

Визначення електричної міцності газоподібного діелектрика

Мета роботи – вивчити особливості пробою повітряних проміжків в електричному полі промислової частоти при різній формі електродів, одержати дослідні значення електричної міцності повітря в різних проміжках і порівняти отримані значення з теоретичними розрахунками, зробити висновки.

1. Основні теоретичні відомості

Явище електричного пробою пов'язане з електронними процесами в діелектрику, що виникають у сильному електричному полі і призводять до раптового (різкого) місцевого зростання щільності електричного струму до моменту пробою. Якщо діелектрик знаходиться в електричному полі і коли його напруженість перевищить критичне значення $E > E_{кр}$, то діелектрик втрачає властивості електроізоляційного матеріалу. Це явище має назву пробою діелектрика або порушення його електричної міцності. Значення напруги, при якій відбувається пробій діелектрика, називається пробивною напругою ($U_{пр}$), а відповідне значення напруженості поля – електричною міцністю діелектрика ($E_{пр}$):

$$E_{пр} = \frac{U_{пр}}{h}, \quad (4.1)$$

де h – товщина діелектрика $[1\text{МВ/м}] = [1\text{кВ/мм}] = [10^6 \text{ В/м}]$.

Зовнішньою ізоляцією в багатьох видах електричних конструкцій, наприклад, в трансформаторах, конденсаторах, на лініях електропередачі є повітря. Електрична міцність повітря в нормальних умовах невелика порівняно з $E_{пр}$ рідких і твердих діелектриків.

У газі тепловий рух іонів при накладанні поля отримує деяку додаткову енергію:

$$W = q \cdot U_{\lambda}, \quad (4.2)$$

де W – енергія заряджених частинок газу;

q – заряд;

U_{λ} – падіння напруги на довжині вільного пробігу λ .

При однорідному полі $U_{\lambda} = E \times \lambda$, де E – напруженість поля. Тоді:

$$W = q \cdot E_{\lambda}. \quad (4.3)$$

Енергія заряджених частинок при зіткненні передається молекулам газу. Якщо вона достатньо велика, відбувається збудження атомів і молекул, пов'язане з переходом електронів на більш віддалену від ядра орбіту, або їх розщеплення на електрони і позитивні іони. При цьому умовою іонізації є:

$$q \cdot E_{\lambda} \geq W_i. \quad (4.4)$$

Енергію іонізації W_i часто характеризують іонізаційним потенціалом :

$$U_i = \frac{W_i}{q}. \quad (4.5)$$

Іонізаційний потенціал для різних газів знаходиться в межах від 4 до 25 В, що відповідає енергії іонізації від $4 \div 25 \text{ еВ}$.

При заданих значеннях тиску газу і температури ударна іонізація починається при певному значенні напруженості поля. Ця напруженість поля E називається початковою напруженістю.

Явище пробою газу залежить від ступеня однорідності електричного поля, в якому здійснюється пробій. Розглянемо пробій газу в однорідному полі. Однорідне поле можна отримати між плоскими електродами з заокругленими краями, а також між сферами великого діаметра при малій відстані між ними. У такому полі пробій настає миттєво при досягненні певної напруги, що залежить від температури і тиску газу. Між електродами виникає іскра, яка потім може перейти у дугу при достатній потужності джерела живлення.

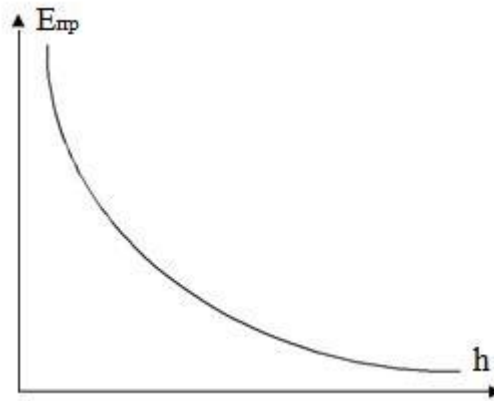


Рисунок 4.1 – Залежність електричної міцності повітря від відстані між електродами для однорідного поля

Із графіка видно, що при невеликих відстанях між електродами значно збільшується електрична міцність. Це явище пояснюється важкістю формування розряду при малій відстані між електродами.

У неоднорідному полі пробій газу відрізняються від пробою в однорідному полі. Неоднорідне поле виникає між проводами ліній електропередач, між сферичними поверхнями при відстані між ними, що перевищує радіус сфери. Особливістю пробою газу в неоднорідному полі є виникнення часткового розряду у вигляді корони у місцях, де напруженість поля досягає критичних значень, з подальшим переходом корони в іскровий розряд і дугу при зростанні напруги.

