діє натискання, зіткнення відбувається по окремих точках, через які спрямовується весь струм (рис.1.10, а). При цьому, лінії струму в місці контактного переходу викривляються, розташовуються паралельно і мають в нижньому і в верхньому контактних елементах протилежний зміст (рис.1.10, б). Магнітні поля цих струмів, взаємодіючи один з одним, створюють електродинамічні зусилля взаємного відштовхування F , які прагнуть розімкнути контакти і викликають їх вібрацію.

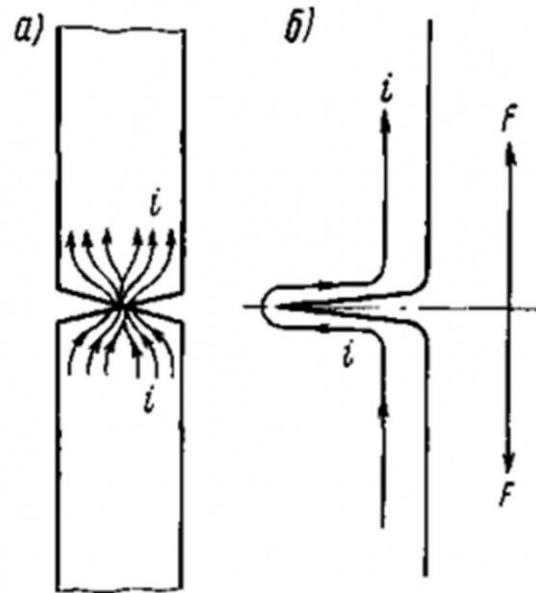


Рисунок 1.10 – Розподіл струму по площі перетину контактів в момент включення

Крім електродинамічних зусиль, відштовхуванню контактів сприяють механічні сили, що виникають в момент пружного удару одного контакту по іншому. Пружний удар при зіткненні контактів викликає ряд повторних відскоків і спільних переміщень обох контактних елементів під дією натискання і інерції. Такі вібрації призводять до розплющення і механічного руйнування контактів.

В момент розмикання контактів перехідний опір різко збільшується, зростає температура і виникає електрична дуга, що призводить до електричного зносу контактів (їх вигорянню та ерозії).

Механічний і електричний знос контактів в основному визначає термін служби апарату (що виражається числом його спрацьовувань) і максимально допустиму частоту його включень.

1.5 Контактна система Multi-contact

Для виготовлення неразмикаючих контактних з'єднань в даний час в світовій практиці широко використовуються контактні системи фірми Multi-contact, що використовує технологію Multilam.

Контакти Multilam є пазогребнієві пластини з мідного сплаву спеціальної форми з срібним або золотим покриттям, в залежності від призначення. Спеціальний дизайн пластин Multilam передбачає наявність великої кількості незалежних струмоведучих виступів, що обумовлює велику кількість контрольованих контактних точок і істотно знижує загальний контактний опір. Технологія Multilam задовольняє широкому спектру вимог і дозволяє знаходити рішення для найважчих умов експлуатації: за величиною електричного струму, за температурою і по механічними показниками (до 1 млн. механічних комутацій).

Переваги технології Multilam:

1. Мале значення перехідного контактного опору
2. Мале контактне падіння напруги при протіканні великих струмів
3. Мінімальні втрати потужності
4. Високоміцні контакти витримують до 1 мільйона циклів з'єднання
5. Робочі температури до 350 °С, більш високі допускаються короткочасно
6. Висока вібростійкість
7. Малі витрати на техобслуговування
8. Циліндричне, плоске або сферичне виконання роз'єму
9. Висока стійкість до корозії

Завдяки сукупності всіх цих переваг можна стверджувати, що дана система контактів є дуже перспективною. На сьогоднішній день існує більше 50 різних видів пластин, призначених для різних областей застосування. На рис.1.11 представлені деякі з них:

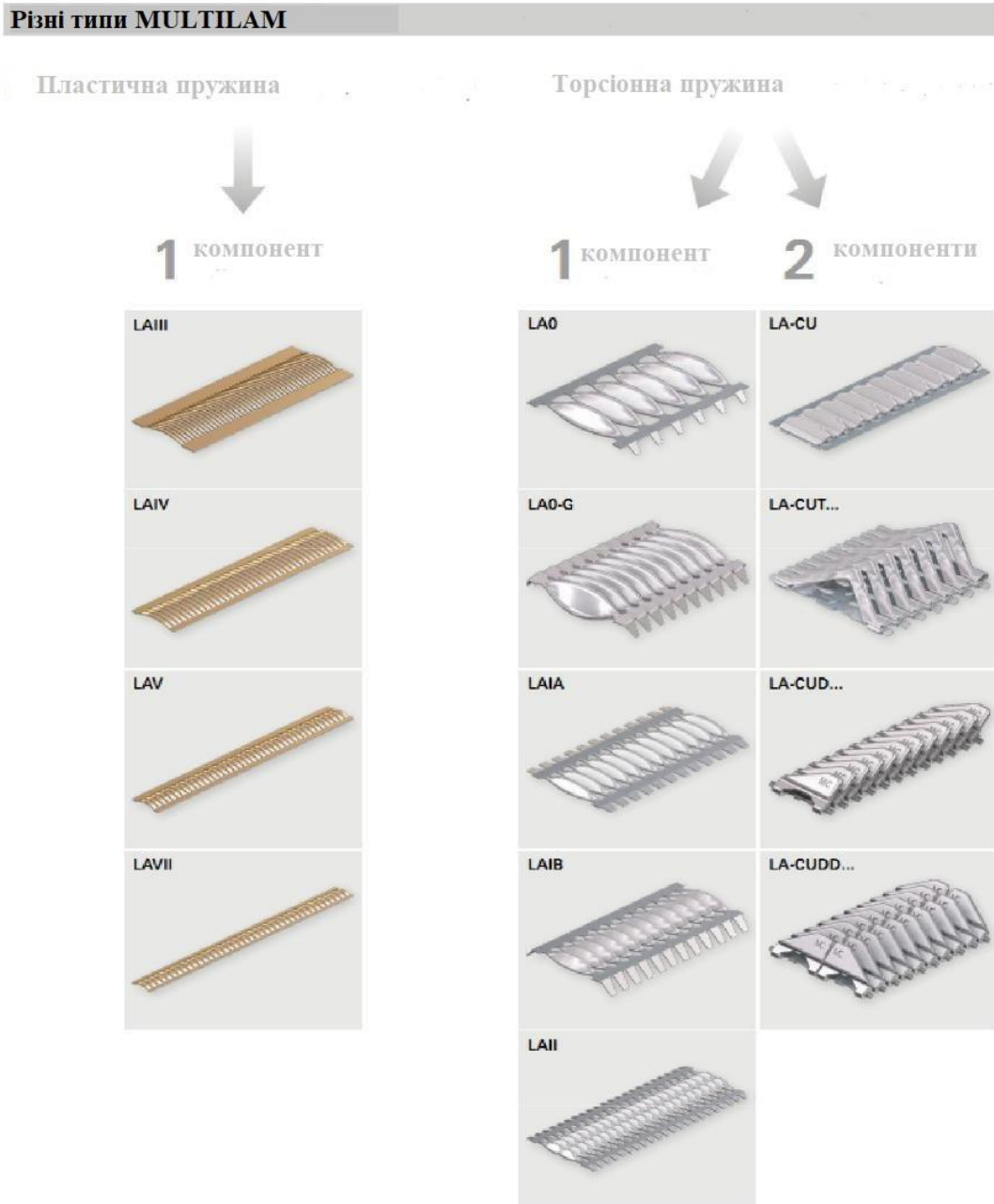


Рисунок 1.11 – Сімейство контактів Multilam

1.5.1. Multilam з ефектом пластинчастої пружини

Multilam елементи з ефектом пластинчастої пружини виготовлені з мідного сплаву і через малі контактні зусилля зазвичай покриваються золотом. Золото хімічно стійке, грязьова плівка на контактних поверхнях не утворюється, що дозволяє досягати малих геометрій з невеликими контактними ділянками. У Multilam з ефектом пластинчастої пружини електричні і особливо механічні властивості (тобто пружинистість) забезпечуються самою смугою

MULTILAM. Тому їх називають однокомпонентними MULTILAM. MULTILAM з ефектом пластинчастої пружини відрізняються великою кількістю циклів з'єднань - до 1 млн. - через мале тертя. Однак вони мають меншу токопровідність в порівнянні з контактами Multicontact іншої конструкції.

Властивості:

1. Хороша електропровідність
2. Висока і дуже висока кількість циклів з'єднань і висунення
3. Мале контактне зусилля і невелике зношування контакту
4. Стійкість до агресивних середовищ
5. Зазвичай застосовуються в мініатюрних гніздах і штекерах, регламентних кабелях, зондах

1.5.2. Однокомпонентні Multilam з ефектом торсіонної пружини

Однокомпонентні Multilam з ефектом торсіонної пружини відрізняються від Multilam з ефектом пластинчастої пружини принципом пристрою пружини. Їх пружні властивості утворюються за рахунок торсіонних зон в пластинчастої смузі Multilam. Дві торсіонні зони кожної окремої пластини Multilam знаходяться по обидва боки пластини і забезпечують пружне з'єднання між контактною смугою і пластиною Multilam, яке здатне обертатися навколо поздовжньої осі. Вони забезпечують постійне і достатнє контактне зусилля. На відміну від Multilam з ефектом пластинчастої пружини, короткі лінії струму між обома контактними частинами проходять по пластині Multilam перпендикулярно поздовжньої осі. Multilam з ефектом торсіонної пружини зазвичай покриваються сріблом,

Властивості:

1. Висока питома електро- і теплопровідність
2. Різна товщина смуг Multilam
3. Типи Multilam з великою товщиною (жорсткі Multilam) придатні для запресованих контактів

4. Зазвичай застосовуються в контактах для великих струмів в енергетичному обладнанні, що ковзають і обертових контактах, вилочних контактах.

1.5.3. Двокомпонентні Multilam з ефектом торсіонної пружини

Конструкція цих типів Multilam (сімейство LA-CU) базується на поділі електричних і механічних властивостей за допомогою додаткових компонентів. В якості другого компонента використовується несуча смуга з нержавіючої сталі, до якої шляхом обтиску кріпляться окремі пластини. Функцію пружини бере на себе несуча смуга, а електропровідна функція реалізується за допомогою окремих пластин. Пластини покриваються сріблом. Цей тип Multilam розроблений спеціально для застосування в високовольтних системах розподілу електроенергії. Вони також можуть застосовуватися в низько- і високовольтному обладнанні (статичному і динамічному), в повітрі, вакуумі, ізоляційних газах, таких як SF₆, ізоляційних маслах і т. д.

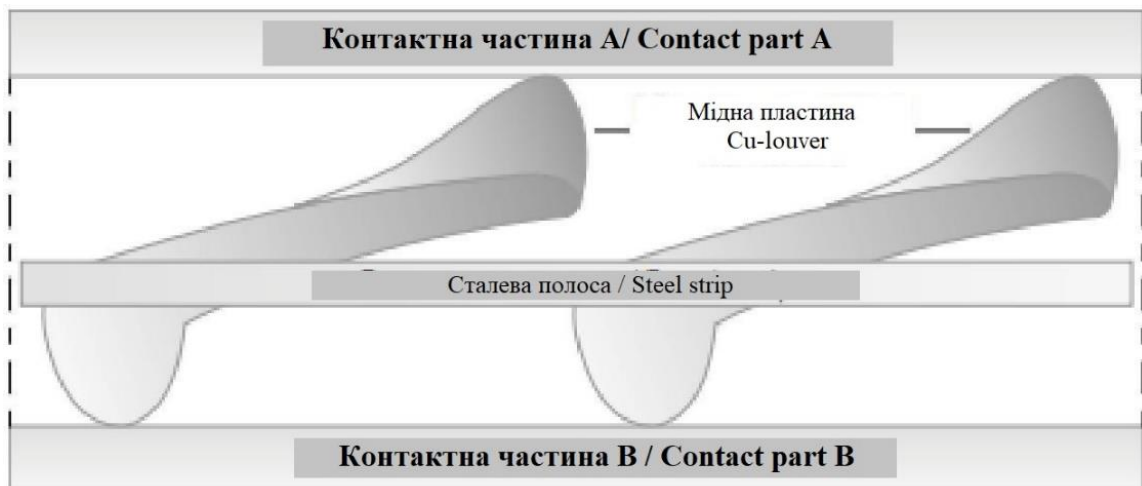


Рисунок 1.12 – Конструкція пластин двокомпонентних Multilam

Контакти Multilam в даний час застосовуються для створення внутрішніх неразмикаючих контактних з'єднань в елегазових вимикачах і КРПЕ фірми Siemens.

Приклад застосування пазогребнієвих контактів в КРУЕ

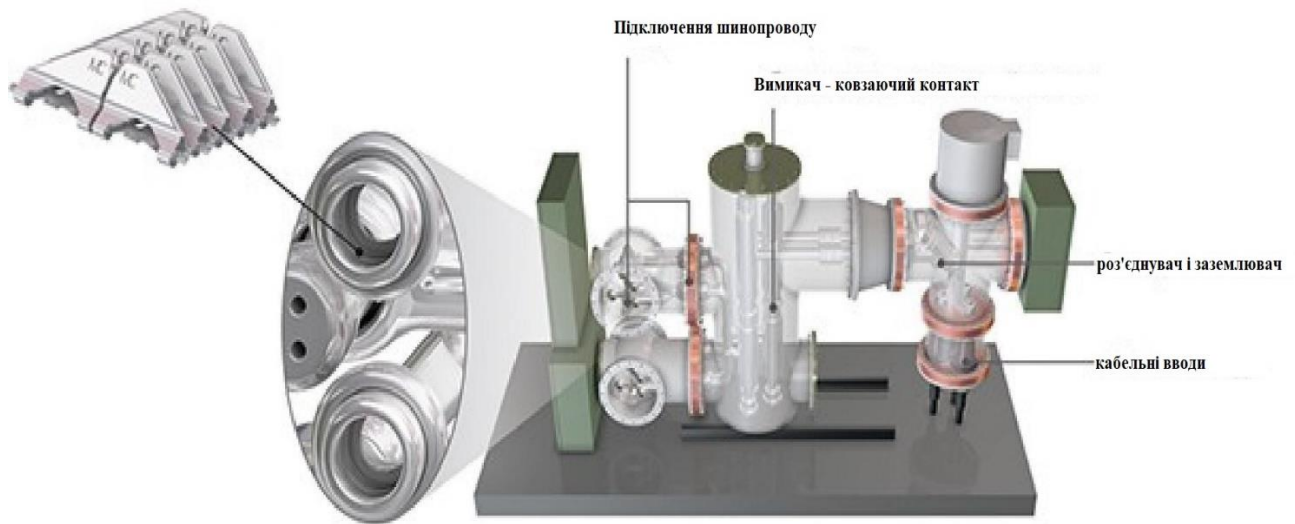


Рисунок 1.13 – Контакти Multilam в КРУЕ

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики контактів Multilam

Технічна інформація

	LA-CUDD/0,15	LA-CUDD/0,15/0
Розміри		
Застосування	Гніздо і штекер	
	Застосовується з діаметром від 30 до 70 мм	Штекер від 25 мм в діаметрі
	У висувному виконанні діаметр до 90 мм	Гніздо від 70 мм в діаметрі
Ширина	19,5 мм	22 мм
Інтервал	2,8 мм	
Висота	2,7 мм	
Матеріал		
Контактні пластини	Безбериллієва мідь, покрита сріблом	
Тримач	Нержавіюча сталь	
Електричні характеристики		
Номінальний струм	90 А	
Перехідний опір	140 мкОм	
Струм КЗ	1,1/0,9 кА (1сек/ 3сек)	
Піковий струм, що витримується	2,8 кА	
Механічні характеристики		
Контактне зусилля	13 Н	
Провал контактів	1,4 мм	

Кількість циклів	до 1000000
Теплові характеристики	
Максимальна тривала температура	150 C °
Короткочасна температура	250 C °

Як приклад у таблиці 1.1 наведені технічні характеристики контактної системи Multilam типу LA-CUDD / 0.15, а на рис.1.15 наведено їх зовнішній вигляд.

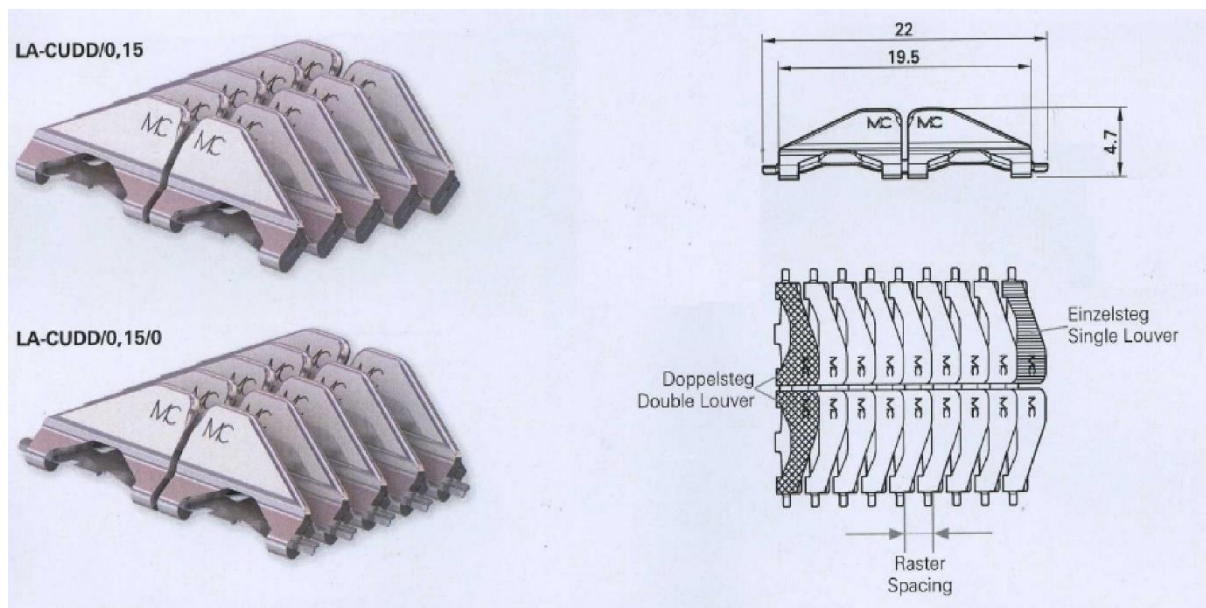


Рисунок 1.15 – Зовнішній вигляд ламельних контактів

Універсальний контакт Multilam LA-CUDD призначений для додатків, що вимагають низького перехідного опору при передачі високих струмів. Поєднання компактної конструкції з найкращими електричними і механічними характеристиками в класі обумовлює ряд переваг:

1. продуктивність контактів Multilam LA-CUDD на паз в 2,58 рази вище, ніж у звичайних контактних елементів;
2. завдяки спеціальній конструкції новий контакт дозволяє здійснювати комутацію за двома напрямками;

3. вартість виробу завдяки поєднанню стандартних серійних елементів порівняна з вартістю інших контактів Multicontact.

