

**Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**



Кафедра електроенергетики

**ТЕХНІКА ВИСОКИХ НАПРУГ.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Дніпро
2021

Рекомендовано до видання навчально-методичним відділом (протокол № 6 від 21.06.2020) за поданням методичної комісії спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (протокол № 21/22-01 від 30.08.2021).

Степаненко Ю.В.

Техніка високих напруг. Методичні рекомендації до лабораторних робіт для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Ю.В. Степаненко, В.М. Прокуда; Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2021. – 38 с.

Автори:

Степаненко Ю.В., канд. техн. наук, доц.

Прокуда В.М., канд. техн. наук, асистент.

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

Методичні матеріали стануть у пригоді під час підготовки до модульного контролю за результатами лабораторних занять з дисципліни «Техніка високих напруг».

Розглянуто теоретичні засади розрядів у газах, вимірювання вищих напруг, однорідності поля та її вплив на пробивну напругу, побудови лінійної та підстанційної ізоляції, захисту від хвиль перенапруг.

Наведено послідовність виконання робіт з дослідження кульового розрядника, впливу однорідності поля, роботи ізоляторів та розрядників.

Рекомендації орієнтовано на активізацію виконавчого етапу навчальної діяльності студентів.

ЗМІСТ

1. Лабораторна робота ТВН-1 “Вивчення та дослідження випробувальних установок і методів вимірювання високих напруг”	4
2. Лабораторна робота ТВН-2 “Дослідження пробивної напруги повітряних проміжків для різноманітних форм електродів”	13
3. Лабораторна робота ТВН-3 “Дослідження розподілу напруги елементами ізоляційних конструкцій”	20
4. Лабораторна робота ТВН-4 “Дослідження коронного розряду на проводах ЛЕП та втрат на коронування”	27
5. Лабораторна робота ТВН-5 “Вивчення та випробування розрядників”	31
РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	38

Лабораторна робота 1 “Вивчення та дослідження випробувальних установок і методів вимірювання високих напруг”

Мета роботи: досягти результатів навчання: вивчити конструкцію апаратів для випробування ізоляції, та правила їх експлуатації, ознайомитися із способами та приладами вимірювання високих напруг.

В результаті виконання лабораторної роботи студент повинен:

Знати – типи і пристрої випробувальних установок, а також способи і прилади вимірювання високих напруг.

Уміти – вимірювати високі напруги за допомогою кульових розрядників.

Методичні вказівки

1. Загальні відомості з випробування ізоляції

В ході експлуатації електрообладнання його ізоляція під впливом зовнішніх чинників погіршується (старіє), внаслідок чого її електрична міцність знижується.

Визначення електричної міцності є одним з найнадійніших способів контролю ізоляції.

Насправді електрична міцність при випробуваннях електрообладнання не визначається, оскільки при цьому неминує було б руйнування ізоляції.

При випробуванні визначається наявність лише запасу міцності – здібності нести електричне навантаження, тобто витримувати прикладену напругу і окремо його перевищення.

Для того, щоб ізоляція була достатньо надійна в роботі, необхідно, щоб пробивна напруга найслабкішого її місця була вищим за напругу, яка може впливати на нього у відрізок часу між двома випробуваннями.

Якщо через ті або інші дефекти ізоляції запас міцності вичерпаний, то в роботі або при випробуваннях можливий її пробій. Тому випробування підвищеною напругою умовно називається «руйнуючим».

Внаслідок цього випробування на електричну міцність є вельми відповідальною операцією, що вимагає обліку всіх чинників, що впливають на результати або можуть викликати погіршеність.

Розрізняють три різні види випробування електрообладнання прикладеною напругою на електричну міцність: імпульсами, змінною або постійною напругою.

У експлуатаційній практиці через складність експерименту імпульсні випробування не виробляють, і персонал звичайно користується даними, одержаними при типових випробуваннях устаткування.

Слід пам'ятати, що при імпульсних випробуваннях можливе накопичення дефекту в ізоляції (неповний пробій), який називають кумулятивним ефектом.

У табл. 1 для прикладу наведені випробувальні напруги внутрішньої ізоляції силових маломасляних трансформаторів.

Таблиця 1. Випробувальні напруги промислової частоти (50 Гц) внутрішньої ізоляції силових маломасляних трансформаторів.