Електрична міцність газу досить суттєво залежить від його густини (тобто від тиску, якщо температура постійна). При незначних змінах температури і тиску газу пробивна напруга пропорційна густині газу. У цьому випадку для розрахунків пробивних напруг використовується формула:

$$U_{пр} = \delta \cdot U_{пр0}, \quad (4.6)$$

де $U_{пр}$ – напруга пробою за певної температури і тиску;
 $U_{пр0}$ – напруга пробою за нормальних умов: ($t = 20$ с, $p = 0,1$ МПа);
 δ – відносна густина повітря (за нормальних умов $\delta = 1$) розраховується за формулою:

$$\delta = 0,386 \cdot \frac{p}{t + 273}. \quad (4.7)$$

На рис. 4.2 наведена залежність електричної міцності газу від тиску.

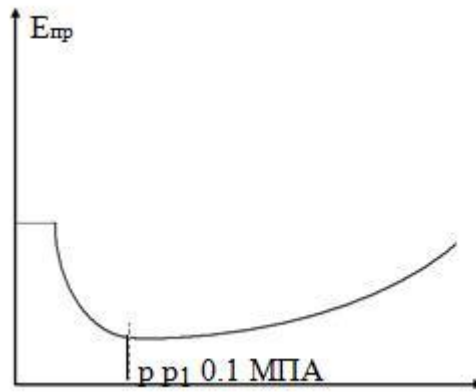


Рисунок 4.2 – Залежність електричної міцності газу від тиску

При великих значеннях тиску та, відповідно, підвищеній щільності газу відстань між молекулами менша, тому і довжина вільного пробігу електронів теж зменшується, й, згідно з умовою (4.3), для того, щоб відбувся пробій, напруженість поля має бути збільшеною.

При зменшенні тиску спочатку спостерігається падіння електричної міцності, як видно з рисунка, коли тиск доходить до певної межі, нижчої від атмосферного тиску, розрідження газу досягає високого ступеня, електрична міцність зростає. Таке зростання пояснюється зменшенням кількості молекул газу в одиниці об'єму при сильному розрідженні та, відповідно, зниженням імовірності зіткнення електронів з молекулами. У цьому випадку електрична міцність досягає достатньо високих значень. Це явище використовують для конструювання вакуумних вимикачів.

Повітря є природною ізоляцією багатьох електричних конструкцій: трансформаторів, конденсаторів, повітряних вимикачів, ліній передач.

Як діелектрик, повітря має такі позитивні властивості: швидко відновлює свою електричну міцність після пробою, незначно змінює діелектричну проникність, діелектричні втрати повітря практично дорівнюють нулю.

Негативні властивості повітря як діелектрика: погана теплопровідність, низька електрична міцність, різка її зміна біля поверхні твердого діелектрика ($E_{пр} = 2,19...2,27$ кВ/мм), здатність зволожуватись, створювати оксиди, підтримувати горіння. Електрична міцність повітря не є постійною величиною і залежить від його тиску, відносної вологості та ступеня однорідності електричного поля, в якому здійснюється пробій.

2. Послідовність виконання роботи

Ознайомитися зі схемою установки та її монтажним виконанням (рисунок 4.3).

Перевірити положення пристроїв, що регулюють напругу.

Зачинити двері огороження та ввімкнути кнопку пускача.

Плавню змінювати напругу від нуля до пробивного значення.

Записати значення пробивної напруги у табл. 4.1.

Отримати дослідним шляхом залежність пробивної напруги від довжини розрядного проміжку для:

- а) електродів куля-куля;
- б) електродів “голка – площа”.

Відстань між електродами задає викладач. Особливі умови дотримання техніки безпеки:

- а) під час випробувань забороняється заходити за огороження;
- б) при регулюванні відстані між електродами слід зняти напругу з трансформаторів і відімкнути схему від мережі;

- в) забороняється вимикати схему, не знявши попередньо напругу з випробувального стенда;
г) після кожного виміру треба розрядити установку.

Схема установки для проведення дослідів зображена на рис. 4.3.