1.6. Постановка задачі

Сучасна енергетика активно використовує елегазові вимикачі, і для їх надійної роботи потрібні надійні контактні з'єднання. Система контактів, яка знаходиться під постійним навантаженням, є відповідальним елементом. Однак, складність виготовлення стандартної контактної системи, а так само не найкращі технічні показники підштовхують до ідеї її заміни. У той же час у світовій практиці широко впроваджуються системи європейської фірми Multi-Contact, рішення якої широко застосовуються провідними європейськими виробниками електричних апаратів, комутаційної техніки, КРПЕ.

На даний момент в високовольтних вимикачах широко застосовуються неразмикаючі контакти фірми Multi-Contact. З огляду на те, що ці контакти добре зарекомендували себе і володіють високими технічними характеристиками, виникає задача оцінки можливості заміни розмикаючих ламелевих контактів на розмикаючі контакти серії Multilam.

РОЗДІЛ 2

ЕЛЕГАЗ ЯК ОСНОВА СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ І РОЗПОДІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

2.1. Загальні відомості щодо елегазу

Комутаційні апарати, призначені для переривання великих струмів, що протікають в електричних сітках, використовують активну дію якого-небудь ізолюючого середовища на електричну дугу в міжконтактних проміжках апаратів. Світова практика високовольтного апаратобудування пройшла послідовно етапи використання як ізолюючого середовища спочатку мінеральних масел, а пізніше – осушеного повітря.

Зростаючі струми, що комутуються повітряними вимикачами, викликали необхідність пошуку іншого ізолюючого середовища з більш високими ізоляційними характеристиками. Таким ізолюючим середовищем з'явився елегаз (електричний газ), що дозволив створити якісно нову групу апаратів передового технічного рівня. Елегазові апарати, широке застосування яких в промислово розвинутих країнах почалося більше 30 років тому, практично витіснили повітряні вимикачі на напругах класу 110 кВ і вище (сказане не відноситься до енергетики СРСР, яка, як частина екстенсивної економіки була несприйнятлива до новацій).

Елегаз (шестифториста сірка або гексофторид сірки – SF_6) – газ без кольору і запаху, хімічно інертний, складається з 21,95% сірки і 78,05% фтора. Газ не токсичний, не горить і не підтримує горіння, не вибухає і не утворює взривопожежних сумішей.

2.2 Основні характеристики елегазу

Елегаз є електронегативним газом, тобто по своїх властивостях є прекрасним ізолятором. Його молекули здатні приєднувати (захоплювати) вільні електрони, що рухаються, перетворюючись таким чином на малорухливі негативні іони, що мають приблизно таку ж швидкість, що і позитивні іони і тому легко рекомбінуючи з ними, знову перетворюючись на нейтральні молекули. Інтенсивна рекомбінація електрично заряджених частинок швидко знижує провідність міжконтактного проміжку комутаційного апарату, ніж істотно підвищує швидкість збільшення його електричної міцності після згасання дуги.

По своїй електричній міцності елегаз в 2,3 – 2,5 рази перевищує повітря, а при тиску 0,3 – 0,44 МПа відповідає міцності середньої якості трансформаторного масла.

Основні характеристики елегаза згідно стандарту МЕК (IEC) приведені в табл. 2.1 (хімічні властивості), табл. 2.2 (фізичні властивості) і табл. 2.3 (електричні властивості).

Таблиця 2.1 – Основні хімічні характеристики елегаза

Найменування	Чисельне значення, од. вимірювання
Формула	SF ₆
Молекулярна вага	146,05 г/моль
Об'єм сірки	21,95 %
Об'єм фтору	78,05 %
Структура молекули	Октаедр з 1 атомом сірки в центрі і 6 атомами фтору у вершинах
З'єднання	Ковалентне
Діаметр молекули	4,77 Анстрем
Температура розкладання	500 °C

Таблиця 2.2 – Основні фізичні характеристики елегаза

Найменування	Чисельне значення, ед. вимірювання
Густина	6,14 кг/м ³
Теплопровідність	0,0136 Вт/м·
Критичні: температура	45,55 °С
густина	730 кг/м ³
тиск	3,78 МПа
Швидкість звуку	136 м/с
Коефіцієнт заломлення	-1,000783
Теплота пароутворення	1221,66 Дж/моль
Теплоємність	96,6 Дж/моль·

Таблиця 2.3 – Основні електричні характеристики елегаза

Найменування	Чисельне значення, од. вимірювання
Критична напруженість поля щодо тиску	89 В/(МПа)
Діелектрична постійна при t = 25°С і P = 0,1 МПа	1,00204
Tg δ при t = 25 °С і P = 0,1 МПа	< 2·10 ⁻⁷

Хоча теплопровідність і питома теплоємність елегаза нижче, ніж повітря, і складає 0,7 і 0,59 відповідно, за рахунок підвищеної густини (6,14 кг/м³) і більш високих конвекційних властивостей, елегаз володіє доброю охолоджуючою здатністю. Чим інтенсивніше відбувається відведення теплоти

від стовбура дуги, тим швидше підвищується її опір і електрична міцність, тим менше постійна часу дуги. Наприклад, при струмах до 5А постійна часу дуги в елегазі рівна 1–2 мкс, а в повітрі – 100-200 мкс.

2.3 Можливі домішки у складі елегазу

Чистий елегаз не розкладається і не взаємодіє із спеціально підібраними металами оболонок при температурах до 500 °С. елегаз не вступає в реакцію з воднем, киснем і іншими активними речовинами навіть при температурі близько 500°С, не взаємодіє з міддю і сріблом. Вживані діелектричні матеріали не змінюють свої властивості в атмосфері чистого елегаза.

Проте, унаслідок процесу виробництва, комерційний елегаз не цілком чистий. Допустимий рівень домішок за стандартами МЭК (IEC) приведений у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Припустимий рівень домішок

Домішка	Максимально допустимий рівень
CF ₄	500 ppm маси
O ₂ + N ₂	500 ppm маси
Вода	15 ppm маси
Кислоти HF	0,3 ppm маси
Фториди HF	1,0 ppm маси

Унаслідок розкладання елегаза під дією електричних розрядів (дугового, коронного, часткових), а також наявність домішок може виникнути надзвичайно активні в хімічному відношенні і шкідливі для людини домішки, а також різні тверді з'єднання, що осідають на частини конструкції апарату і здатні погіршити його електроізоляційні характеристики.

2.4. Продукти розпаду елегазу

Інтенсивність утворення таких домішок і шкідливі наслідки значно посилюються за наявності в елегазі домішці кисню і особливо пари води. Кількість продуктів розкладання (ПР) практично лінійно зростає із збільшенням вмісту.

ПР є комбінацією фторидів сірки з вологою і повітрям, що знаходиться в зоні диссоціювання елегазу. Їх склад залежить від багатьох чинників:

1. інтенсивності і тривалості дугового розряду;
2. матеріалу конструктивних елементів;
3. вміст вологи і повітря в елегазі.

Основні газоподібні ПР, їх активність і токсичність наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Активність і токсичність основних газоподібних продуктів розкладання елегазі

Продукт розкладання	Хімічна стійкість в атмосфері	Стійкі кінцеві продукти	Дані по токсичності, ppmv		Виявлення по запаху ²⁾	
			TLV ¹⁾	LC50 ³⁾	Поріг, ppmv	Запах
S ₂ F ₂	Швидкокорозкладаємий	<u>S</u> , <u>HF</u> , <u>SO₂</u>	0,5	0,8		Їдкий гострий
SF ₂	Швидкокорозкладаємий	<u>S</u> , <u>HF</u> , <u>SO₂</u>	5,0			Їдкий гострий
SF ₄	Швидкокорозкладаємий	<u>HF</u> , <u>SO₂</u>	0,1			Їдкий гострий

Продовження таблиці 2.5

SO _F ₂	Швидкорозк ладаємий	HF, SO ₂	0,6 ÷ 1,0	100	1,0 ÷ 5,0	Тухлого яйця
SO _F ₄	Швидкорозк ладаємий	SO ₂ F ₂ , HF	0,5			Їдкий
SO ₂ F ₂	Стійкий	SO ₂ F ₂	5,0	2000 ÷ 4000		Не має
SO ₂	Стійкий	SO ₂	2,0	До 100	0,3 ÷ 1,0	Гострий
HF	Стійкий	HF	1,8 ÷ 3,0	50 ÷ 100	2,0 ÷ 3,0	Їдкий
WF ₆	Швидкорозк ладаємий	WO ₃ , HF	0,1	50 ÷ 100		Їдкий
SiF ₄	Швидкорозк ладаємий	SiO ₂ , <u>HF</u>	0,5	50 ÷ 100		Їдкий
CF ₄	Стійкий	CF ₄	Не токсич ний			Не має

Примітки:

1. TLV = ПДК для газів, що не розкладаються та припускають щоденне 8-ми годинне перебування людини в їх середовищі без захисних засобів.
2. Характер запаху відноситься до підкресленого газу.
3. 50% смертельної концентрації для мишей і щурів після 60 мін їх перебування в ній.

2.5 Джерела утворення домішок у елегазі

Домішки, джерела їх утворення та припустимі рівні наявності в елегазі наведені у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Домішки, джерела їх освіти і допустимі рівні наявності в елегазі

Домішки	Основне джерело	Об'єкт зносу (старіння)	Максимально допустимі рівні домішок в устаткуванні	Рівні домішок після відновлення використаного елегаза	Практичні рівні виявлення домішок
Повітря CF ₄	Заправка Комутаційні іскріння, дуга	Вимикач Елегаз	3% об'єму	2% об'єму	Менше 1% об'єму
Волога	Десорбується з поверхні та полімерів	Поверхня ізоляції	200 рртv при 2 МПа ¹⁾	120 рртv рідка фракція ²⁾	Менше 25 рртv
			800 рртv при 500 кПа ¹⁾	320 рртv при 500 кПа ³⁾	Менше 25 рртv
			4000 рртv при 100 кПа ¹⁾	1600 рртv при 100 кПа ³⁾	Менше 25 рртv
SF ₄ , WF ₆ SO _F ₄ SO _F ₂ , SO ₂ , HF SO ₂ F ₂	Дуга, іскріння Часткові розряди Вторинні реакції	Поверхня ізоляції Токсичні домішки	100 рртv 2000 рртv	50 рртv в сумі ⁷⁾	Менше 10 рртv в сумі

Продовження таблиці 2.6

Домішки	Основне джерело	Об'єкт зносу (старіння)	Максимально допустимі рівні домішок в устаткуванні	Рівні домішок після відновлення використаного елегаза	Практичні рівні виявлення домішок
CuF ₂ WO ₃ WO ₂ F ₂ WO ₂ F ₄ AlF ₃	Ерозія контактів вимикачі в. Внутрішні іскріння	Токсичні домішки	Не критичні ⁴⁾	Не вимірюються ⁵⁾	Не виявляються
Вуглець Металеві пили, частинки	Вуглецеві полімери Механічний знос	Поверхня ізоляції Елегаз	Низький ⁴⁾	Не вимірюються ⁵⁾	Не виявляються
Масло	Насоси і мастило	Поверхня ізоляції	Низький ⁴⁾	Не вимірюються ⁶⁾	Не виявляються

Примітки:

1. Встановлений ІЕС 694.
2. Встановлений ІЕС 376 для чистого елегаза стислого до рідкої фракції при $t = 0$ °С.
3. Тиск, що рекомендується, застосовно тільки для використаного елегаза.
4. Кількісно не оцінюється.
5. Вимірювання не потрібні. Забруднення віддаляється пиловловлюючим фільтром з діаметром отвору 1 мкм.

6. Вимірювання не потрібні. Забрудненню маслом прагнуть запобігати.
7. Або 12 ppmv в сумі SO₂ і SOF₂.

Поточний систематичний аналіз елегаза на зміст домішок сприяє ранньому виявленню внутрішніх несправностей устаткування, зниженню аварійності, підвищенню надійності роботи. Аналіз ПР є могутнім засобом вказуючим, коли необхідний ремонт і яка найвірогідніша причина відмови.

У разі перевищення максимально допустимого рівня домішок в устаткуванні, спеціалізовані фірми по виробництву елегаза проводять його регенерацію. Якісні характеристики регенованого газу повністю відповідають елегазу в первинному стані.

До недоліків елегазу, окрім здатності утворювати шкідливі ПР, слід віднести високу температуру зріджування. Так при тиску 1,5 МПа температура зріджування складає лише плюс 6°C, що вимагає, при необхідності, застосування автоматичних підігрівачів.

В теперішній час і на найближчий час не існує реалістичної альтернативи елегазу. Доцільність і необхідність застосування елегазу як ізолюючого середовища не викликає сумніву.

В цілях здешевлення газової ізоляції, часто застосовують елегаз в суміші з більш дешевим азотом. Суміші із змістом азоту до 40% або тетрафторметаном по своїй електричній міцності трохи відрізняються від чистого елегаза і звичайно застосовуються в пристроях з великим заповнюваним об'ємом, а також для роботи при низьких навколишніх температурах.

2.6 Вплив елегазу на атмосферу

В середині 90-х років минулого століття Міжнародною електротехнічною комісією (ІЕС) з участю провідних фірм застосовують і проводить елегаз,

були проведені дослідження впливу елегаза на атмосферу, навколишнє середовище і встановлені санітарні характеристики.

В короткому викладі результати цих досліджень наступні:

1. елегаз – високостабільне хімічне з'єднання, ніж обусловлюється його велика тривалість життя в атмосфері. Його потенціал створення тепличного ефекту перевищує приблизно на 104 потенціал газу CO_2 , а концентрація в атмосфері складає близько $3 \cdot 10^{-12}$ (відносний вміст в об'ємі) і дуже незначна по відношенню до CO_2 , концентрація якого близько $350 \cdot 10^{-6}$. Таким чином, участь елегаза в глобальному тепличному ефекті складає менше 0,1%, а участь в руйнуванні озонового шару зневажливо мало;

2. елегаз не має екотоксичного потенціалу, тобто не є небезпекою для навколишнього середовища, зокрема, для води і ґрунту;

3. чистий елегаз не токсичний і біологічно інертний. Досліди проведені з тваринами і людьми показали, що знаходження їх в газовому середовищі з концентрацією 80% SF_6 і 20% O_2 шкідливої дії на піддослідних не провели.

Не дивлячись на те, що встановлений факт допустимості вдихання атмосфери містить високу концентрацію SF_6 вважається, що для робочих місць, де робочий персонал знаходиться до 8 годин в день протягом 5 днів в тиждень, максимально допустима концентрація SF_6 складає 1000 ppmv (6000 мг/м^3). В Україні встановлені більш жорсткі вимоги по концентрації елегазу в повітрі робочої зони - ПДК складає – 5000 мг.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКЦІЯ ВИМИКАЧА

3.1. Розробка конструкції вимикача

Баковий елегазовий вимикач містить дугогасильний пристрій, розміщений всередині заземленого металевого бака. Як правило, тиск елегазу всередині вимикача класу напруги 110 кВ і вище становить 0,6 - 0,9 МПА. Для збереження герметичності бака вимикач забезпечується двома високовольтними вводами. На рис.3.1 показана конструкція бакового вимикача класу напруги 110 кВ.

Вимикач складається з наступних основних елементів:

Дугогасильний пристрій, розміщений в середині бака (I). Воно містить дугогасильні контакти (1,2), а так само головні контакти (3,4). Нерухомі головні і дугогасильні контакти жорстко укріплені на міцному металевому корпусі, положення якого в просторі фіксоване за допомогою склопластикового опорного ізолятора (5,6). Рухливі контакти (дугогасильного 2 і головний 4) за допомогою змінного контактного з'єднання розміщені на нерухомому металевому корпусі (7), так само фіксованому за допомогою опорного ізолятора (6). Для приєднання токоведучої системи вимикача до зовнішньої ланцюга, вимикач забезпечений двома неразмикаючими контактами типу Multi-contact, встановленими всередині металевих обойм (9,10). На рухомому дугогасильному контакті встановлена ізольована накладка змінного радіуса (11), що запобігає проникненню елегазу в процесі відключення з камери стиснення через прорізи в контакті (2). Камера стиснення забезпечена діелектричним соплом (12), що забезпечує стиснення елегазу в камері

стискання при переміщенні рухомої системи вправо на кресленні рис.2.1. Ізолююче сопло, а так само ізолююча накладка на рухомому дугогасильному контактні виготовлені з фторопласту з великим вмістом наповнювача (Al_2O_3 або MO). Головне сопло забезпечено провідним екраном (13), жорстко фіксованому на торцевій частині сопла. Екран з'єднаний з нерухомою частиною дугогасильного пристрою за допомогою ковзаючого контакту і завжди має потенціал нерухомого контакту. У розімкнутому положенні вимикача екран забезпечує знижену напруженість електричного поля на торці нерухомого дугогасильного контакту. Дугогасильний і головний рухливі контакти утворюють єдину провідний ланцюг, з'єднаний з несучим корпусом (14) за допомогою змінного контактного з'єднання типу Multicontact (15). Головний рухливий контакт має заокруглення торця, яке виконує дві функції:

1. Плавне входження контакту в ламелі головного нерухомого контакту
2. Створення низької напруженості електричного поля на торці головного рухомого контакту в розімкнутому положенні контактної системи вимикача.

Рухоме дно камери стиснення (16) забезпечує гальванічний зв'язок між головним і дугогасильним рухливими контактами. Дно камери стиснення забезпечено отворами, закритими автокомпресійним клапаном (17). При переміщенні рухомої системи вимикача вправо в процесі відключення автокомпресійний клапан забезпечує вирівнювання тиску в камері стиснення і в обсягах справа і зліва від рухомого дна. В цьому випадку обидва ці обсягу є джерелами дуття всередину порожнього рухомого дугогасильного контакту. При гасінні електричної дуги струму короткого замикання інтенсивний нагрів елегазу від дуги в лівому обсязі призводить до закриття автокомпресійного клапана. Тиск в зазначеному обсязі різко підвищується, що забезпечує підвищену інтенсивність дуття через дугу струму короткого замикання. Торцеві закінчення головних контактів (рухомого і нерухомого) виконані за профілем спеціальної форми, що дозволяє використовувати їх одночасно в якості

високовольтних екранів для розташованих усередині їх елементів. Нерухомий дугогасильний контакт має форму циліндричного стрижня і тугоплавке торцеве закінчення, виготовлене з композиції мідь-вольфрам (Кіріт). З'єднання торцевого закінчення з мідним стрижнем здійснюється за допомогою дифузійного зварювання. Так само з композиції мідь - вольфрам виготовлені пружні ламелі на торці рухомого дугогасильного контакту, виготовлене з композиції мідь-вольфрам (Кіріт). З'єднання торцевого закінчення з мідним стрижнем здійснюється за допомогою дифузійного зварювання. Так само з композиції мідь - вольфрам виготовлені пружні ламелі на торці рухомого дугогасильного контакту, виготовлене з композиції мідь-вольфрам (Кіріт).