Клас напруги обмоток, кВ	Випробувальні напруги (однохвилинні) по відношенню до корпусу, кВ _{дійсне}		
	заводські	у споживачів перед увімкненням	в експлуатації
10	35	31,5	30
35	85	76,5	72
110	200	180	
150	275	247	
до 0,69 включно	5	2,7	2,5

Випробування змінною напругою. Випробування змінною напругою є основним способом визначення наявності запасу міцності, як в заводських, так і експлуатаційних умовах, в останньому випадку виходячи з наявності експлуатаційних засобів

Через останню обставину в експлуатації випробуванням піддається обладнання на напругу до 35кВ включно і лише в лабораторних умовах на велику напругу.

Випробування постійним струмом. Випробування об'єктів з великою ємкістю, наприклад кабелів з підвищеною напругою змінного струму, зажадали б джерела більшої потужності. При випробуванні напругою постійного струму потужність випробувальної установки визначається тільки струмом кризової провідності, що не перевищує декілька міліампер (1...10 мА). Останнім часом встановлено, що при випробуванні підвищеною напругою обмотки генераторів доцільно здійснювати їх контроль, як змінним струмом, так і постійним, що дозволить виявляти більше число різних за характером дефектів.

Через це в практиці експлуатаційних, заводських (для генераторів) і профілактичних випробувань ізоляції високовольтних кабелів, а так само і деяких видів обладнання (розрядники) набуло широке поширення випробування підвищеною напругою постійного струму.

2. Апарат типу АП-70

Апарат типу АП-70 (рис. 1) призначений для випробування кабелів, твердих або рідких діелектрик змінним або постійним струмом високої напруги.

Апарат АП-70 складається з рухомого пульта на колесах і кенотронної приставки. В середині пульта встановлені автотрансформаторний регулятор напруги, пускова сигналізація та високовольтний трансформатор. На головному щиті розташовані дверцята, які відкривають доступ до плавких вставок (запобіжників) і до перемикача напруги. Дверцята забезпечені блок-контактами.