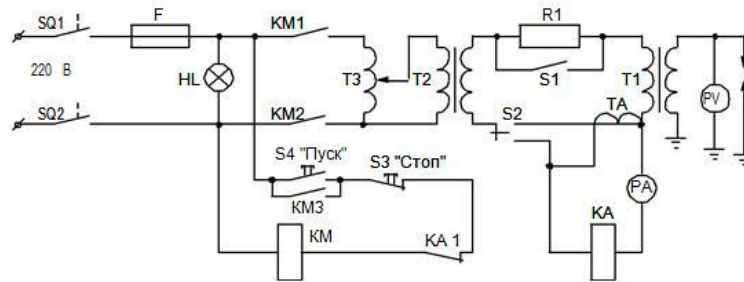


Рисунок 4.3 – Електрична схема випробувальної установки

Приведена схема містить у собі: високовольтний підвищувальний трансформатор Т1 потужністю 10 кВА, що має номінальні напруги первинної обмотки 350 В і вторинної – 100 кВ, узгоджувальний трансформатор Т2 – 200/350 В; однофазний регулятор напруги (автотрансформатор) Т3, що забезпечує плавне регулювання випробної напруги в межах 0...100 кВ. У колах первинної комутації трансформаторів увімкнені: блок-контакти вимикача SQ1 і SQ2, двері огороження установки, запобіжник F, контакти KM1, KM2 магнітного пускача KM, трансформатор струму ТА, обмежувальний резистор R1, замкнутий при необхідності вимикачем S1. Вторинний ланцюг трансформатора струму містить реле струму КА й амперметр РА, межа вимірювання якого, а також вставку спрацьовування КА (5 чи 50 А) визначаються положенням перемикача S2. Нормально замкнутий контакт КА1, контакти “Пуск” і “Стоп” увімкнені послідовно з котушкою магнітного пускача KM. Сигналізація замкнутого стану блок-контактів дверей (при справному запобіжнику F) здійснюється за допомогою червоної лампи HL.

Для ввімкнення приладу необхідно закрити двері огороження (замикаються контакти SQ1 і SQ2) і, попередньо перевіривши нульове положення Т3, натиснути кнопку S3 “Пуск”. Підйом напруги на випробуваному об’єкті робиться плавним обертанням рукоятки Т3 у напрямку, зазначеному на пульті.

Перемикач S2 повинний знаходитися в положенні “5А”, а вимикач S1 розімкнутий. Вимірювання досліджуваної напруги проводиться вольтметром PV, повне відхилення стрілки якого відповідає 100 кВ. У випадку перекриття випробуваного об’єкта спрацьовує реле КА, розмикається його контакт КА1, відпадає магнітний пускач KM, виключаючи своїми контактами KM1, KM2 установку від джерела живлення. Для повторного увімкнення установки необхідно Т3 встановити в нульове положення, а потім повторити перелічені операції.

Таблиця 4.1 – Дані дослідів та розрахунків для різних форм електродів

Таблиця 1.1h см	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	Форма електродів
$U_{пр1}, \text{кВ}$									
$E_{пр}, \text{кВ/см}$									
$U_{пр2}, \text{кВ}$									
$E_{пр2}, \text{кВ/см}$									

3. Обробка результатів вимірювань

3.1 Побудувати графіки $U_{пр} = f(h)$; $E_{пр} = f(h)$ для двох видів електродів.

3.2 Для кульових електродів побудувати розрахункові залежності $U_{пр} = f(h)$; $E_{пр} = f(h)$ і порівняти їх з отриманими експериментально.

При промисловій частоті емпірична формула для обчислення електричної міцності повітря між кульовими електродами має вигляд, кВмакс / см:

$$E_{пр} = 27,2 \cdot d \left(1 + \frac{0,54}{\sqrt{R \cdot d}} \right) \quad (4.8)$$

де d – відносна густина повітря;
 R – радіус кулі, см.

За величиною електричної міцності визначають пробивну напругу, кВ:

$$U_{пр.макс.} = E_{пр.макс.} \cdot h \cdot \frac{1}{k} \quad (4.9)$$

де h – відстань між електродами;
 k – коефіцієнт неоднорідності поля, значення якого для випадку при одній ізольованій та одній заземленій кулі наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 –Визначення коефіцієнта неоднорідності поля

h/R	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
k	1.03	1.07	1.14	1.23	1.32	1.41

4. Зміст звіту

4.4.1 Мета та програма роботи.

4.4.2 Схема дослідної установки.

4.4.3 Таблиця з виміряними та розрахованими даними.

4.4.4 Графіки залежностей $U_{пр} = f(h)$; $E_{пр} = f(h)$ для двох видів електродів та для кульових електродів побудувати розрахункові залежності $U_{пр} = f(h)$; $E_{пр} = f(h)$ і порівняти їх з отриманими експериментально.

4.4.5 Висновки за результатами виконаної роботи.

4.4.6 Список використаної літератури.

5. Контрольні питання

4.5.1 Умова самостійності розряду в повітряному проміжку.

4.5.2 Особливість пробою повітряного проміжку в неоднорідному полі.

4.5.3 В яких одиницях вимірюється електрична міцність діелектрика?

4.5.4 Від яких факторів залежить електрична міцність повітря?

4.5.5 Як впливає хімічний склад газів на їх електричну міцність?

4.5.6 Як електрична міцність газів залежить від тиску при постійній температурі?