Опорні ізолятори (5,6) виготовлені з товстостінної склопластикової труби забезпечені на торцях екранами, що забезпечують заданий розподіл електричного поля вздовж поверхні ізоляторів. Конструктивно екрани оформлені як торцеві закінчення металевої арматури склопластикових циліндрів, забезпечує механічне кріплення склопластикових циліндрів до корпусу вимикача і токоведучої системі. Заземлена металева арматура опорних ізоляторів фіксована на спеціальних припливах герметизуючих кришок бака вимикача. При монтажі всі елементи рухомої і нерухомої системи дугогасильного пристрою встановлюються на кришках бака, після чого кришки кріпляться до торцевих фланців бака.

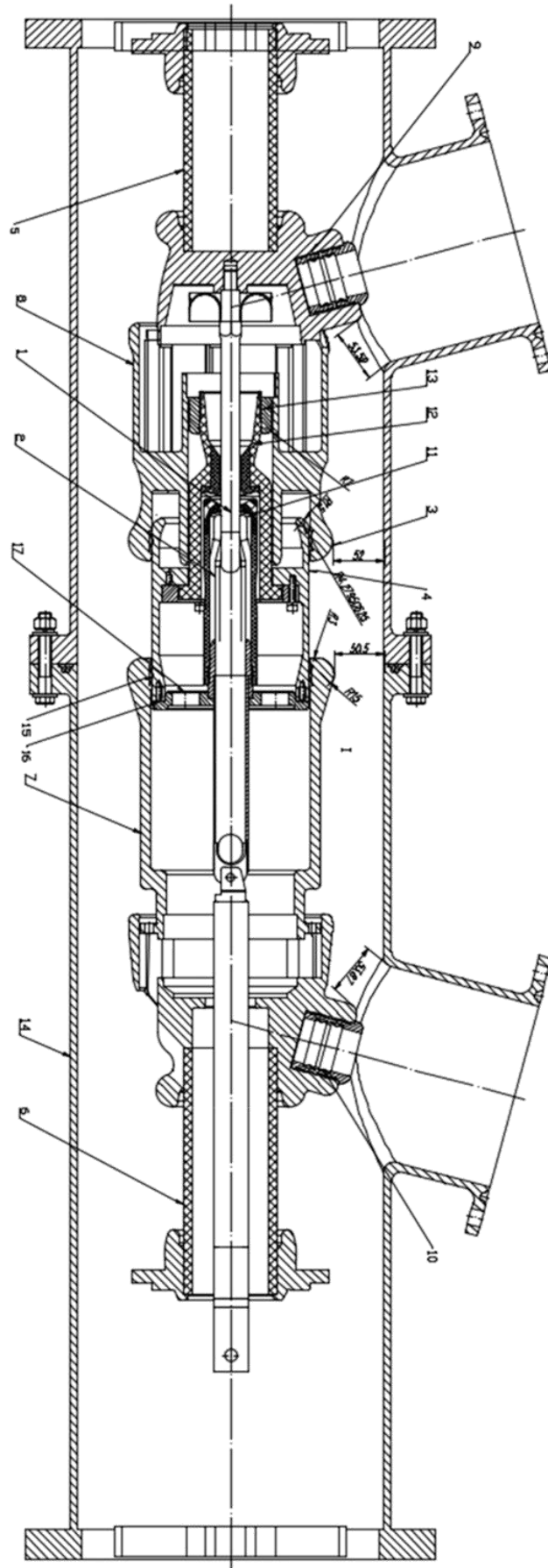


Рисунок 3.1 – Конструкція бакового вимикача класу напруги 110 кВ

Всі герметизуючі з'єднання на поверхні бака вимикача, а також днища високовольтних вводів забезпечені канавками для кілець ущільнювачів, що виготовляються із силіконової гуми. Це дозволяє підтримувати низький рівень витоків елегазу (менше 1% в рік) в широкому діапазоні температури від - 60 °С до + 40 °С. Всі елементи вимикача, виготовлені з міді, покриті шаром срібла методом гальванопокриття. У таблиці 3.1 показані основні технічні характеристики вимикача.

Таблиця 3.1 – Основні технічні параметри елегазового бакового вимикача 110кВ

	Один. вимір.	Значення параметра
СТАНДАРТИ		ГОСТ 52565, ANSI C37
Номінальна напруга	кВ	110
Найбільша робоча напруга	кВ	126
Номінальний струм	А	3150
Номінальний струм відключення	кА	40
Аперіодична складова в струмі відключення, не більше	%	47
Струм динамічної стійкості	кА	100
Струм термічної стійкості (3сек)	кА	40
Випробувальна напруга промислової частоти, 1 хв.	кВ	230
Випробувальна напруга грозового імпульсу щодо землі / між контактами	кВ	450/520
Довжина шляху витоків ізоляторів вводів	см	фарфор: 376 композит: 363

Продовження таблиці 3.1

Власний час відключення, не більше	з	0,030
Повний час відключення, не більше	з	0,05
Час включення, не більше	з	0,045
Мінімальна безструмова пауза при АПВ	з	0,3
Номінальний цикл операцій: - цикл 1 - цикл 1а - цикл 2		O-0,3с-BO-180с-BO O-0,3с-BO-20с-BO O-180с-BO-180с-BO
Кількість розривів на полюс		1
Ємнісний струм ненагруженої лінії	А	31,5
Діапазон робочих температур: -виконання У1 -виконання ХЛ1:	°С	-45 ÷ +40 -55 ÷ +40 -60* ÷ +40 (по узгодженню)
Номінальний абсолютний тиск елегазу (при 20 °С)	МПа	0,7
Допустимий рівень витоку елегазу в рік, не більше	%	1
Управління вимикача		полюсне
Споживана потужність приводів НМВ-1.0: - котушка включення (=110/220 В) - осн. і дод. котушки відключення (=110/220 В) - двигун насосу пружинно-гідравлічного приводу (~230 В)	А А А Вт	3×4,6/2,3 3×4,6/2,3 3×4,5 150/150

Продовження таблиці 3.1

Постійний антиконденсаційний/ низькотемпературний підігрів шафи управління (~230 В) Низькотемпературний підігрів приводного механізму (~230 В):	Вт	280
- для виконання У1 і ХЛ1 на -55°C	Вт	420
- для виконання ХЛ1 на -60°C	Вт	
Низькотемпературний підігрів баків полюсів (~ 230 В):	Вт	7050
- для виконання У1		9180
- для виконання ХЛ1 на : -55°C		11190
-60°C		
Маса вимикача повна	кг	до 4660
Маса елегазу	кг	29
Комутаційний ресурс вимикача без огляду і ремонту :		
- при номінальному струмі відключення ($I_{o, ном}$)	вимк.	16
- при 60% від $I_{o, ном}$		40
Механічний ресурс вимикача	цикл ВО	5000
Вбудовані трансформатори струму		<u>релейні</u> <u>вимірювальні</u>
- номінальний коефіцієнт трансформації	А	600;1200;2000;3000/1;5
- клас точності		5Р; 10Р 0,2
- максимальне навантаження	ВА	75 30
- гранична кратність		5 - 30 -
- коефіцієнт безпеки приладів		- 5, 10,...
Габаритні розміри	м	3,8×2,3×4,5

Продовження таблиці 3.1

Допустимий переріз зовнішніх кабелів не більше:	мм ²		
- ланцюгів трансформаторів струму, двигуна, обігріву		6,0	
- ланцюги управління		4,0	

Висновок:

Показана доцільність розгляду можливості використання контактної системи Multilam в якості головних контактів елегазового вимикача класу 110 кВ.

3.2 Модернізація конструкції головних контактів

Пропонована конструкція головного контакту, що використовує елементи Multilam, показана на рис.3.3. Нерухомий головний контакт являє собою порожнистий металевий корпус, виготовлений методом лиття з наступною токарною обробкою відповідальних поверхонь. До їх числа належить вся зовнішня поверхня контакту, що знаходиться під впливом сильного електричного поля, а так само внутрішня поверхня каналу для проходження ізолюючого сопла, торцеві поверхні і канавка для розміщення контактів Multilam. Нерухомий головний контакт виконує функцію елемента токоведучого ланцюга, а так само служить напрямною для торцевого екрану головного ізолюючого сопла. Після токарної обробки всі поверхні головного контакту покриваються захисним і контактним шаром срібла. Найбільш відповідальними розмірами нерухомого головного контакту є:

1. Зовнішній діаметр циліндричної пазухи, призначеної для входження головного рухомого контакту
2. Глибина канавки для розміщення контактів Multilam

3. Діаметр каналу для проходження торця головного ізолюючого сопла

4. Радіуси заокруглення торцевих закінчень, які формують електричне поле в розімкнутому положенні контактів

Для вибору зазначених розмірів є такі конструктивні підстави.

Діаметр зовнішньої циліндричної пазухи повинен бути досить великим для розміщення всередині рухомого дугогасильного контакту, необхідних елементів дугогасильного пристрою (головне ізолююче сопло з торцевим екраном), а так само для того, щоб мати можливість на окружності з зазначеним діаметром розмістити контакти Multilam з необхідною кількістю контактних пластин. Відповідно до розмірів головного рухомого контакту діаметр d_1 обраний рівним 158 мм. При цьому довжина кола становить $\pi d = 496$. При кроці між контактними пластинами обраного контакту Multilam кількість контактних пластин становить 177 штук. Відповідно до технічних характеристик контактів Multilam контактний опір однієї пластини становить 140 мкОм.

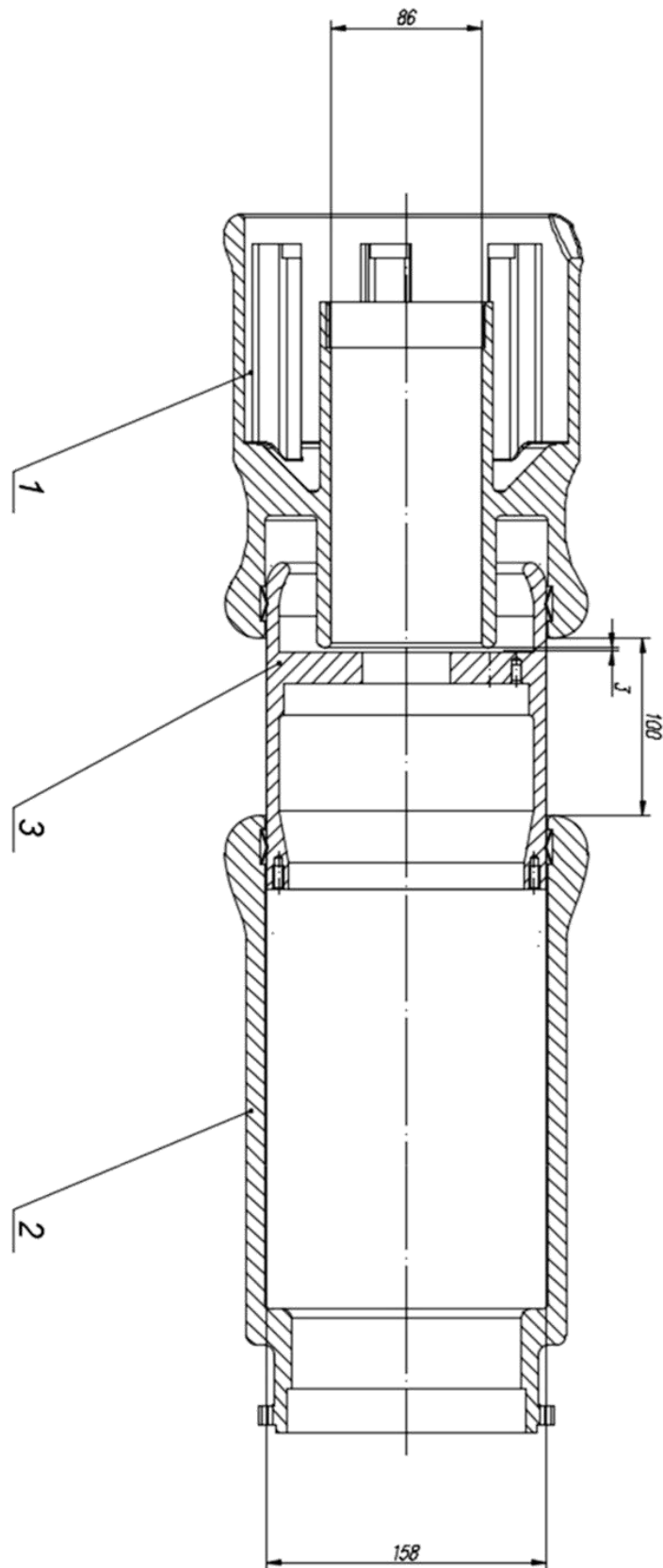


Рисунок 3.2 – Конструкція головного контакту

Глибина канавки для розміщення контактів Multilam визначається на підставі технічних характеристик контактів по заданій висоті контакту 2.7 мм, заданому провалу контактів рівному 1.4 мм (див. Рис.1.14), а так само з урахуванням радіального зазору між рухомим і нерухомим головними контактами, рівного 0.15 мм. Таким чином, глибина канавки для розміщення контактних пластин становить $2.7-1.4-0.15 = 1.15$ мм.

Діаметр каналу для проходження ізолюючого сопла d_2 визначається розмірами сопла і необхідністю розмістити на його торці металевий нерухомий екран (поз. 13 рис.3.1). У даній конструкції діаметр d_2 прийнятий рівним 86.

В розімкнутому положенні контактів електричне поле на торці приймає найбільше значення на зовнішньому радіусі заокруглення r_1 , а так само на внутрішньому радіусі r_2 . У запропонованій конструкції зазначені радіуси прийняті рівними 15 і 3 мм, спрямовуюча поверхню екрану ізолюючого сопла так само має радіус округлення r_3 , що визначає напруженість електричного поля в розімкнутому стані. У даній конструкції величина r_3 прийнята рівною 7 мм.

Рухомий головний контакт складається з двох елементів: нерухомий корпус і рухливий елемент, з'єднаний з нерухомим корпусом ковзаючим контактним з'єднанням типу Multilam. Розміри канавки під контакти Multilam в нерухомому корпусі, а також радіуси заокруглення на його торці вибираються аналогічно тому, як це зроблено на нерухомому контакті. Торцева частина рухомого елемента в розімкнутому стані вимикача так само є місцем концентрації електричного поля, тому для конструкції головних контактів істотний вибір величини радіусів заокруглення r_4 , r_5 . У даній конструкції прийняті наступні значення радіусів: $r_4 = 15$ мм, $r_5 = 4.3$ мм. Відстань в світлі між елементами рухомого і нерухомого контактів визначає електричну міцність межконтактного проміжку, а також хід рухомої контактної системи 100мм.

В замкнутому положенні вимикача форма нерухомих елементів обох контактів (радіуси заокруглення $r_1 = 15$ мм) визначає електричну міцність проміжків між контактною системою і заземленим корпусом вимикача. У

розімкнутому положенні вимикача електрична міцність межконтактного проміжку визначається вибором зазначених радіусів торцевих заокруглень, а також взаємним становищем цих елементів (включаючи нерухомий дугогасильний контакт, який не зображений на рис.3.3). Детально взаємне положення всіх елементів контактної системи в розімкнутому стані вимикача згідно розділу 4.

3.3 Конструкція дугогасильних контактів

Під час пропонованої модернізації контактної системи електричного вимикача запропонована заміна традиційної ламельної конструкції головних контактів на систему пазогребневих пластин типу Multilam. Для цього не потрібно вносити істотні зміни в конструкцію дугогасильних контактів.

Дугогасильні контакти складаються з рухомого і нерухомого контактів. Нерухомий дугогасильний контакт являє собою мідний стрижень діаметром 18 мм, забезпечений на торці насадкою з тугоплавкого матеріалу. Матеріал торця насадки - композиція міді і вольфраму, що володіє високою стійкістю до дії електричної дуги великого струму, а так само стійкістю до дії продуктів розкладання електричного. З'єднання мідного стержня з торцевою насадкою здійснюється методом дифузійної зварки. Торцевий нерухомого контакту округлений таким чином, щоб забезпечувати мінімальну напруженість електричного поля при розімкнутому стані вимикача. Дугогасильний рухливий контакт - це сопло, виготовлене з міді з тугоплавким дугостійким торцевим закінченням. Торцеве закінчення має вісім розрізів, що створюють вісім ламелей, кожна з яких має пружні властивості. Величина контактної підтискування пружних ламелей становить 4.3 Н. В замкненому положенні вимикача конструкція дугогасильних контактів забезпечує величину перехідного контактної опору не більше 400 мкОм.

Конструкція дугогасильної камери забезпечує потік електричного через щілину між дугогасильними контактами, що виникає в процесі розмикання контактів.

Для того щоб потік елегазу був направлений в область горіння дуги, а не розсіювався в розрізі між ламелями рухомого контакту, рухливий контакт забезпечений фторопластовою накладкою. Вона закриває торцеву частину рухомого контакту з боку надлишкового тиску елегазу.

Рухомий дугогасильний контакт жорстко встановлений на рухомому дні дугогасильної камери, пов'язаному з головним контактом. На цій конструкції так само жорстко фіксоване головне діелектричне сопло, що забезпечує компресію елегазу при переміщенні рухомої системи. Таким чином, потік елегазу спрямований на електричну дугу через кільцевий канал між головним соплом і діелектричною накладкою на рухомому дугогасильному контакті.

На торці головного сопла встановлена провідна насадка, виготовлена з композиції на основі вуглецю. Призначення проводить насадки - вирівнювання електричного поля поблизу торця нерухомого контакту не ввімкнений вимикача.

3.4 Методика розрахунку і оцінка режиму роботи головних контактів

Розрахунок виконаний з метою аналізу перехідного процесу, що виникає при розмиканні головних контактів високовольтного вимикача при наявності замкнутих дугогасильних контактів.