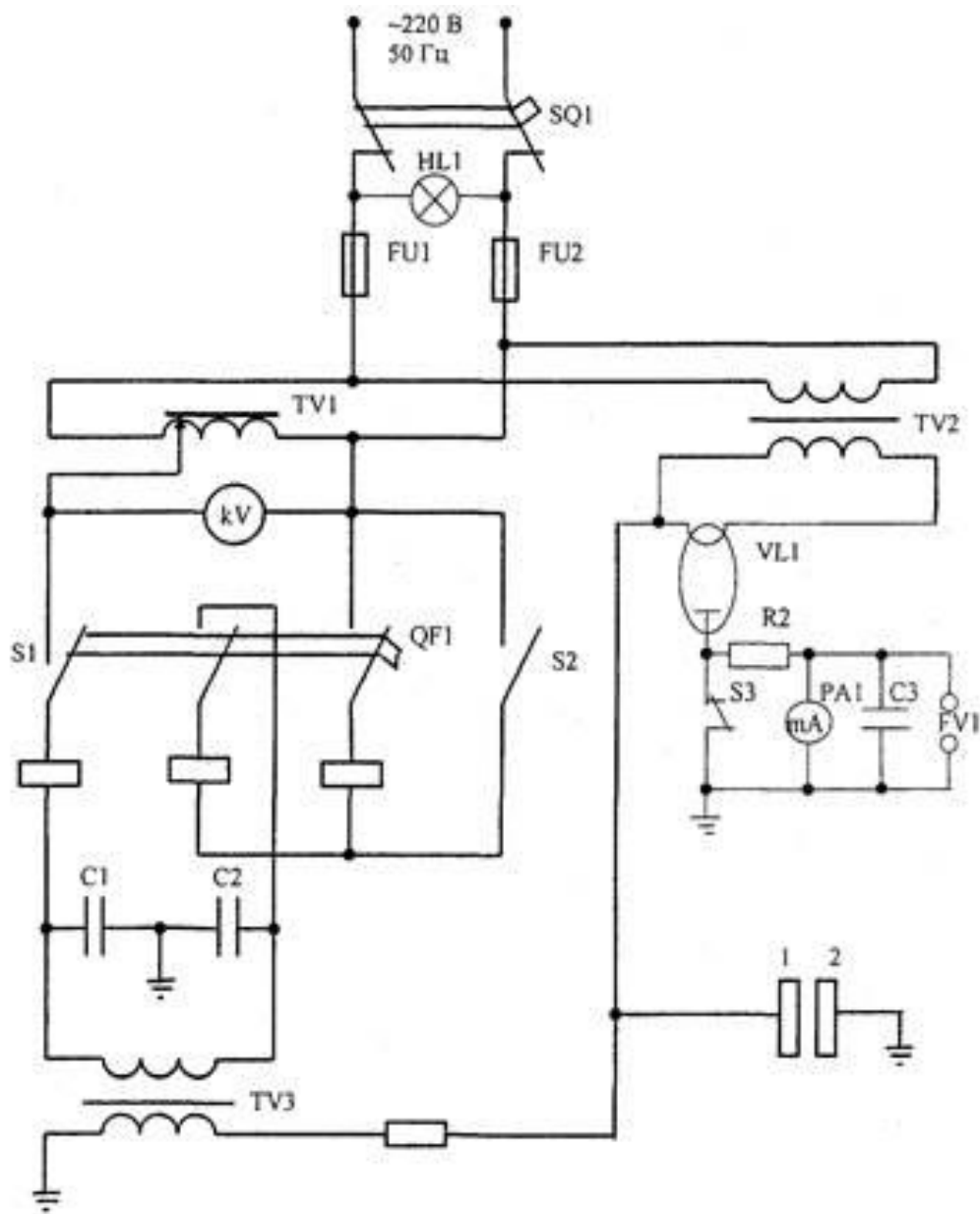


Рис.1. Принципова схема апарата АП-70

Кенотронна випрямляюча приставка виконана у вигляді вертикального маслонаповненого циліндру, всередині якого розташований трансформатор розжарення та кенотрон. Зверху приставки в корпусі встановлений мікроамперметр з перемикачем меж вимірювання. У лабораторній роботі кенотронна приставка замінена на діодний міст.

Трансформатор виконаний з одним вводом – один кінець обмотки високої напруги безпосередньо заземлений, а інший через обмежувальний опір приєднується до виводу змінного струму. Така схема іспитової установки найбільш проста і універсальна.

До недоліків схеми з одним вводом відносяться неможливість отримання великих значень випробувальної напруги, оскільки ізоляція трансформатора піддається впливу всієї випробувальної напруги.

У процесі випробування об'єкта високою напругою необхідно на затискачах іспитового трансформатора плавно змінювати напругу від нуля до потрібної величини (стрибокподібна зміна напруги призводить до передчасного пробою або розряду).

Така плавна зміна напруги без відключення навантаження здійснюється за допомогою автотрансформатора, який регулює напругу на первинній стороні іспитового трансформатора.

Вимір високої напруги здійснюється вольтметром, ввімкненим на стороні низької напруги та відградуїтованим по високій напрузі. Автотрансформатор може підключатися до мережі 220 або 127 В, перемикання здійснюється перестановкою запобіжників.

З огляду того, що іспитовий трансформатор має обмежену потужність (2 кВА протягом однієї хвилини) для запобігання виходу установки з ладу при пробоях здійснюється відключення високовольтного трансформатора з боку низької напруги автоматом, захист якого має дві установки – "чутлива" та "груба". При встановленні рукоятки перемикача установки захисту в положення "груба" (напруга понад 30 кВ) допускається тривалість випробувань не більше однієї хвилини.

Постійна випробувальна напругу 0...70 кВ отримується за однополуперіодною схемою випрямлення на кенотроні КРМ-150. Величина випрямленого струму вимірюється мікроамперметром, межі зміни якого обираються перемикачем (на лабораторній установці кенотронна приставка відсутня).

Висока напруга промислової частоти створюється за допомогою випробувального масляного трансформатора високої напруги.

Штанга заземлювальна слугує для зняття ємнісного заряду з випробувального об'єкту та його глухого заземлення. Штанга роз'ємна, складається з двох частин.

Захисна огорожа виконана у вигляді металевої сітки.