3.4.1. Фізична модель

В процесі розмикання вимикача спочатку відбувається розмикання головних контактів, потім - розмикання дугогасильних контактів. Контактну систему елегазового вимикача схематично зображено на рис.3.4. При використанні на головному нерухомому контакті контактної системи Multi-contact, кожен з пружних контактних елементів має форму, схожу з трапецією (див. Рис.1.15), і притиснутий до масивного нерухомого контакту (до великої основи трапеції) з глибиною підтискання, складової 1.5- 2.5 мм (позначено Δ на рис.3.4)

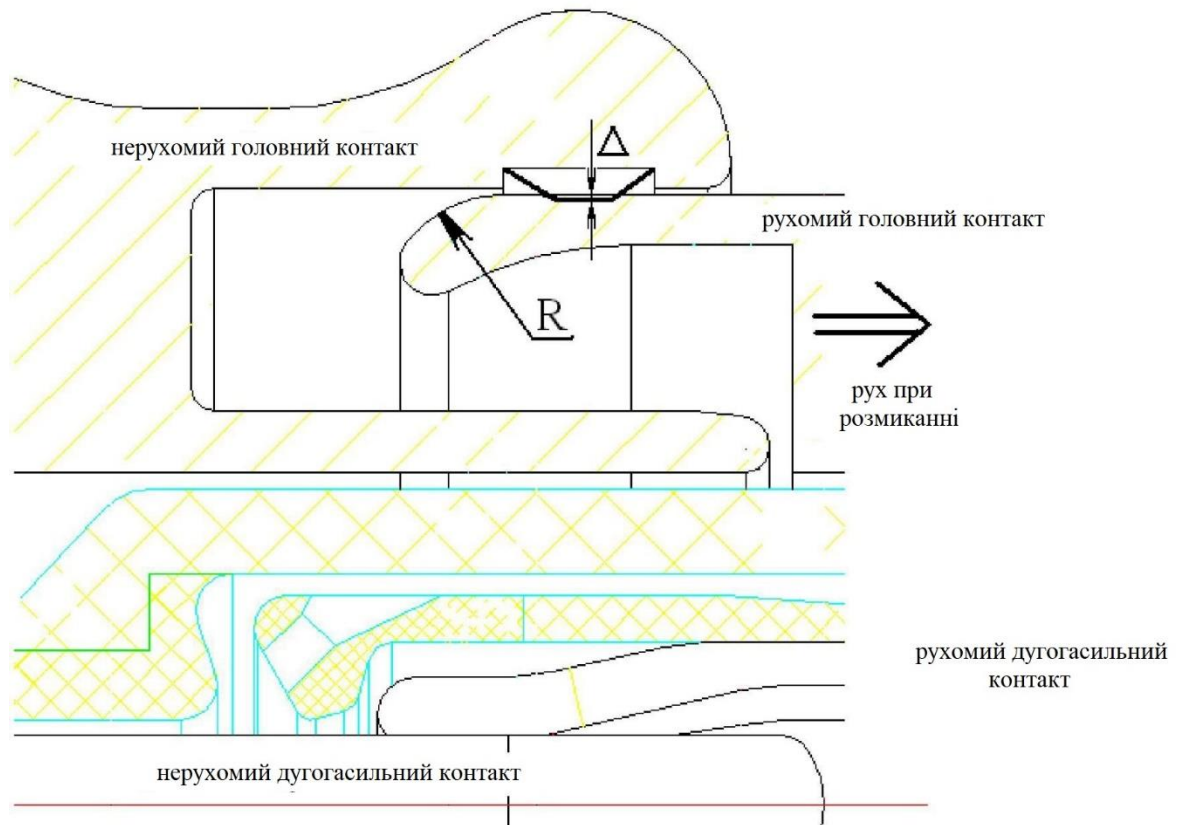


Рисунок 3.3 – Пристрій блоку головних контактів при використанні системи Multilam.

При розмиканні рухливий контакт, який має форму циліндра з округленим торцем (радіус округлення становить 10-15 мм), ковзає по малому основі трапеції. При досягненні округленим торцем краю малої підстави трапеції пружні елементи розпрямляються, деякий час залишаючись в гальванічному з'єднанні з рухомих контактом. При цьому сила підтискання (контактне натискання) поступово зменшується від максимального значення, що відповідає замкнутому положенню, до нуля. Перехідний опір контактів збільшується від мінімального значення (близько 300 мкОм на один пружний елемент) в замкнутому положенні до нескінченності. Залежно від мінливого опору між контактами електричний струм в головних контактах зменшується від максимального значення до нуля.

Велике значення максимального струму (при короткому замиканні оцінюється величиною 40 кА) і виникнення великого контактного опору в

перехідному режимі визначають можливість розігріву контактів, руйнування шару сріблення, формування фторидів металів і збільшення перехідного опору.

Оцінка тривалості процесу.

Тривалість розтискання пружних елементів системи Multicontact і процесу збільшення перехідного опору від мінімального значення до нескінченності залежить від величини попереднього підтискання Δ , форми пружного елемента і торцевого заокруглення рухомого контакту, а також швидкості його руху. Передбачуваний для використання контакт Multi-contact марки LA-CUDD має ширину (велика підстава трапеції на рис.3.4), що дорівнює 19 мм. При радіусі торцевого заокруглення R15 мм довжина шляху рухомого контакту, на якому відбувається зростання перехідного опору, оцінена величиною 5 мм. При швидкості руху рухомої системи, що дорівнює 5 м/с, тривалість процесу розмикання головних контактів оцінюється величиною $\Delta t = (5 \text{ мм}) / (5 \text{ м/с}) = 1 \text{ мс}$.

Оцінка величини перехідного опору.

На еквівалентній схемі вимикача (див. Рис.3.5) опір R1 імітує перехідний опір головних контактів в повністю замкнутому положенні, а також його зміна в процесі розмикання. Напочатку розрахунку опір R1 дорівнює малій величині, що дорівнює перехідному опору головних контактів (порядку одиниць мікро).

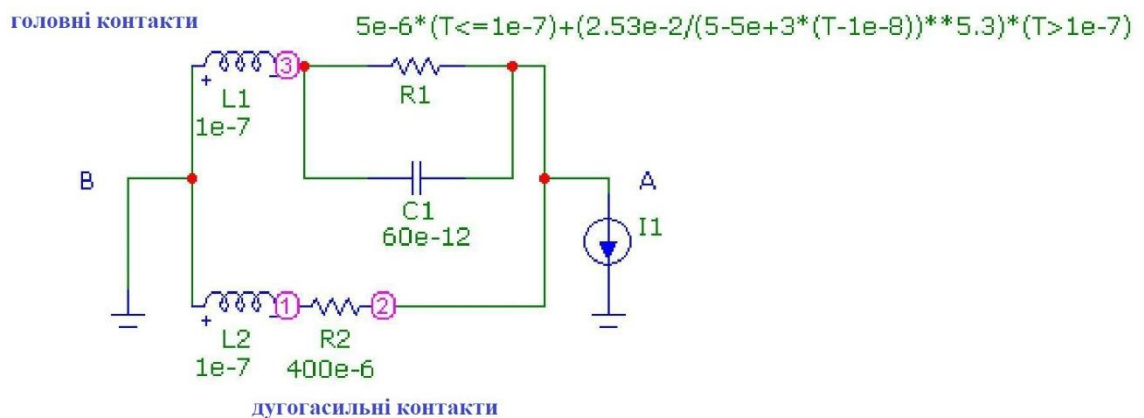


Рисунок 3.4 – Еквівалентна схема контактної системи при $R_{\max} = 25,5 \text{ мкОм}$

Для імітації розмикання головних контактів в обраний момент часу $t_1 = 10$ нс, з початком ходу головного рухомого контакту, починається збільшення перехідного контактного опору. Зміна опору R_1 в залежності від часу відбувається за законом:

$$R_1 = R_0 \frac{1}{x^\alpha} \quad (3.1)$$

де R_0 і α – постійні параметри, X – відстань точки контактування головних контактів до точки їх розмикання (мм).

В процесі розмикання відстань X зменшується від 5 мм до нуля з постійною швидкістю, що дорівнює 5 м/с. Відстань X пов'язано з ходом головного контакту S співвідношенням

$$X = 5 \text{ мм} - S, 0 < S < 5 \quad (3.2)$$

параметри R_0 і α у формулі (3.1) визначені з наступних умов:

1. при $X = 0.5$ мм ($S = 4.5$ мм), тобто на відстані 0.5 мм до точки розмикання контактів перехідний опір становить 1 Ом

$$1 = R_0 \frac{1}{0,5^\alpha} \quad (3.3)$$

2. напочатку руху при повністю замкнених контактах ($X = 5$ мм, $S = 0$) перехідний опір дорівнює 5 мкОм

$$5 * 10^{-6} = R_0 \frac{1}{5^\alpha} \quad (3.4)$$

Спільне рішення рівнянь (3.3) і (3.4) дозволяє отримати наступні значення параметрів

$$\alpha = 5,30; R_0 = 0,025365 \quad (3.5)$$

На рисунку 3.5 показаний графік зміни опору R1 в залежності від ходу головного контакту S. Графік побудований в діапазоні 4 мм <math>S < 5</math> мм в зоні інтенсивного зростання опору при переміщенні головного рухомого контакту.

На рисунку 3.5 показаний графік зміни опору R1 в залежності від ходу головного контакту S. Графік побудований в діапазоні 4 мм <math>S < 5</math> мм в зоні інтенсивного зростання опору при переміщенні головного рухомого контакту.

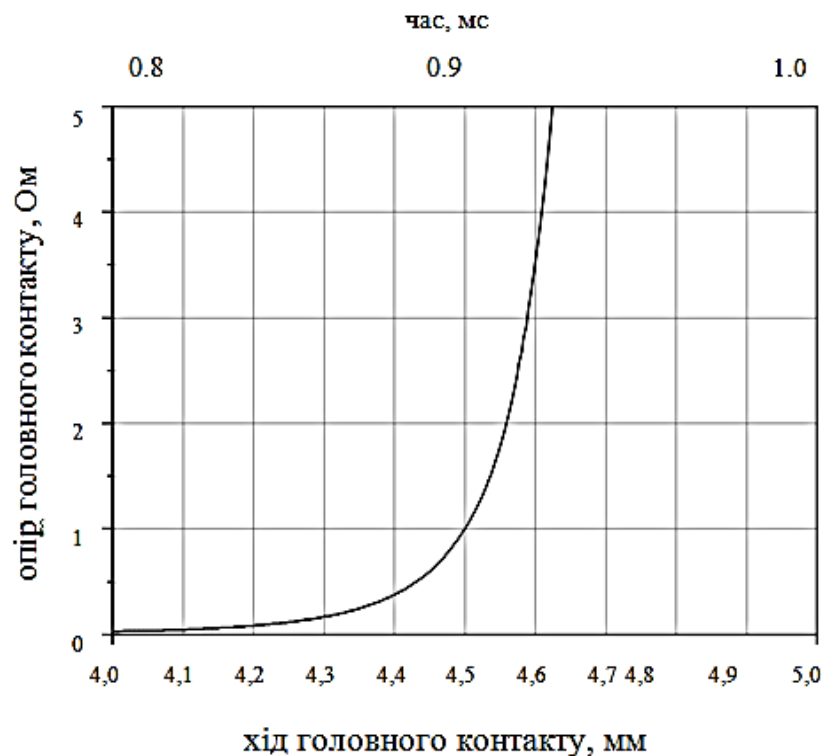


Рисунок 3.5 – Залежність опору головних контактів (резистор R1) від пройденого шляху S і від часу.

Хід головного контакту S прямо пропорційний часу. Час від початку переміщення вказано у верхній частині рисунку 3.5 При $S = 4$ мм цей час одно $(4 \text{ мм}) / (5 \text{ м / с}) = 0,8$ мс, при $S = 5$ мм воно дорівнює 1 мс.

З огляду на невизначеності зроблених оцінок було прийнято, що повна величина струму, що протікає через вимикач, незмінна під час перехідного процесу. Використана методика розрахунку дозволяє виконати його при довільній залежності струму від часу, в тому числі синусоїдальної.

3.4.2. Методика розрахунку

Розрахунки виконані із застосуванням програми Micro-Cap, версія 9.0.7.0.

3.4.3. Еквівалентна схема контактної системи вимикача

Еквівалентна схема електричних з'єднань при протіканні струму у вимикачі показана на рис. 3.5.

Прийнято, що електричний струм протікає через вимикач під дією джерела постійного струму I_1 . Величина струму, що протікає через джерело, увесь час перехідного процесу постійна і умовно дорівнює одиниці. Джерело струму підключено до рухливої системи вимикача (на схемі справа), нерухома частина токоведущей системи (на схемі зліва) заземлена.

Еквівалентна схема вимикача складається з двох паралельних RL ланцюжків, які представляють шляху протікання струму через головні (R1-L1) і дугогасильні (R2-L2) контакти, причому активні опори R1, R2 представляють перехідні опори відповідних контактів і відрізків токоведущої системи, а L1, L2 - індуктивності коротких (100 - 200 мм) паралельних відрізків токоведущої системи в головних і дугогасильних контактах.

Вибір величини перехідного опору головних контактів R1 описаний вище.

Закон зміни опору R1 (3.1) внесений у розрахункову схему, показану на рис.3.5.

Паралельно активному перехідному опору головних контактів у схемі включена ємність C1, що імітує геометричну ємність між контактами. Ємність C1 утворена кільцевим зазором між нерухомим і рухомим головними контактами. Ширина зазору в радіальному напрямку дорівнює 0.5 мм, радіус контактів дорівнює 80 мм, глибина вкладення рухомого контакту в нерухомий близько 20 мм. При цих розмірах ємність C1 оцінена величиною:

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{\epsilon_0 * 2\pi * 0,08 * 0,02}{0,5 * 10^{-3}} = 56,6 \text{ пФ} \quad (3.6)$$

3.4.4. Оцінка параметрів еквівалентної схеми

Оскільки точне визначення параметрів еквівалентної схеми рис.3.5 практично неможливо, для розрахунку використані їх оціночні значення, певні на підставі простих геометричних міркувань, а також досвіду конструювання аналогічних пристроїв. Деякі з оцінюваних параметрів (наприклад, перехідні опори контактів) можуть істотно змінюватися в процесі експлуатації; інші (наприклад, ємність між розмикаючими контактами) - також і в процесі комутації.

Невизначеною величиною є активний опір головних контактів при завершенні процесу розмикання. Крім того, прийняте в розрахунку лінійну зміну контактного опору в залежності від часу свідомо відрізняється від дійсного.

Невизначеність параметрів еквівалентної схеми вимикача дозволяє використовувати результати виконаних розрахунків для якісної оцінки перехідного процесу.

Оцінка активного опору контактів.

В розрахунку прийняті наступні значення перехідних опорів контактів:

1. активний опір дугогасильних контактів $R_2 = 400 \text{ мкОм}$
2. активний опір повністю замкнених нерухомих головних контактів в вихідному положенні дорівнює 5 мкОм (параметр $R_{\text{max}} \text{ HE}$ задається).

Оцінка ємності межконтактного проміжку.

На підставі п.3 при виконанні розрахунків величина ємності між контактами С1 прийнята рівною 60 пФ .

3.4.5. Результати розрахунку

Під час обчислень аналізувалися наступні змінні:

1. Величина струму через опір R_1 , що імітує розмикаючі головні контакти
2. Падіння напруги на опорі R_1
3. Потужність, що виділяється в опорі R_1 .

На рис.3.7-3.9 показані графіки зміни зазначених змінних при значеннях опору R1, визначається формулою (3.1) і параметрами (3.4).

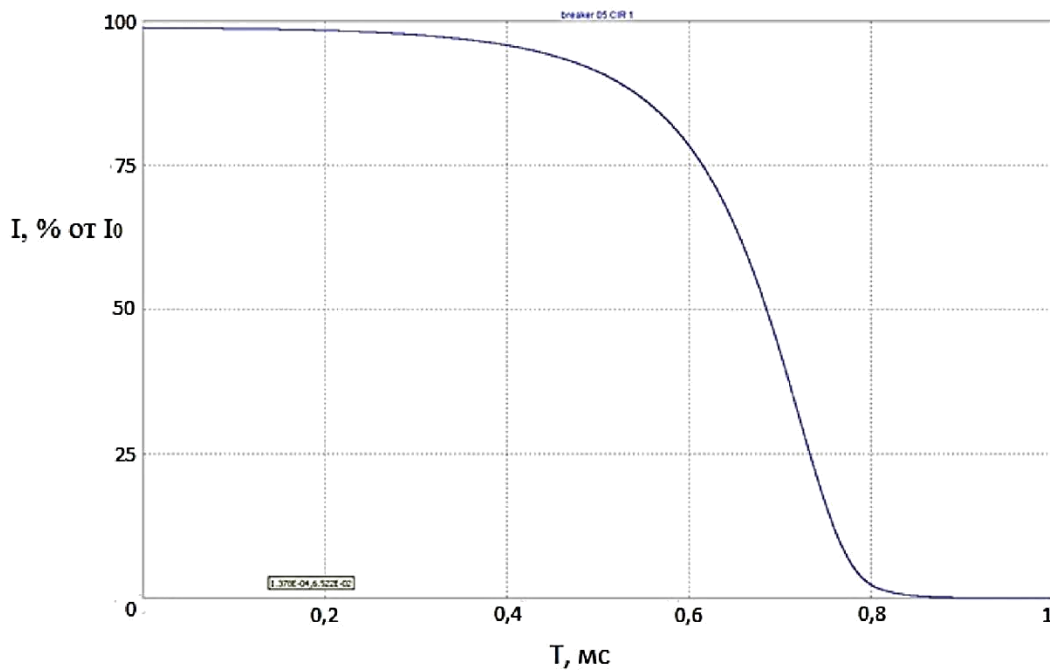


Рисунок 3.6 – Залежність струму в головних контактах (резистор R1) від часу виключення.

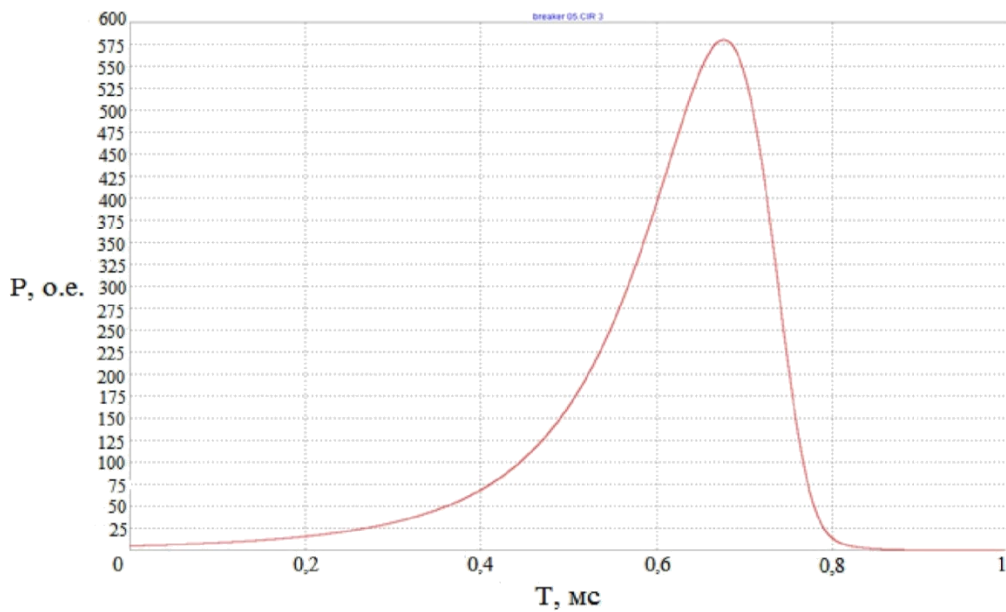


Рисунок 3.7 – Залежність падіння напруги на головних контактах (резистор R1) від часу.

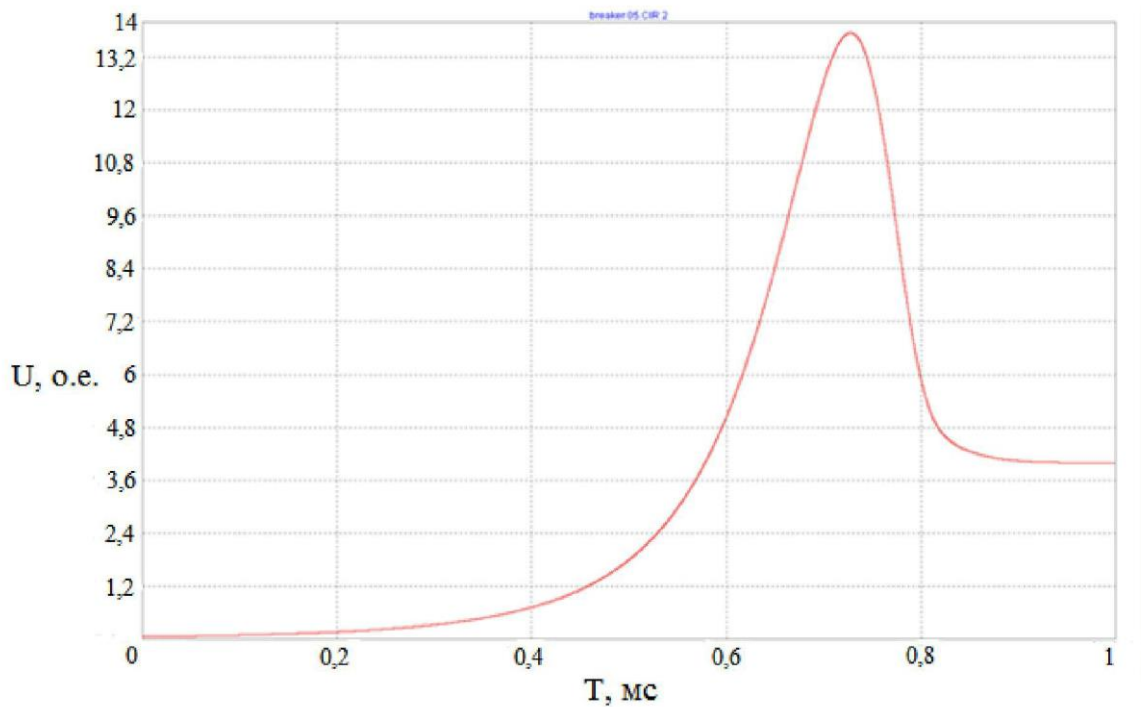


Рисунок 3.8 – Залежність потужності, що виділяється в головних контактах (резистор R1) від часу

При $R_1 = 5 \text{ мкОм}$, $R_2 = 400 \text{ мкОм}$, початкова величина струму в головних контактах дорівнює:

$$I_1 = I_0 \frac{400}{405} = 0,987 * I_0 \quad (3.7)$$

Як видно на рисунку 3.7, величина струму в головних контактах плавно зменшується від початкового великого значення до нуля за час порядку 0.8 мс.

Падіння напруги на головних контактах (рис.3.8), мале при початковому малому значенні перехідного опору, потім зростає через зростання контактного опору, і знову зменшується до мінімального значення при зникненні струму в контактах. Максимальне падіння напруги на головних контактах становить 14 відносних одиниць, (або 56 В при $I_0 = 40 \text{ кА}$). Це значно більше, ніж контактне падіння напруги при нормальному замкнутому положенні контактів, рівне $5 \text{ мкОм} \cdot 100 \text{ кА} = 0.5 \text{ В}$.

Потужність, що виділяється в контактному опорі (рис.3.9) також досягає максимального значення при проміжному положенні контактів. Як видно на рисунку 3.9, це значення становить $575 \cdot 10^{-6} \cdot (I_0)^2 = 575 \cdot 10^{-6} \cdot (40000)^2 = 92 \cdot 10^4$ Вт. У режимі роботи при повністю замкнених контактах потужність, що виділяється, дорівнює:

$$(I_1)^2 R_1 = 10^{10} \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^4 \text{ Вт} \quad (3.8)$$

Таким чином, в перехідному режимі потужність, що виділяється, як і величина падіння напруги на контактах, значно перевершує початкове значення.

Енергія, виділена в контактах, постійно наростає з плином часу. До моменту завершення перехідного процесу енергія досягає рівня

$120 \cdot 10^{-9} \cdot (I_0)^2 = 120 \cdot 10^{-9} \cdot (40000)^2 = 192$ Дж. У режимі роботи при повністю замкнених контактах виділяється за час 10^{-3} с енергія дорівнює

$$(I_1)^2 R_1 \cdot 10^{-3} = 10^{10} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3} = 50 \text{ Дж} \quad (3.9)$$

Видно, що через зміни перехідного опорів енергія, що виділяється, збільшилася менш, ніж в 4 рази, що по завіреннях фірми Multi-contact є прийнятним режимом роботи.

Таблиця 3.2 – Зіставлення параметрів вихідної і модернізованої контактних систем.

	Параметр	Вихідна система	Модернізована система
1.	Конструкція нерухомого головного контакту	ламелі зі срібним покриттям (24 штуки)	система пазогребневих пластин Multilam (177 пластин)
2.	Перехідний контактний	Не більше 40 мкОм	Не більше 1 мкОм

Продовження таблиці 3.2

	опір в замкнутому положенні		
3.	Наявність спеціальних пружин підтискання	Є	Не має
4.	Загальна маса контактних елементів головного нерухомого контакту	960 г	40 г
5.	Технологія складання	вимагає спеціального оснащення	Не вимагає спеціального оснащення
6.	Вартість контактних елементів	9200 грн.	2200 грн.

Висновки:

Відповідно до виконаних розрахунків процес розмикання контактів пов'язаний з виділенням значної енергії. Однак, за заявою представників фірми Multi-contact отриманий рівень енерговиділення безпечний для використаних контактів Multilam. Грунтуючись на рис.3.10, можна зробити висновок про доцільність модернізації конструкції.

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

4.1. Розрахунок електричного поля в дугогасильному пристрої

Розрахунок виконаний відповідно до креслення, показаному на рис.3.3. Мета розрахунку - визначення напруженості на елементах дугогасильної камери бакового вимикача в розімкненому положенні.

Фрагменти креслення показані на рис.4.1, 4.2.

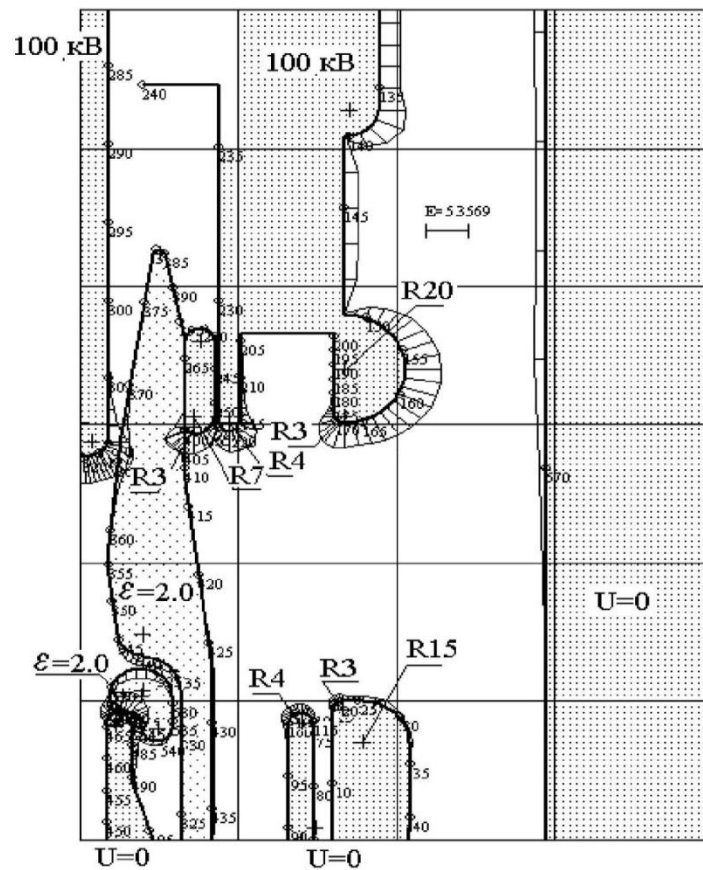


Рисунок 4.1 - Фрагмент креслення на рис.3.1.

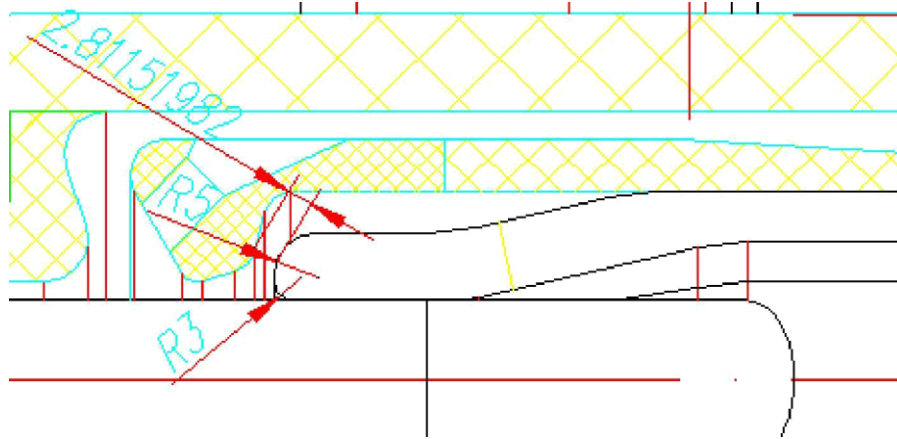


Рисунок 4.2 - Фрагмент креслення «Збірка-XD.dwg».

Розрахункова модель показана на рис.3.4-3.5.

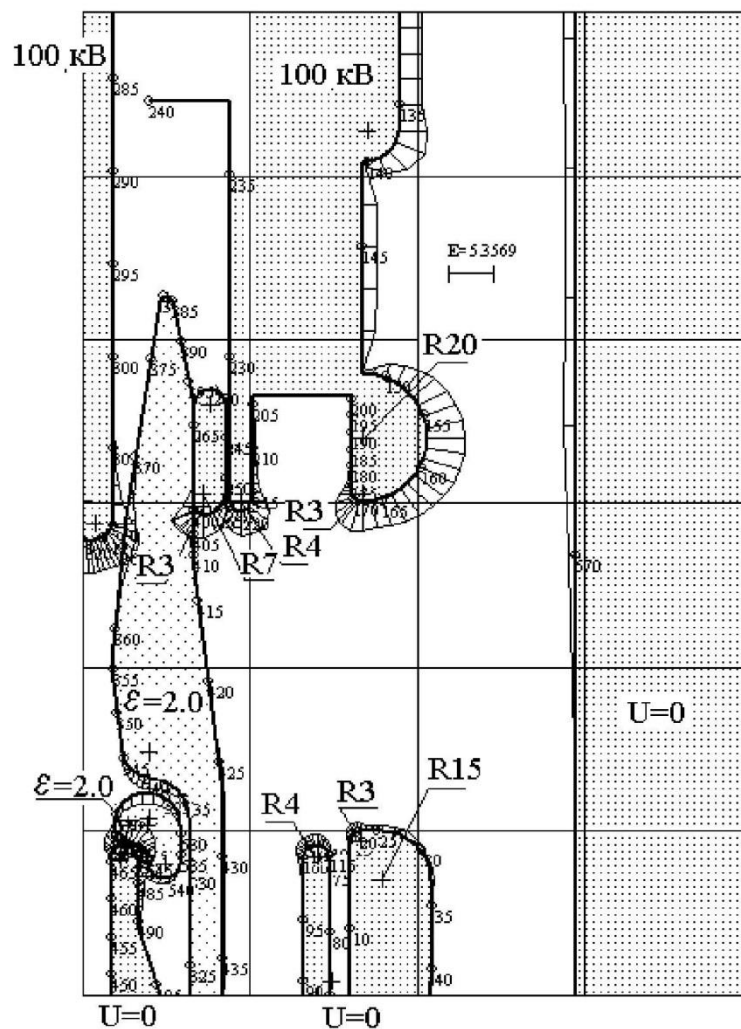


Рисунок 4.3 - Розрахункова модель ДУ 110 кВ. Фрагмент, сітка 50x50 мм.

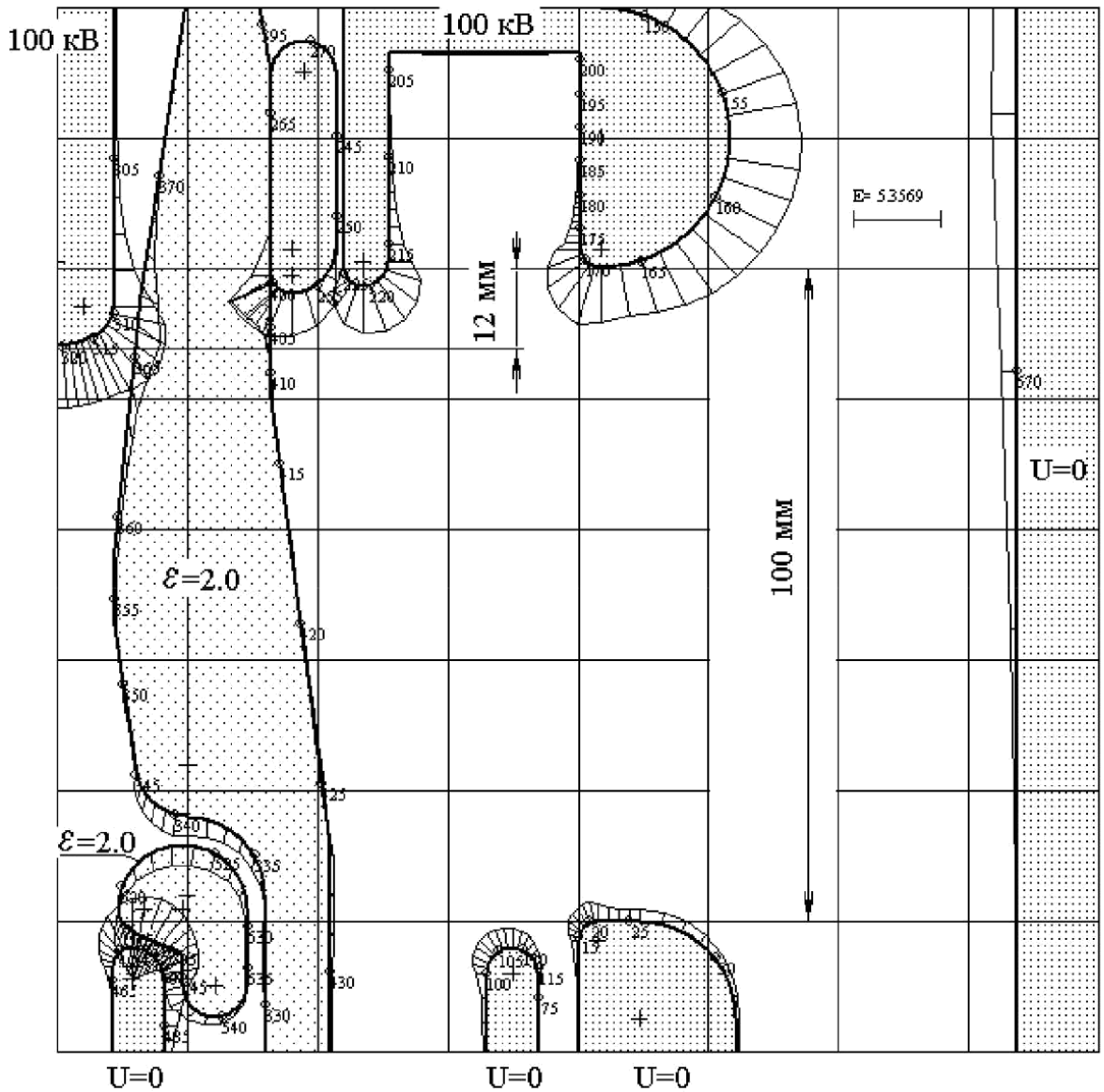


Рисунок 4.4 – Розрахункова модель ДУ 110 кВ. Фрагмент, сітка 20x20 мм

Розрахунки виконані при двох системах потенціалів

1. потенціалі нерухомого контакту 100 кВ, потенціал рухомого контакту

$U = 0$ (система 100/0)

2. потенціалі нерухомого контакту $U = 0$, потенціал рухомого контакту 100 кВ (система 0/100)

Відносна діелектрична проникність фторопласта прийнята рівною 2.0.

Розрахункова модель розміщена в оболонці діаметром D295 мм (R147 / 5 мм).

Відстань між екранами головних контактів в світлі дорівнює 100 мм.

Отримані результати показані епюрами розподілу напруженості по поверхні елементів розрахункової моделі на рис.3.3, 3.4, графіками рис.3.6-3.8 і зведені в таблицю на рис.3.5.

Таблиця 4.1 - Напруженість на елементах розрахункової моделі рис.3.3 3.4.

№ п / п	Положення	Напруженість, 100/0 кВ / мм	Напруженість, 0/100 кВ / мм
1	Екран головного рухомого контакту R15 / R3	1.158	4.454
2	Торець головного рухомого контакту R4	1.255	2.477
3	Екран головного нерухомого контакту R20 / R3	4.308	1.156
4	Торець головного нерухомого контакту R4 / R3	2.835	1.547
5	Провідна насадка на головному соплі R7 / R3	3.016	2.078
6	Торець дугогасильного нерухомого контакту R5 / R13	4.012	2.893
7	Головне діелектричне сопло (поблизу торця насадки)	2.743	1.890

Продовження таблиці 4.1

8	Рухомий дугогасильний контакт R3 / R5	3.250	4.652
9	Діелектрична накладка на рухомому дугогасильному контакті R5 / R5	2.513	3.595
10	Оболонка $U = 0$ R185 мм	1.603	1.883

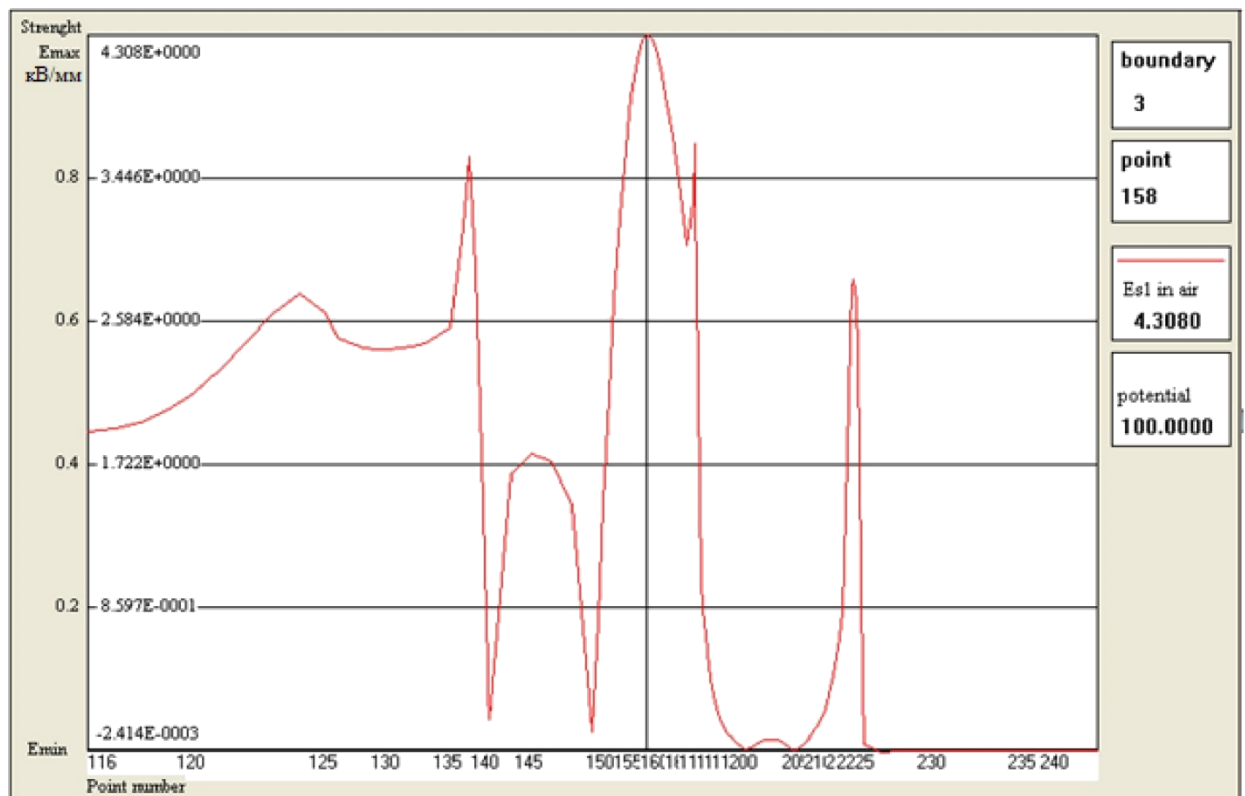


Рисунок 4.5 – Розподіл напруженості по поверхні екрану головного нерухомого контакту в моделі рис.4.3-4.4 при потенціалах 100/0

Максимум напруженості на торці головного нерухомого контакту дорівнює 4.308 кВ / мм.