3. Вимір високих напруг

Широко розповсюджені в техніці сильних струмів вимірювальні трансформатори напруги не знайшли застосування у випробувальних установках високої напруги, оскільки споживана ними потужність порівнянна з потужністю іспитових трансформаторів, а ізоляція повинна бути розрахована на повну напругу установки. Для вимірювання постійних напруг і напруг промислової частоти у сучасних високовольтних лабораторіях широко застосовуються електростатичні вольтметри. Через надзвичайну складність вольтметрів на напругу понад 100 кВ та їх непридатності для вимірювання імпульсних напруг широке розповсюдження отримав метод вимірювання амплітуди напруги кульовими розрядниками.

Кульові розрядники завдяки своїй простоті та надійності отримали широке розповсюдження для вимірювання амплітуди напруги.

Іскровий проміжок для вимірювання напруги повинен задовольняти наступним вимогам:

1. Мінімальний розкид у величинах розрядних напруг.
2. Незалежність розрядних напруг від виду напруги, що впливає (змінна, постійна, імпульсна) – це означає також, що коефіцієнт імпульсу аж до дуже малого часу повинен дорівнювати одиниці.
3. Лінійність залежності розрядної напруги від величини проміжку.
4. Незначний вплив сторонніх об'єктів на розрядну напругу.
5. Простота виготовлення та установки електродів.

Виконання цих вимог можливо в однорідних або слабо неоднорідних полях, які мають місце в кульових проміжках, якщо відстань між кулями S менше їх діаметра D .

В кульовому проміжку крайовий ефект відсутній; невеликі перекоси осей куль практично не впливають на відстані.

Зі зменшенням відстані зменшується неоднорідність поля і покращуються характеристики розрядника, а також зменшується вплив сторонніх об'єктів.

Напруга до кульового проміжку може бути прикладена симетрично (рис.2, а) або несиметрично – при заземленні одного з шарів (рис.2, б).

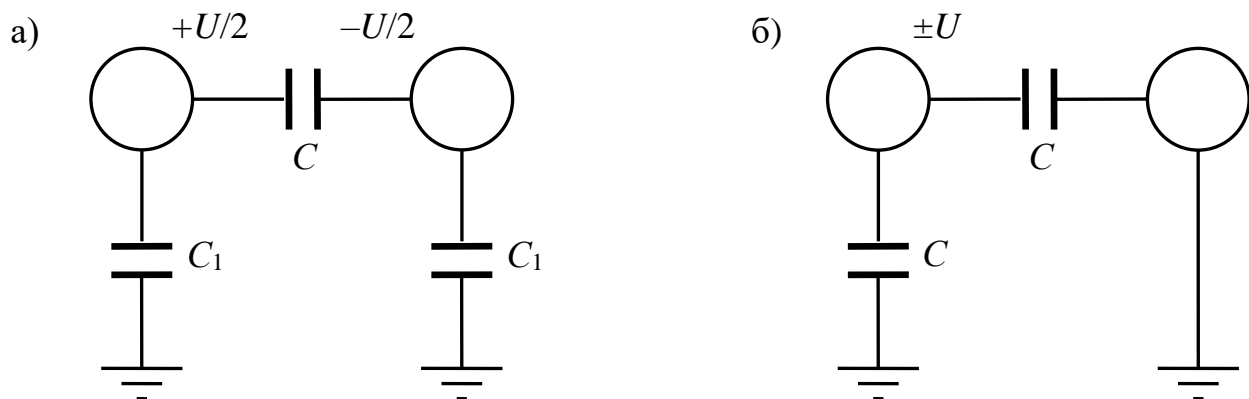


Рис. 2. Схема заміщення кульового розрядника

Внаслідок різниці величини зарядів кульового розрядника (рис.2, б) електричне поле його несиметричне (напруженість більше на поверхні не заземленої кулі).

Якщо заземлити позитивну кулю, то напруженість у негативної (катода) буде вище і початкові електрони попадають в область більш сильних полів, тобто розрядна напруга буде менша, ніж при заземленні негативної кулі та співпадає (як найменше) з розрядною напругою при напрузі промислової частоти (змінна полярність) при $S / D \leq 0,5$.

Різниця розрядних напруг при різних полярностях досягає 5 %. Таблиці розрядних напруг, узгоджені з Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) наводяться у відповідних стандартах (табл. 2).