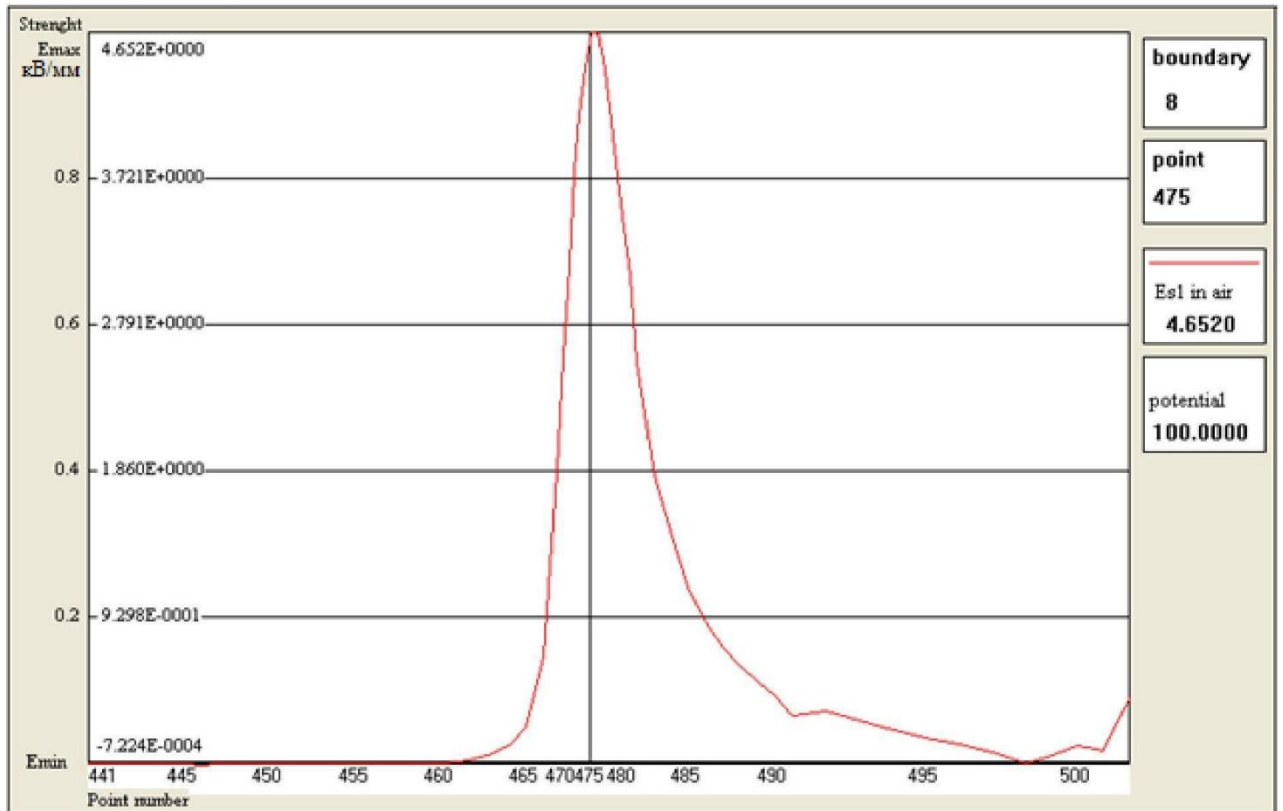


Рисунок 4.6 – Розподіл напруженості по поверхні рухомого дугогасильного контакту в моделі рис.4.3-4.4 при потенціалах 0/100.

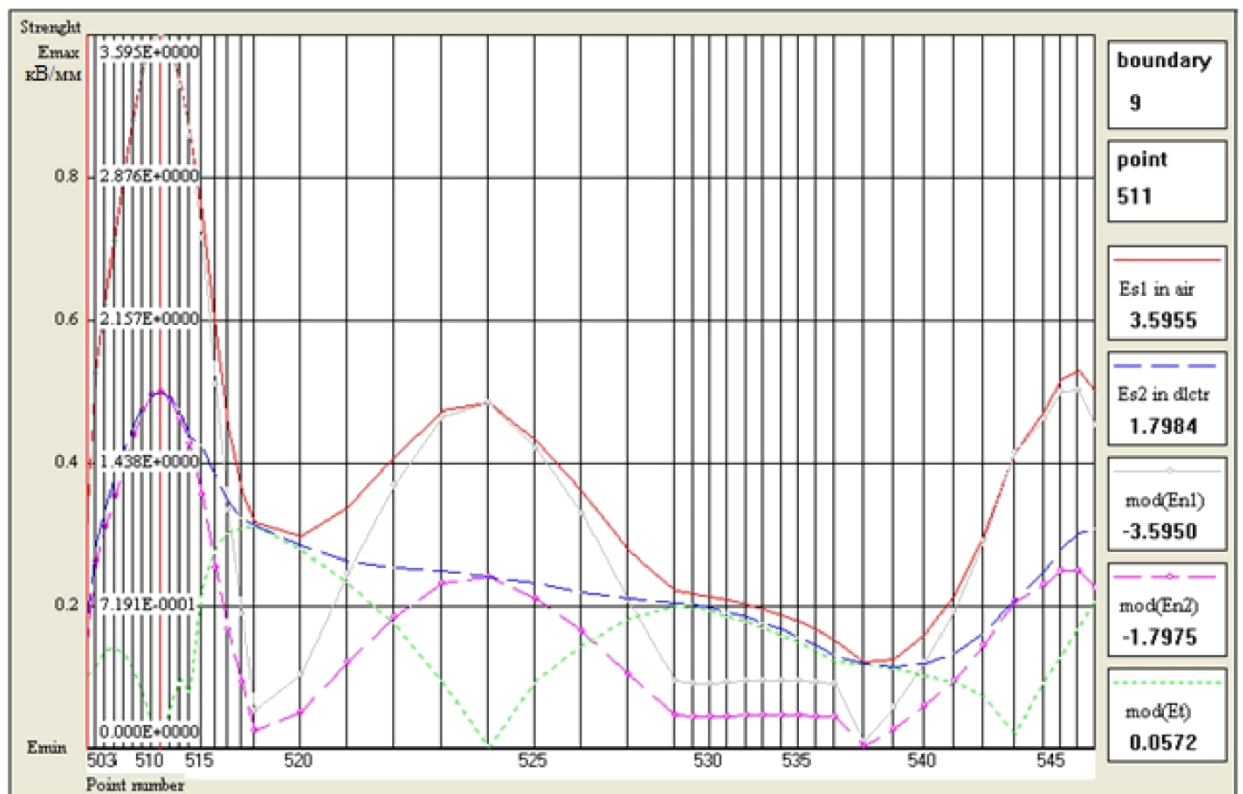


Рисунок 4.7 – Розподіл напруженості по поверхні діелектричної накладки на рухомому дугогасильному контакті в моделі рис.4.3-4.4

Максимум напруженості на торці контакту дорівнює 4.652 кВ / мм.

Потенціали 0/100.

Максимум напруженості в точці 511 дорівнює 3.595 кВ / мм.

При потенціалах 100/0 максимальна напруженість виникає на екрані головного нерухомого дугогасильного контакту, де дорівнює 4.31 кВ / мм при 100 кВ, або 23.69 кВ / мм при 550 кВ. На діелектрику в цьому режимі напруженість максимальна на головному діелектричному соплі поблизу провідної насадки, де дорівнює 2.743 кВ / мм при 100 кВ, або 15.08 кВ / мм при 550 кВ.

При потенціалах 0/100 максимальна напруженість виникає на торці рухомого дугогасильного контакту, де дорівнює 4.652кВ / мм при 100 кВ, або 25.59 кВ / мм при 550 кВ. На діелектрику в цьому режимі напруженість максимальна на діелектричній накладці на рухомому дугогасильному контакті, де дорівнює 3.595 кВ / мм при 100 кВ, або 19.77 кВ / мм при 550 кВ.

4.2 Визначення оптимального положення контактів Multilam в рухомому головному контакті

Мета даного розрахунку - визначення допустимого положення елемента Multi-contact на головному нерухомому контакті вимикача.

Розрахункова модель показана на рис.4.9, 4.10.

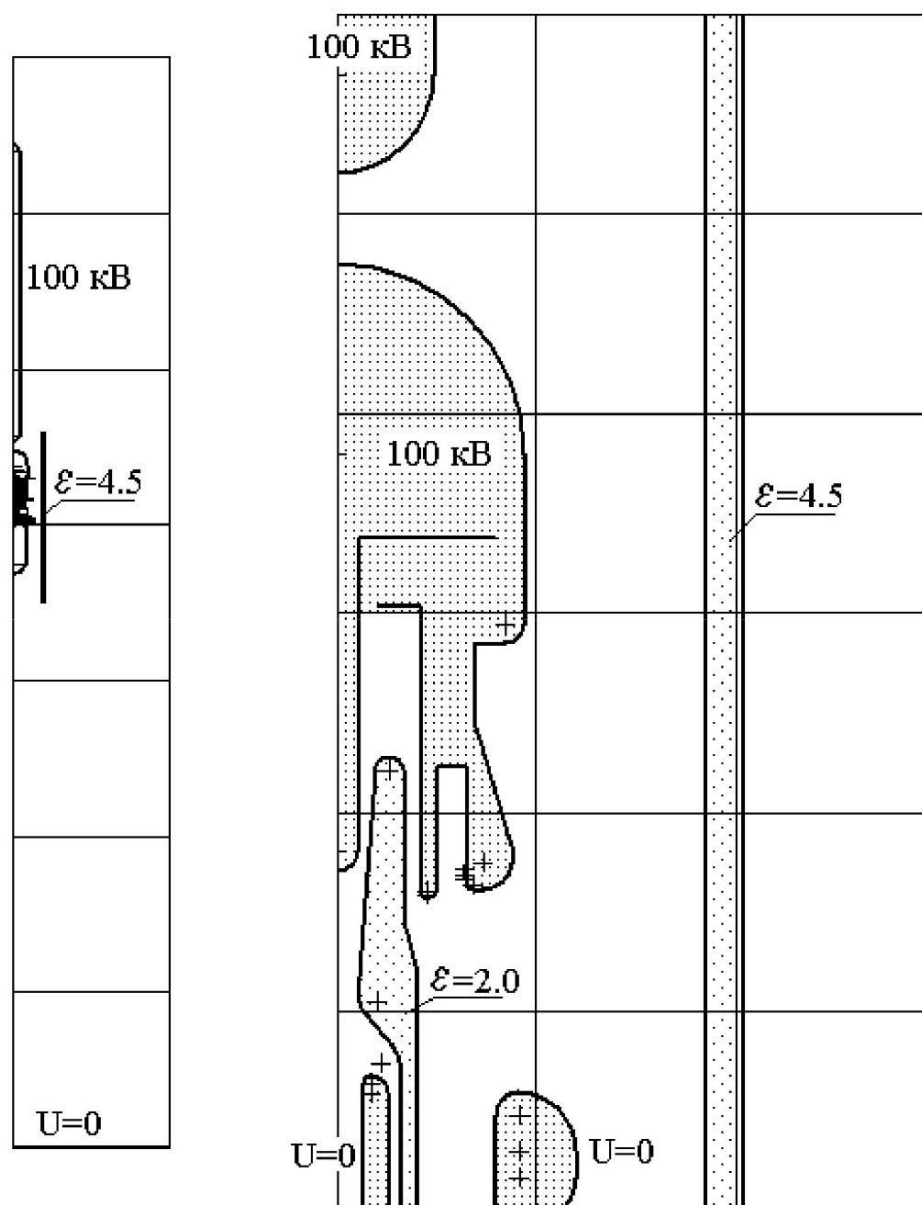


Рисунок 4.8 – Розрахункова модель ДУ 110 кВ. Зліва - загальний вигляд, сітка 1000x1000 мм, праворуч – фрагмент, сітка 100x100 мм.

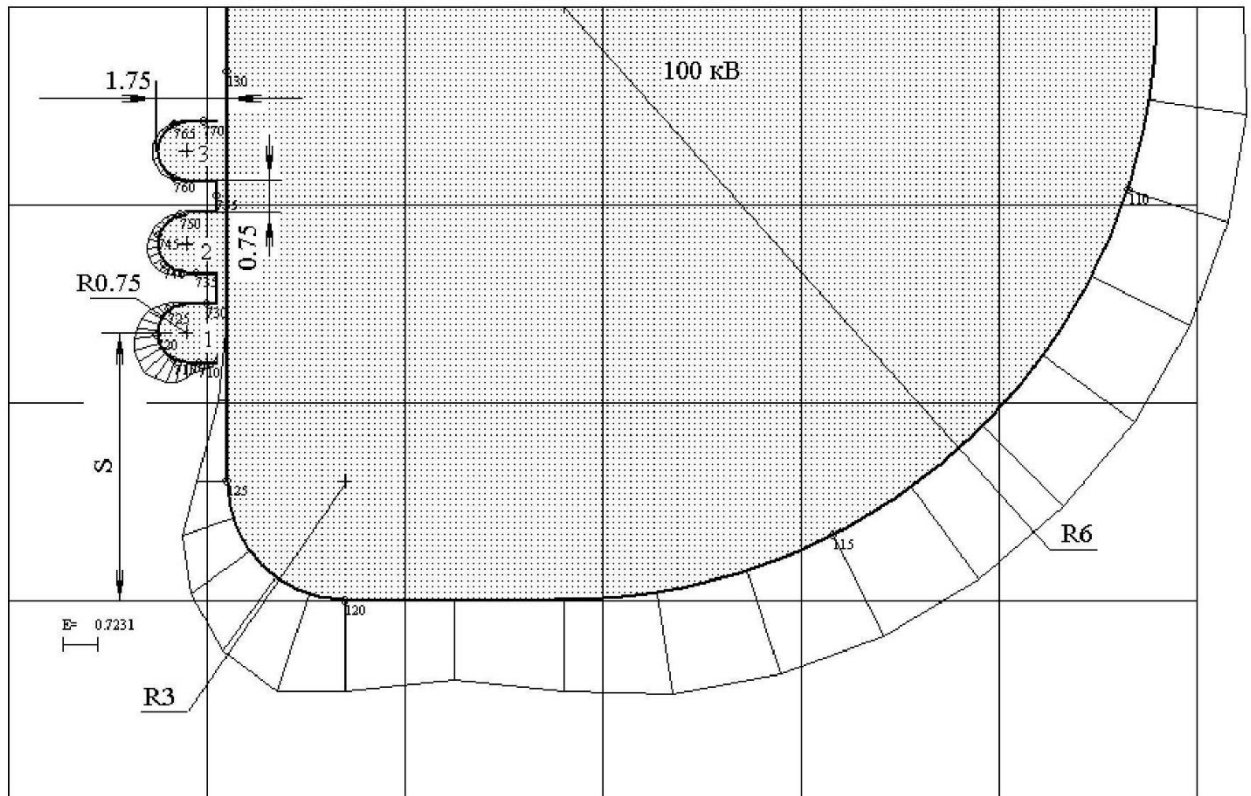


Рисунок 4.9 – Розрахункова модель ДУ 110 кВ. Фрагмент, торець екрану головного контакту з встановленим елементом Multi-contact. Сітка 5x5 мм.

Для моделювання контактних лопаток елемента Multi-contact використані три виступи, що розміщені на місці, відповідному положенню крайніх виступаючих частин лопаток (рис.4.10). При товщині лопаток, рівною 1.5 мм, діаметр перетину на торцевих заокругленнях виступів прийнятий рівним 1.5 мм (R0.75мм). Відстань між модельними виступами прийнято рівним радіусу перетину (0.75 мм). Критичним параметром, що визначає напруженість на модельних кільцях, є заглиблення крайнього нижнього виступу в торцеву щілину нерухомого контакту S. На рис.4.10 показаний варіант розрахункової моделі при $S = 6.75$ мм. В ході розрахунків параметр S змінювався в межах від $S = 3.75$ мм до $S = 13.75$ мм.

Зображена на рис.4.9 модель елемента Multi-contact передбачає вихід лопаток на відстань 1.75 мм з поверхні екрану головного контакту. Насправді

ця величина складає 1-1.25 мм, тому напруженість, яка обчислюється за моделлю рис.4.9 більше виникає в реальній системі.

Потенціал високовольного електрода умовно прийнятий рівним 100 кВ, відносна діелектрична проникність фарфору прийнята рівною 4.5, фторопласта 2.0. Нижній рухливий контакт заземлений ($U = 0$).

Отримані результати показані епюрами розподілу напруженості по поверхні елементів розрахункової моделі на рис.4.10, зведені в таблицю 4.2 і 4.3.

Таблиця 4.2 – Напруженість на модельних виступах 1-3 в моделі рис.4.9,7, кВ / мм, в залежності від заглиблення S.