Таблиця 2. Розрядна напруга кульових проміжків (кВ, Макс) при 20°C і 760 мм рт. ст. для змінної напруги, постійної напруги обох полярностей та для стандартної імпульсної хвилі негативної полярності. Одна куля заземлена

Відстань між кулями, см	Діаметр куль, см			
	2	5	6,25	10
0,2	8,0	8,0		
0,3	11,2	11,2		
0,4	14,4	14,3	14,2	
0,5	17,4	17,4	17,2	16,8
0,6	20,4	20,4	20,2	19,9
0,7	23,2	23,4	23,2	23,0
0,8	25,8	26,3	26,2	26,0
0,9	28,3	29,2	29,1	28,9
1,0	30,7	32,0	31,9	31,7
1,2		37,6	37,5	37,4
1,4		42,9	42,9	42,9
1,5		45,5	45,5	45,5
1,6		48,1	48,1	48,1
1,8		53,0	53,5	53,5
2,0		57,5	58,5	59,0
2,2		61,5	63,0	64,5
2,4		65,5	67,5	69,5
2,6		69,0	72,0	74,5
2,8		72,5	76,0	79,5
3,0		75,5	79,5	84,0
3,5		82,5	87,5	95,5
4,0		88,5	95,0	105,0
4,5			101,0	115,0
5,0			107,0	123,0

Для отримання задовільної точності вимірювань необхідно витримувати відстань від куль до заземленого поля та інших об'єктів таким чином, щоб їх вплив практично не позначався.

Відстані А, В до навколишніх предметів визначаються за розмірами кульового розрядника:

- при $D = 6,25$ см – $A = (7...9) D$, $B = 14 D$;
- при $D = 10...15$ см – $A = (6...8) D$, $B = 12 D$.

4. Вибір діаметра та увімкнення куль

Найменший діаметр куль може бути визначений по таблицях розрядних напруг.

При вимірюванні напруги промислової частоти і постійної напруги послідовно з незаземленою кулею повинен бути увімкнений опір від 100 кОм до 1 МОм. При вимірі імпульсних напруг для демпфірування коливань вмикають опір до 500 Ом, одночасно індуктивність у колі куль обмежується величиною 30 мкГн (довжині 20...30 м).

При напрузі, що дорівнює пробивній, і хвилях типу стандартних, розряд відбувається поблизу максимуму хвилі, оскільки поле куль слабо неоднорідне і час формування розряду взагалі складає доли мікросекунди.

При вимірі імпульсних напруг до 50 кВ значну роль може грати статистичний час затримування, тобто час до появи на поверхні кулі або в проміжку першого ефективного електрона.

Через те, що цей час сумірний з довжиною фронту хвилі, розкид пробивних напруг при імпульсах і 50-відсоткова розрядна напруга зростають порівняно з пробивною напругою при довготривалому впливі. Уведення слабого зовнішнього іонізатора зменшує статистичний час, а отже, і розкид пробивних напруг. В якості зовнішнього іонізатора застосовують ртутно-кварцеву лампу, що є джерелом ультрафіолетових променів, або радіоактивні препарати, які поміщаються всередину незаземленої кулі поблизу від вісі кульового проміжку.

Згідно рекомендаціям МЕК опромінення (підсвічування) є обов'язковим для напруг до 50 кВ для куль діаметром до 12,5 см. при наявності підсвічування можна користуватися стандартними кривими і таблицями.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити правила безпеки при роботі в лабораторії високих напруг і будову kabini високої напруги.
2. Вивчити схему і будову апарата АП-70.
3. Випробувати роботу апарата і блокувань на холостому ході.
4. Зняти градувальні криві іспитової установки за допомогою кульового розрядника та занести до табл. 3.

Таблиця 3

S , см	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
U_T , кВ										
U_E , кВ										
U_A , кВ										

де U_T – данні з табл. 2; U_E – діюче (ефективне) значення напруги по вольтметру встановленому на АП-70; U_A – амплітудне (максимальне) значення напруги по вольтметру встановленому на АП-70.

5. Побудувати градууювальні криві іспитової установки і порівняти з ними показання щитових приладів. Підрахувати відносну похибку кульового розрядника для однієї із точок виміру.

Градууювальні криві будуються за результатами вимірів (табл. 3) і мають вигляд аналогічній кривій на рис. 3.

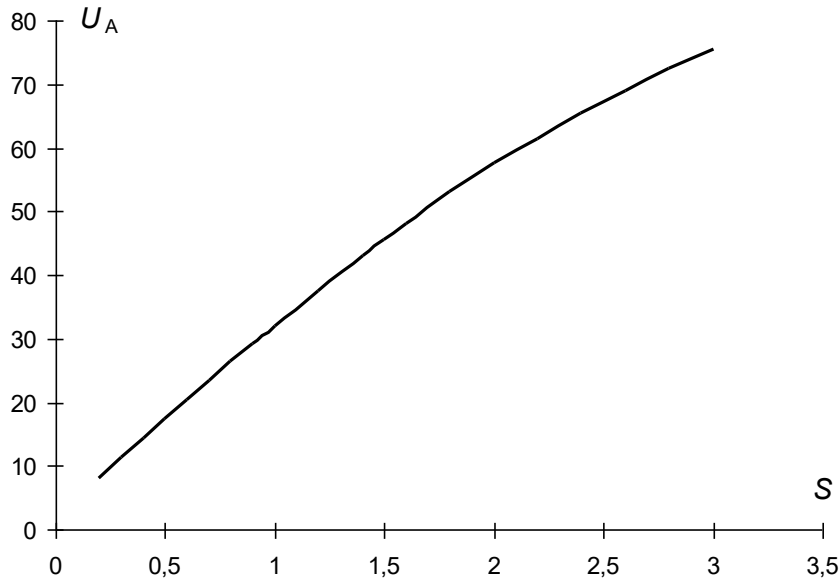


Рис. 3. Градууювальна крива за даними МЕК

Відносна похибка вимірювання за допомогою кульового розрядника визначається за формулою:

$$\delta U = \frac{|U_A - U_T|}{U_T} \cdot 100, \%$$

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Схема іспитової установки.
3. Схеми і таблиці вимірів.
4. Градууювальні криві установки.
5. Висновки.

Контрольні запитання

1. Призначення апарата АП-70.
2. Які вимірювальні прилади застосовуються в схемах випробування ізоляції.

3. Які максимальні іспитові напруги можна отримати на апараті АП-70 на постійному та змінному струмі.

4. Як отримати змінну напругу 100 кВ за допомогою двох трансформаторів на 50 кВ.

5. Чому для виміру високих напруг застосовуються шарові розрядники.

6. Чим забезпечується безпечність робіт в умовах лабораторної іспитової установки в лабораторії ТВН.

7. Поясніть квазіоднорідність поля між шаровими розрядниками.

8. Чим характеризується однорідність поля.

9. Що таке однорідне поле.

10. Що таке слабо неоднорідне поле.

11. Що таке різко неоднорідне поле.

Лабораторна робота 2 “Дослідження пробивної напруги повітряних проміжків для різноманітних форм електродів”

Мета роботи: досягти результату навчання: дослідити вплив форми та полярності електричного поля на пробивну напругу повітряних проміжків.

В результаті виконання лабораторної роботи студент повинен:

Знати який вплив на величину пробивної напруги повітряних проміжків надає форма електродів та полярність електричного поля.

Уміти застосовувати властивості полярності електричного поля та інші технічні рішення для збільшення ізоляційних властивостей повітряних проміжків.

Методичні вказівки

Застосування повітря як природного та зручного ізолятора зустрічається у всіх високовольтних апаратах та обладнанні. Пробивна напруга повітряного проміжку визначається головним чином відстанню між електродами та їх формою. Найбільш простою виявляється залежність між розрядною напругою та довжиною розрядного проміжку в однорідному полі. Таке поле створюється плоскими електродами, краї яких, з метою усунення крайового ефекту, закруглюються по еквівалентним лініям.

Для однорідного поля пробивну напругу можна розрахувати за формулою:

$$U_{проб} = 6,66 \cdot \sqrt{\delta \cdot S} + 24,55 \cdot \delta \cdot S, \text{ кВ}$$

де S – відстань між електродами, см; δ – відносна щільність повітря.

Щільність повітря залежить від тиску та температури, зі збільшенням тиску щільність повітря зростає, а зі збільшенням температури – падає.

За нормальні атмосферні умови прийняті – тиск 760 мм.рт.ст. та температура 20°C. При умовах, відмінних від нормальних, щільність повітря визначається із співвідношення

$$\delta = \frac{(273 + 20) \cdot P}{(273 + t) \cdot 1,013 \cdot 10^5}$$

де P – барометричний тиск, Па; t – температура повітря, °C.