№ п / п	Заглиблення	Кільце 1	Кільце 2	Кільце 3
	S, Мм			
1	3.75	1.274	0.4093	0.2218
2	5.25	0.8255	0.2951	0.1626
3	6.75	0.5538	0.2115	0.1178
4	8.75	0.3401	0.1351	0.0761
5	13.75	0.1096	0.0456	0.0258

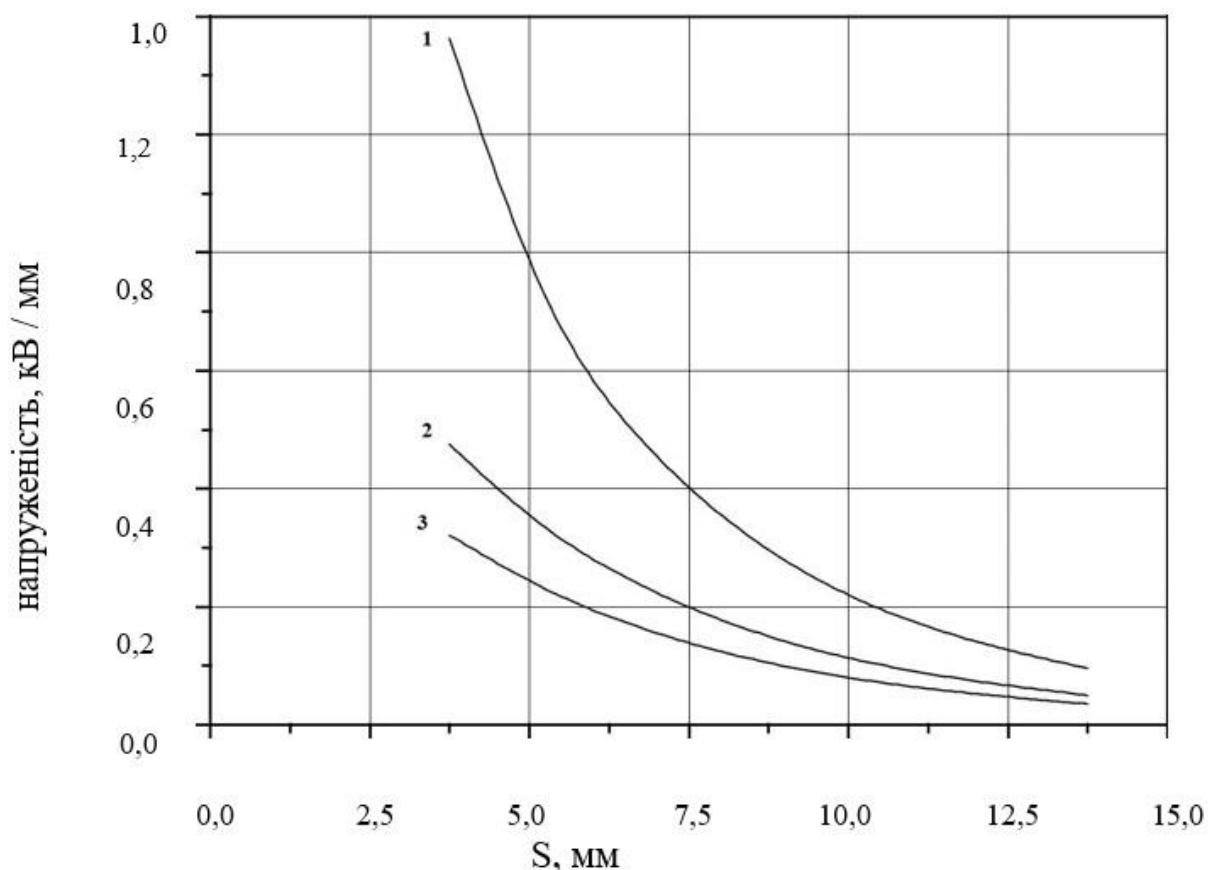


Рисунок 4.10 - Залежності напруженості на модельних виступах рис.4.11 від заглиблення S

від заглиблення S. 1-виступ №1, 2 - виступ №2, 3 - виступ №3. На рис.4.10 показані залежності напруженості на модельних виступах від заглиблення S. Видно, що при збільшенні параметра S напруженість швидко зменшується. Найбільша напруженість виникає на нижньому виступі №1, при $S = 3,75$ мм вона становить $1,27$ кВ / мм, при $S = 7,5$ мм зменшується до $0,34$ кВ / мм.

Отримані значення напруженості слід зіставити з величиною максимальної напруженості, що виникає на торцевому заокругленні нерухомого контакту в точці 158 (див. Рис.4.6) і рівною $4,308$ кВ / мм (див. Рис.4.2, рис.4.6). При десятикратному зменшенні напруженості на модельних виступах відносно до зазначеної величини умови роботи елемента Multi-contact можна вважати прийнятними. Як видно на рис.4.10, для цього достатньо встановити заглиблення S на рівні 8-10 мм.

Для оцінки впливу параметрів розрахункової моделі на одержувані значення напруженості розрахунки були повторені в моделі рис.4.11. Як показано на рис.4.11, проміжки між виступами ліквідовані, вихід з поверхні головного контакту зменшений до 1.25 мм.

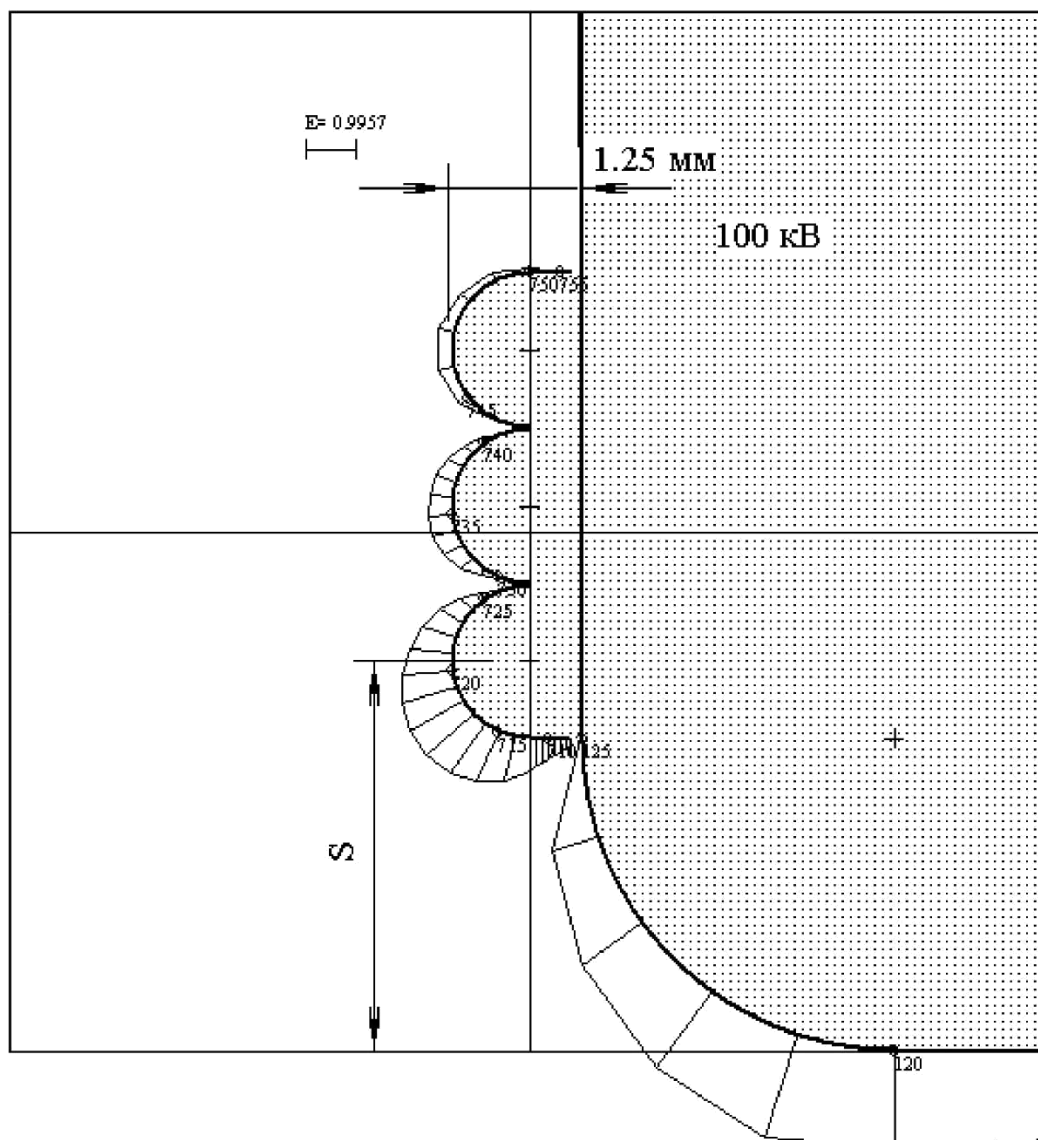


Рисунок 4.11 – Розрахункова модель ДУ 110 кВ. Фрагмент, торець екрану головного контакту з встановленим елементом Multi-contact. Сітка 5x5 мм

В той час як модель рис.4.7, 4.8 дає свідомо завищені значення напруженості, модель рис.4.9 дає реальні, або занижені значення, оскільки є ймовірність того, що лопатки контактної системи ляжуть неточно так, як показано на рис.4.9.

Отримані результати наведені в таблицю 4.2 і на графіках рис.4.10.

Таблиця 4.3 – Напруженість на модельних виступах 1-3 в моделі рис.4.11, кВ / мм, в залежності від заглиблення S.

№ п / п	Заглиблення S, мм	Кільце 1	Кільце 2	Кільце 3
1	3.75	1.162	0.4745	0.3212
2	5.25	0.7251	0.334	0.2299
3	6.75	0.4832	0.2365	0.1641
4	8.75	0.2961	0.1498	0.1047
5	13.75	0.09509	0.0497	0.0352

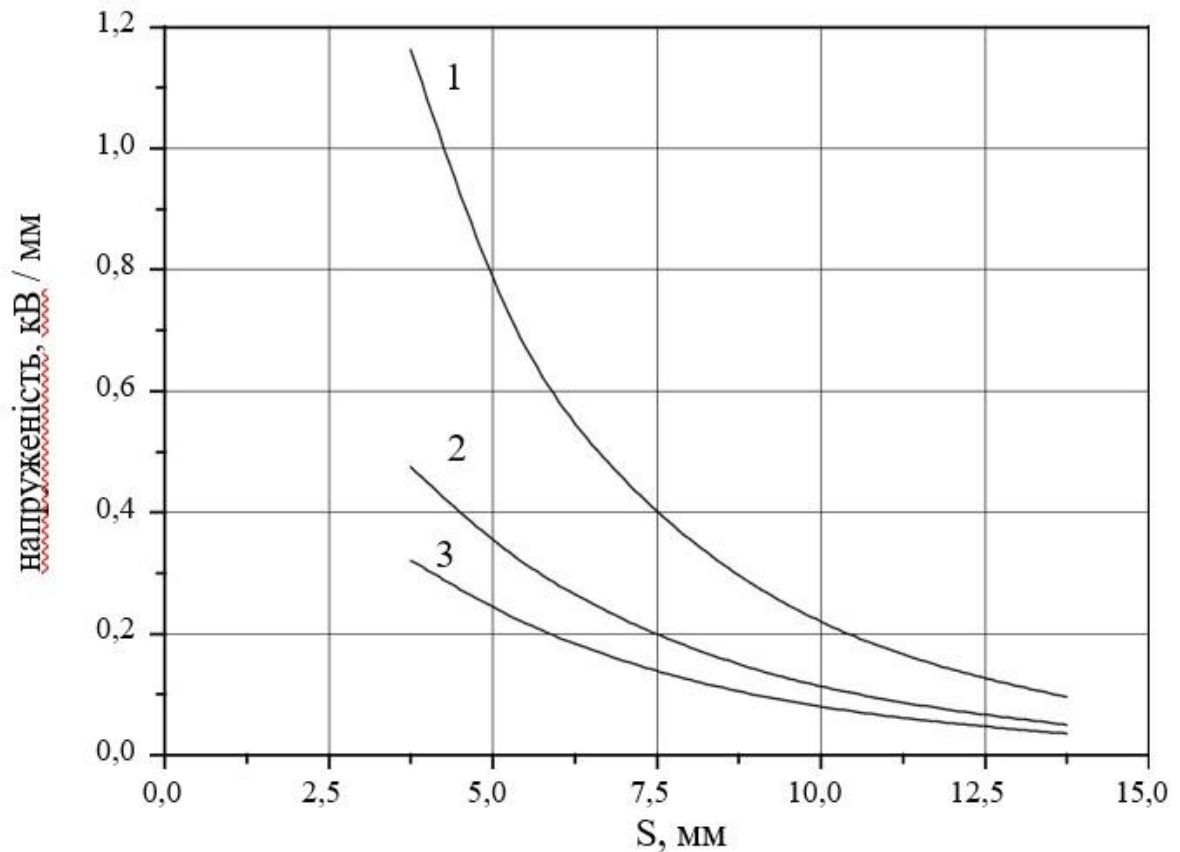


Рисунок 4.12 – Залежності напруженості на модельних виступах рис.4.11 від заглиблення S: 1 – виступ №1; 2 – виступ №2; 3 – виступ №3

Зіставлення таблиці 4.2 і таблиці 4.3, а також рис.4.10 і рис.4.11 показує, що результат практично не змінився: відстань S, необхідне для зниження напруженості до безпечного рівня, становить 8-10 мм.

Висновок:

Видно, що в межах дугогасильної системи напруженість на металевих електродах (4.31 кВ / мм при потенціалах 100/0 і 4.652 кВ/мм при потенціалах 0/100) не перевищує допустимого рівня при тиску елегазу більш 0.9 МПа. На діелектрику (накладка на дугогасильному рухомому контакті) напруженість (2.743 кВ / мм при потенціалах 100/0 і 3.595 кВ/мм при потенціалах 0/100) незначно вище допустимого рівня при тиску елегазу 0.9 МПа.

Так само було визначено оптимальне положення ламелей ($S = 8.75$ мм), при якому значення напруженості не перевищують допустимої величини.

РОЗДІЛ 5

ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ РОБОТИ КОНТАКТНОЇ СИСТЕМИ

5.1 Визначення теплового режиму контактів при номінальному струмі

5.1.1. Визначення перевищення температури контактної точки над температурою контакту

Для визначення температури використовуємо формулу:

$$T_M = \frac{T_0}{\cos\beta} \quad (5.1)$$

Знаходимо β із формули:

$$\beta = \frac{I\sqrt{A\pi H}}{4\lambda\sqrt{P_{к.н.}}} \quad (5.2)$$

Струм одиничної пластини дорівнює повному струму, ділення на число контактних точок:

$$I = \frac{I_\Sigma}{n} = \frac{3150}{177} = 18 \text{ А} \quad (5.3)$$

Контакти Multilam, а так само поверхня рухомого контакту вимикача покриті шаром срібла. Тому для визначення площі контактування використовуємо механічні характеристики срібла:

Число Лоренца для срібла:

$$A = 2,37 * 10^{-8} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{град}} \right)^2 \quad (5.4)$$

Твердість срібла по Брінеллю:

$$H = 26 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2} = 2600 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \quad (5.6)$$

Теплопровідність срібла:

$$\lambda = 4,2 \frac{\text{Вт}}{\text{см} * \text{град}} \quad (5.7)$$

Сила контактного натискання: $P = 1,3 \text{ кг}$

Обчислимо радіус майданчика контактування в одній контактній точці:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi H}} = 0,13 \text{ мм} \quad (5.8)$$

Підставляючи ці значення в (5.2), отримуємо:

$$\beta \frac{18 \sqrt{2,37 * 10^{-8} * \pi * 2600}}{4 * 4,2 \sqrt{1,3}} = 1,3 * 10^{-2} \text{ рад} \quad (5.9)$$

Рахуємо: $\cos\beta = 0,9998$ і приймаємо рівним $\cos\beta \approx 0,9998$

Відповідно до (5.1), максимальна температура контактної точки дорівнює температурі контакту: $T_M \approx T_0$

5.1.2. Обчислення потужності, що виділяється в контактах

1. Потужність в місці контактування головних контактів $P_{до}$:

Опір однієї контактної точки дорівнює $R_{к.т.} = 140 \text{ мкОм}$ (див. Рис.1.14)

Загальний опір:

$$R_{\Sigma} = \frac{140 \text{ мкОм}}{177 \text{ точки}} \approx 0,8 \text{ мкОм} \quad (5.10)$$

Тоді потужність дорівнює:

$$P_k = I^2 * R_{\Sigma} = (3150A)^2 * 10^{-6} \text{ Ом} = 7,793 \text{ Вт} \approx 8 \text{ Вт} \quad (5.11)$$

2. Потужність, що виділяється у протяженому головному контакті Р_{міді}:

Головний рухливий контакт має форму порожнього циліндра (труба) з зовнішнім діаметром $R_{\text{зовн.конт.}}=128$ мм, внутрішнім діаметром $R_{\text{внут.конт.}}=116$ мм (див. рис. 3.3)

Опір головного контакту обчислюється за формулою: $R_{\text{міді}}=\frac{\rho * l}{S}$

Питомий опір міді:

$$\rho = 0,018 \frac{\text{Ом*мм}^2}{\text{м}} = 1,8 * 10^{-8} \text{ Ом*м}$$

Довжина контакту $l = 0,6$ м

Обчислюємо площу перетину контакту:

$$S = \pi(R_{\text{зовн.конт.}}^2 - R_{\text{внут.конт.}}^2) = \pi(64^2 - 58^2) = 2300 \text{ мм}^2 = 2,3 * 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (5.12)$$

Підставляючи значення, отримуємо: $P_{\text{срібла}} = \frac{1,8 * 10^{-8} * 0,6}{2,3 * 10^{-3}} = 4,69 \text{ мкОм}$

Тоді виділяється в контакті потужність дорівнює:

$$P_{\text{срібла}} = (3150)^2 * 4,69 * 10^{-6} = 46,5 \text{ Вт} \quad (5.13)$$

3. Знаходимо сумарну потужність, що виділяється в контактах:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{срібла}} + \frac{P_k}{2} = 46,5 + 4 = 50,5 \text{ Вт} \quad (5.14)$$

Для розрахунку приймемо, що тепловідвід від рухомого головного контакту здійснюється тільки уздовж його довжини до місця кріплення з нерухомими елементами вимикача. При цьому потік тепла складається з обчисленого вище потоку $P_{\text{срібла}}$ і половини теплового потоку, виділеного в місці контактування $\frac{P_{\text{к}}}{2}$:

Теплопровідність срібла: $\lambda = 384 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

Знаходимо тепловий опір:

$$R_{\text{тепловий}} = \frac{l}{S \cdot \lambda} = \frac{0,6 \text{ м}}{2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot 384 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}} = \frac{6,8 \cdot 10^{-4}}{10^{-3}} = 0,68 \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \quad (5.15)$$

Відповідно перепад температури:

$$\Delta T = P_{\Sigma} \cdot R_{\text{тепловий}} = 50,5 \text{ Вт} \cdot 0,68 \frac{\text{К}}{\text{Вт}} = 34 \text{ К} \quad (5.16)$$

Насправді, з урахуванням радіального теплообміну нерухомого контакту через шар елегазу перепад температури в рухомому контакті буде значно менше.