Пробій повітряного проміжку в неоднорідному полі протікає інакше, ніж в однорідному, тому що тут напруженість для різних точок поля різна, спостерігається поступове проростання розряду углиб повітряного проміжку із точок, де вона має найбільше значення. Візуально можливо спостерігати різні форми газового розряду: тліючий, іскровий, дуговий та коронний. Проростання розряду рівносильне зменшенню довжини розрядного проміжку при збереженні незмінної величини прикладеної напруги. Отже, при однакових по довжині розрядних проміжків в однорідному та неоднорідному полях, проміжок з неоднорідним полем пробивається при меншій напрузі. Зниження розрядної напруги для проміжку з неоднорідним полем залежить від ступеня

неоднорідності. Досвід показує, що найбільша неоднорідність поля відповідає електродам з вкрай малим радіусом кривизни (голка-голка).

Пробивна напруга для електродів голка-голка можна розрахувати за формулою (амплітудне значення):

$$U_{проб} = 12,6 \cdot \delta \cdot S^{0,85}, \text{ кВ при } S \leq 6 \text{ см}$$

$$U_{проб} = \delta (20 + 5 \cdot S), \text{ кВ при } S \leq 8 \text{ см}$$

Для електродів голка-площина можна застосувати формулу для голок, маючи на увазі, що пробивна напруга між голкою та площиною можна отримати, якщо розділити навпіл пробивну напругу між двома голками, розташованими на подвоєній відстані. Поле двох куль в площинах, що проходять через лінії центрів, однорідне. Найбільша напруженість поля буде на поверхнях, які направлені один до одного, в точках на лінії, що з'єднує центри куль. Причому амплітудні значення пробивної напруги повітряного проміжку куля-куля певна величина для даної відстані, ця властивість кулькового розрядника використовується для вимірювань високої напруги в лабораторних та виробничих умовах.

Між різними за формою електродами утворюється неоднорідне та несиметричне поле. В такому полі електрична міцність повітря в значній мірі залежить від полярності електродів. Найбільш яскраво ефект полярності проявляється при електродах голка-площина, що створюють різко неоднорідне та несиметричне поле. Нехай при тій самій відстані між електродами в першому випадку голка має позитивну, а в другому – негативну полярність. (рис. 1). В обох випадках іонізація починається поблизу голки, де напруженість поля максимальна. При руйнуванні повітря в області інтенсивної іонізації створюється позитивний заряд, тому що негативні заряди, як найбільш рухомі, ідуть до протилежного електроду. Об'ємний позитивний заряд спотворює поле та впливає на подальший процес іонізації газового проміжку. Електрони, що рухаються від негативної площини до позитивної голки, будуть розганятися об'ємним зарядом та ударна іонізація посилиться, тобто розрядна напруга зменшиться. Об'ємний позитивний заряд при даній полярності ослабшає поле поблизу голки (рис. 1, а) та посилює поле в останній частині повітряного проміжку.

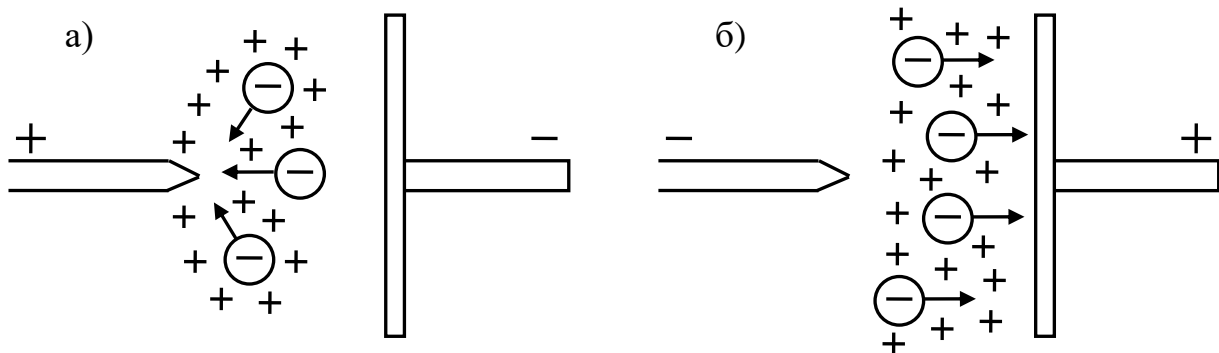


Рис. 1 Механізм створення розряду при різній полярності голки

При негативній голці об'ємний заряд посилить поле поблизу голки та послабить в останній частині проміжку. Ударна іонізація в невеликій області коло голки посилиться, але на більшій частині проміжку вона, навпаки, послабиться, тому що електрони, що рухаються до позитивної площі, будуть гальмуватися об'ємним зарядом. При цьому розрядна напруга виявляється набагато більша.