5.2. Тепловий розрахунок при струмі термічної стійкості $I = 40 \text{ кА}$

5.2.1. Знаходження перевищення температури контактної точки над температурою контакту

Використовуємо формулу: $\beta = \frac{I \sqrt{A \pi H}}{4 \lambda \sqrt{P_{\text{к.н.}}}}$

Для неї струм одиничної пластини:

$$I = \frac{I_{\text{т.с.}}}{n} = \frac{40000 \text{ А}}{177 \text{ шт}} = 226 \text{ А} \quad (5.17)$$

Зіставляючи отримане значення з піковим витримуючим струмом (див. Рис.1.14) переконуємося, що контакт Multilam витримує аналізований вплив.

Таким чином, максимальна температура дорівнює:

$$T_M = \frac{T_0}{0,98} = 1,02 * T_0 \quad (5.18)$$

Тут T_0 - температура рухомого головного контакту, оцінюється нижче (див. Розділ 5.2.2)

5.2.2. Визначення нагріву протяжного контакту

Тривалість протікання струму: $t_{откл} = 3$ с

Опір контакту: $R_{міді} = 4.69$ мкОм

Тоді виділяється енергія дорівнює:

$$W = I_{т.с.}^2 * t_{откл.} = (40 * 10^3)^2 * 4.69 * 10^{-6} * 3 = 22,5 \text{ кДж} \quad (5.19)$$

З огляду швидкого наростання струмів к.з. і струму термічної стійкості в токоведучій системі вимикача слід очікувати сильного прояву скін-ефекту. При цьому ефективний перетин контакту істотно зменшується, а потужність, що виділяється, зростає. Глибина проникнення електромагнітної хвилі в міді при еквівалентній частоті $f = 10^6$ Гц становить 120 мкм. При цьому опір контакту зростає до величини:

$$R = \frac{4,7 * 10^{-6} \text{ Ом} * 6 * 10^{-3} \text{ м}}{120 * 10^{-6} \text{ м}} = 235 \text{ мкОм} \quad (5.20)$$

При цьому виділяється енергія зростає до значення:

$$W = I_{т.с.}^2 * t_{откл.} = (40 * 10^3)^2 * 235 * 10^{-6} * 3 = 1128 \text{ кДж} \quad (5.21)$$

При короткочасному швидкопротікаючому процесі нагрівання струмом термічної стійкості, виділена енергія витрачається тільки на нагрів контакту. Процес нагріву є адіабатичним.

Теплоємність контактів визначається формулою: $C = c * M_{\text{конт}}$, де

$$\text{питома теплоємність міді: } c = 0,40 \frac{\text{кДж}}{\text{кг*К}}$$

$$\text{маса контактів: } M_{\text{конт.}} = \gamma * V$$

$$\text{Щільність міді: } \gamma = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Обчислюємо обсяг рухомого контакту:

$$V = \gamma * S * l = 2.3 * 10^{-3} \text{ м}^2 * 0.6 \text{ м} = 1.38 * 10^{-3} \text{ м}^3 \quad (5.22)$$

Підставляючи, отримуємо величину маси:

$$M_{\text{конт}} = 8900 * 1.38 * 10^{-3} = 12.28 \text{ кг} \quad (5.23)$$

$$\text{Повна теплоємність дорівнює } C = 0,40 \frac{\text{кДж}}{\text{кг*К}} * 12,28 \text{ кг} = 4,91 \frac{\text{кДж}}{\text{К}}$$

При адіабатичному нагріванні $W = C * \Delta T$, тому перепад температури дорівнює:

$$\Delta T = \frac{W}{C} = \frac{1128 \text{ кДж}}{4,91 \frac{\text{кДж}}{\text{К}}} = 229 \text{ К} \quad (5.24)$$

Це дозволяє оцінити температуру контактних точок при проходженні струму термічної стійкості (див. Вище розділ 5.2.1) за формулою:

$$T_m = 1,028 * (294 + 229) \text{ К} = 533 \text{ К} \quad (5.25)$$

Відповідно $\Delta T = 239 \text{ K}$

Висновок:

При номінальному струмі температура контактів і контактних точок збільшується на 34 К, що є прийнятним результатом. При струмі термічної стійкості температура контактів збільшується на 229 К, а контактних точок на 239 К. Це перевищує допустиму величину в 80 К, тому використовуємо 2 паралельних системи Multilam.0.

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ

При проходженні номінального струму, а так само струму КЗ в токоведучій системі вимикача виникають електродинамічні зусилля.

Найбільшою величини вони досягають при токах динамічної стійкості. Електродинамічні зусилля в місці контактування неразмикаючих і розмикаючих контактних елементів спрямовані на відрив контактів. У тому випадку, якщо під дією електродинамічних зусиль контакти розмикаються, між ними може виникнути електрична дуга. Це, в свою чергу, призведе до розплавлення контактів в місці контактування і можливого їх зварювання після припинення імпульсу струму. Таким чином, розрив контактів під дією електродинамічних сил є неприпустимим і повинен бути повністю виключений конструкцією контактних з'єднань вимикача.

Електродинамічна сила, яка виникає при розрахунку електродинамічних зусиль, повинна бути порівняна з величиною контактного натискання. Як зазначалося вище при описі контактів Multilam, величина контактного натискання кожного з виступів багатоконтактної системи становить 13Н (див. Таблицю рис.1.14). Для розрахунку електродинамічних зусиль прийнята наступна розрахункова модель, зображена на рис.6.1. Електродинамічна сила виникає в місці зміни діаметру токоведучого контуру від відносного великого діаметру металевого контакту R до малого діаметра в точці контактування $2r_0$. Для вибору розмірів розрахункової моделі використані розміри контактної системи Multilam. Як видно, з таблиці рис.1.14 інтервал між виступами пазогребнієвої системи складає 2.8 мм. Це означає, що у кожному виступі концентруватиметься електричний струм, який протікає через ділянку головного контакту шириною 2.8 мм. Це

дозволяє оцінити параметр R розрахункової моделі рис.6.1 величиною 1.4 мм. Для оцінки радіуса контактної точки r_0 використовуємо відоме значення твердості срібла, рівне 250 Мпа. При замкнутому положенні контактів шар сріблення на виступі пазогребнієвої системи притиснутий до шару срібла на рухомому головному контакті з силою, що дорівнює величині контактного натискання 13Н. При цьому площа точки контактування дорівнює S . Знаходимо радіус точки контактування:

$$S = \frac{1,3 \text{ кг}}{25 \text{ кг/мм}^2} = 0,052 \text{ мм}^2 \quad (6.1)$$

$$S = \pi * r_0^2 \quad (6.2)$$

Звідси:

$$r_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,052}{3,14}} = 0,13 \text{ мм} \quad (6.3)$$

Радіус точки контактування становить 0.13 мм.

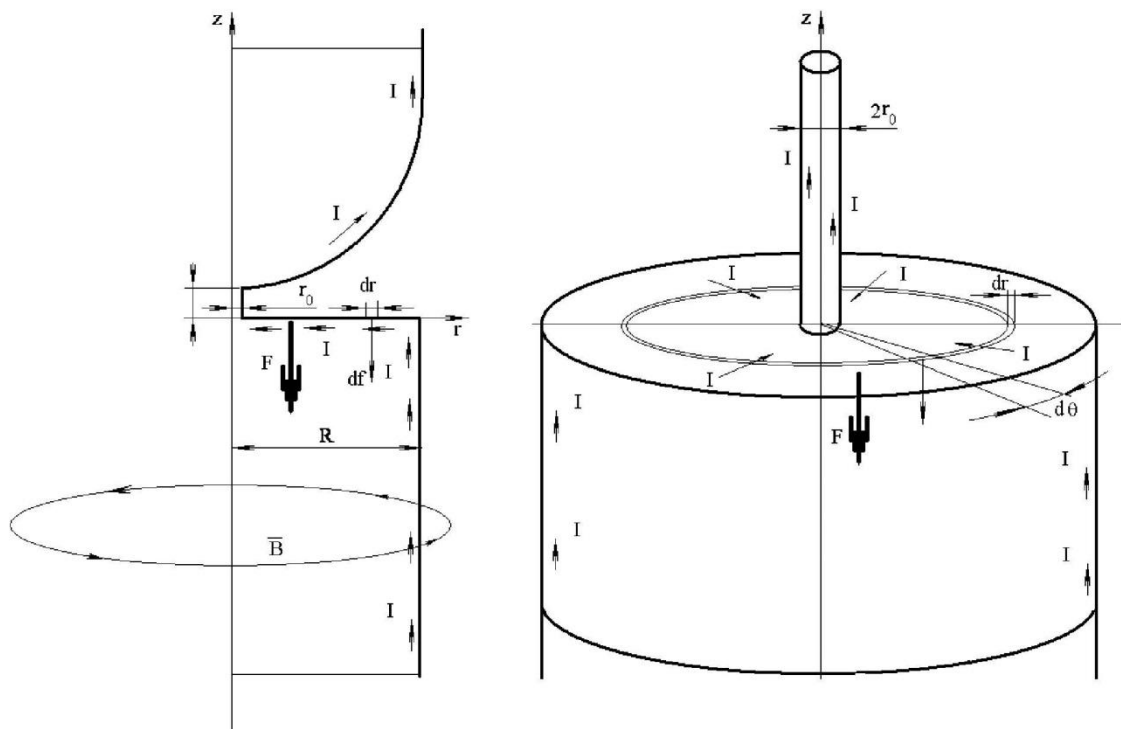


Рисунок 6.1 – Розрахункова модель провідника змінного перерізу з струмом

Для визначення електродинамічних зусиль в моделі рис.6.1 при обраних розмірах R і r_0 використовуємо формулу:

$$F = 10^{-7} * I^2 * I_n \left(\frac{R}{r_0} \right) \quad (6.4)$$

В наведеній формулі ток I - це частка повного струму, що проходить через один виступ пазогребнієвої системи. При діаметрі головного рухомого контакту, рівного 158 мм, довжина кола становить 456 мм. При відстані між виступами 2.8 мм, кількість виступів дорівнює 177 штук. При розрахунковому струмі динамічної стійкості, що дорівнює 100 кА (рис.3.2), через один виступ пазогребнієвої системи проходить струм, рівний:

$$I_{\text{шт}} = \frac{100}{177} = 0,565 \text{ кА} \quad (6.5)$$

Підставляючи це значення в попередню формулу, отримуємо:

$$F = 10^{-7} * 0,565^2 * I_n \left(\frac{1,4}{0,13} \right) = 0,06 \text{ Н} \quad (6.6)$$

Визначимо електродинамічну силу, діючу на одну пластину пазогребнієвої системи:

Знайдемо магнітну індукцію струму електродинамічної стійкості, що протікає через головні контакти, в місці розташування пластин пазогребнієвої системи на відстані, рівному радіусу головного рухомого контакту від осі системи. Магнітна індукція визначається за формулою:

$$B = \frac{\mu_0 * I}{r} = \frac{4\pi * 10^{-7} * 100 * 10^3}{79 * 10^{-3}} = 1,6 \frac{\text{А}}{\text{М}} \quad (6.7)$$

В одній пластині протікає струм, рівний повному струму, поділеному на число контактних пластин ($I_{шт}$). Сила, що діє на провідник зі струмом I_1 в магнітному полі з індукцією B дорівнює:

$$F = I_{шт} * l * B * \sin\beta = 0,565 * 10^3 * 3 * 10^{-3} * 1,6 * 1 = 2,7 \text{ Н} \quad (6.8)$$

Висновок:

Виникаючі електродинамічні зусилля не становлять небезпеки для розглянутого вимикача, тому що електродинамічна сила, що діє на одну пластину Multilam (2,7 Н) значно менше сили контактного підтискання (13 Н).

ВИСНОВКИ

Даний дипломний проект присвячений темі модернізації контактної системи елегазового вимикача 110 кВ, 40 кА.

Показана перспективність контактної системи Multilam і її переваги в порівнянні з іншими контактами.

Питання актуальності цієї теми на тлі модернізації сфери енергетики нашої країни, переходу до сучасного і більш надійному обладнанню яких торкнулися у Вступі. Показані вимоги, що пред'явлені до головних і дугогасильних контактів. Дан докладний огляд типів застосовуваних контактних систем, а так само перераховані умови роботи контактів. Так само було проведено аналіз існуючих контактних систем Multi-contact, на основі якого можна говорити про компактності, надійності і безпеки цих контактів. Була розглянута конструкція безпосередньо самого елегазового вимикача на клас напруги 110 кВ.

В роботі розроблений аналіз конструкції контактної системи, а так само розрахований режим роботи головних контактів. У режимі роботи, при якому контакти повністю замкнуті, що виділяється за час 10^{-3} с енергія дорівнює 50 Дж. Розраховані електричні поля в межах дугогасильної камери: напруженість на металевих електродах 4,652 кВ / мм, а на діелектричній накладці на дугогасному рухомому контакті -3,595 кВ / мм.

Так само було визначено оптимальне положення ламелевих контактів ($S = 8,75$ мм), при якому значення напруженості не перевищують допустимої величини. За допомогою розрахунків параметрів електричного поля доведено, що при заданих геометричних розмірах основні ізоляційні проміжки володіють достатнім запасом електричної міцності.

Тепловий розрахунок показав, що як при номінальному струмі, так і при струмі термічної стійкості нагрів контактів і контактних точок не

перевищує граничних значень (при номінальному струмі $\Delta T \approx 34 \text{ K}$). З огляду незначного перевищення температури при проходженні струму КЗ зварювання контактів виключено. Розрахунок виникаючих електродинамічних зусиль ($F = 2,7 \text{ Н}$) показав, що вони не представляють небезпеки для коректної роботи даного вимикача.

Таким чином, можна зробити висновок, що задані параметри контактної системи задовольняють вимогам по забезпеченню надійної роботи апарату, а також його безпеки при експлуатації.

Грунтуючись на отриманих результатах, можна стверджувати, що поставлені завдання з модернізації конструкції були успішно вирішені. Результатом даного дипломного проекту є модернізація конструкції контактної системи елегазового вимикача 110 кВ, 40 кА. Проведений аналіз роботи показав доцільність такої модернізації. Розрахунки довели надійність системи Multilam і їх перспективність застосування. Дані висновки підтверджуються досвідом провідних зарубіжних фірм, з успіхом створюють і впроваджують в експлуатацію контакти виробництва Multi-contact в усьому світі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво «Форт» - 2017р. (діюче на 08.2018)
2. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник. Х.: Точка – 2012р. ISBN 978-617-669-015-3.
3. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник (видання друге, допрацьоване та доповнене). Харків: Вид-во "Точка" – 2013р. ISBN 978-617-669-122-8.
4. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене Х.: Форт – 2011р.
5. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила улаштування електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ. - 2001р.
6. Клименко Б.В. Комутаційна апаратура, апаратура керування, запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі. – Навчальний посібник. – Х.: Вид-во «Талант», 2008. – 228 с.
7. Клименко Б.В. Електричні та магнітні пристрої, електричні аксесуари, електричні установки. Терміни, тлумачення, коментарі. – Навчальний посібник. – Х.: Вид-во «Точка», 2009. – 272 с.
8. Загирняк М.В., Кузнецов Н.И. Электрические аппараты. – Учебное пособие. – Кременчуг: КДПУ, 2005. – 320 с.
9. ДСТУ 3020-95. Апарати комутаційні низьковольтні (ГОСТ 12434-93. Аппараты коммутационные низковольтные). – 36 с.
10. ДСТУ 3025-95. Вимикачі автоматичні низьковольтні (ГОСТ 9098-93. Выключатели автоматические низковольтные – Low-voltage automatic switches). – 32 с.

11. Бардик Є. І. Моделювання електроенергетичної системи для оцінки ризику виникнення аварій при відмовах електрообладнання [Текст] / Є. І. Бардик // Наукові праці Донецького національного технічного університету. — Серія «Електротехніка і енергетика», 2013. — Вип. 1. — С. 15–22.
12. Електричне обладнання станцій та підстанцій : навчальний посібник / Лесько В. О., Нетребський В. В., Малогулко Ю. В. — Вінниця : ВНТУ, 2018. — 121 с.
13. TR-3000. Digital Circuit Breaker Test System. — USA : Doble Engineering Company, 1991. — P. 20. 41.
14. CBA-32P. Circuit Breaker Analyzer. Zensol Automation Inc // Transmission & Distribution World. — 1998. — September. — P. 30. 42. Power Instrument // Transmission & Distribution World. — 2001. — April. — P. 67.
15. Юхименко М. А. Аналізатор роботи вимикачів високої напруги АРВВН-4 / М. А. Юхименко, О. Є. Рубаненко, В. Л. Таловерья // Новини енергетики. — 2002. — № 8. — С. 48–49.
16. Юхименко М. А. Контроль часових характеристик повітряних вимикачів високої напруги / М. А. Юхименко, В. Л. Таловерья, О. Є. Рубаненко // Енергетика і електрифікація — 2002. — № 5. — С. 39–43.
17. Лежнюк П. Д. Розширення можливостей мікропроцесорних пристроїв контролю характеристик вимикачів / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Ю. В. Антонюк // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету — Кременчук : КДПУ, 2004. — № 2(25). — С. 119–121.

ДОДАТОК А

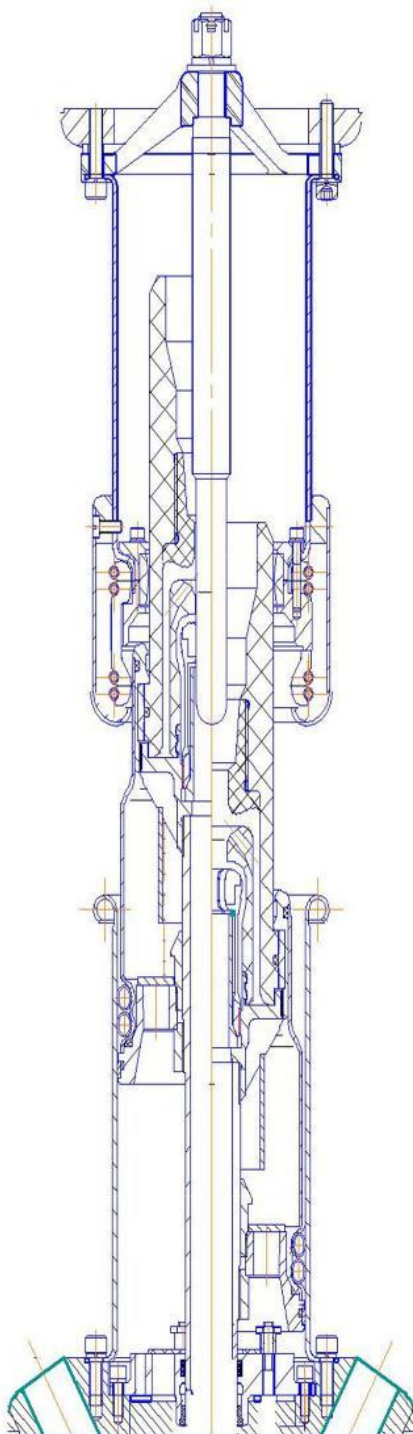


Рисунок А.1 – Конструкція контактної системи до модернізації