Для збільшення електричної міцності газових проміжків з різко неоднорідними полями широко використовуються бар'єри. Вплив, який надає бар'єр на розрядні напруги, пов'язаний зі зміною об'ємного заряду проміжку, тому пробивна напруга самого бар'єру істотної ролі не грає, і у якості його можна з успіхом використати лист тонкої щільного паперу.

Розглянемо вплив, який надає бар'єр в проміжку "+голка-площина". При наявності бар'єру позитивні іони затримуються ним та розтікаються по поверхні тим більш рівномірним шаром, чим далі бар'єр від голки.

Напруженість поля на ділянці бар'єр-площина зростає, але розподіляється більш рівномірно. Тому бар'єр при позитивній полярності голки призводить до значимого збільшення розрядних напруг.

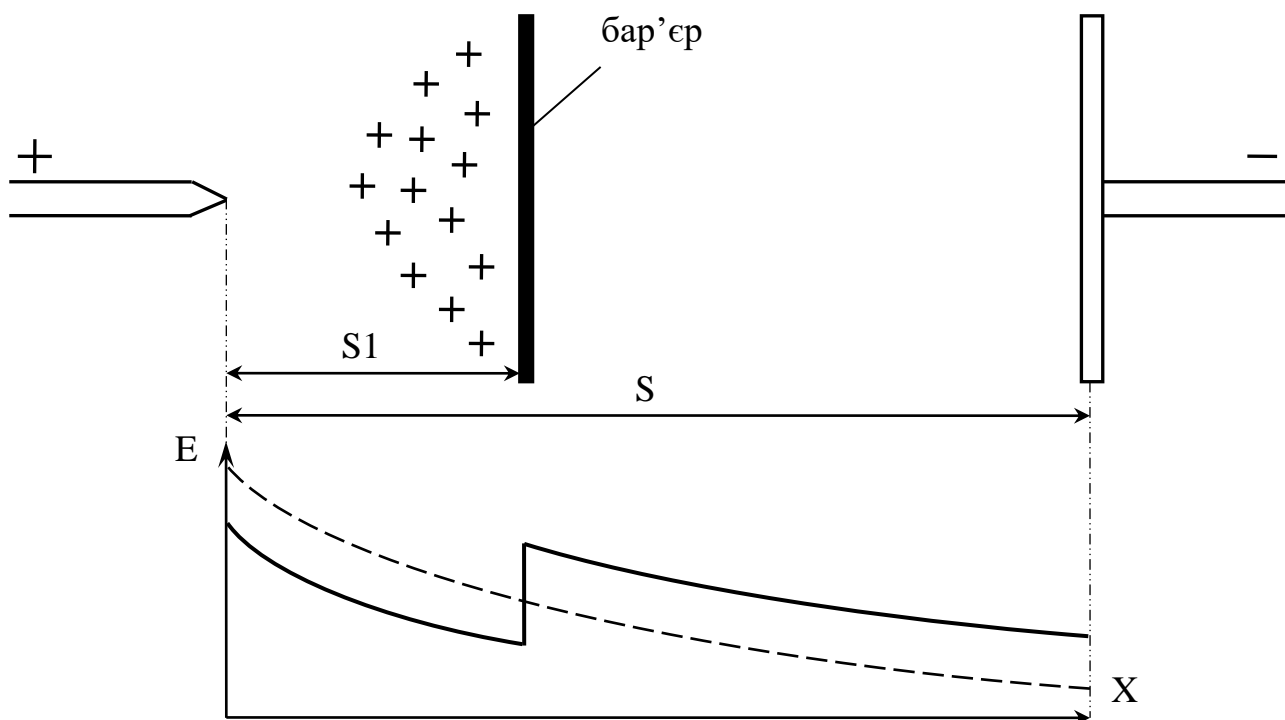


Рис.2 Бар'єр в різко неоднорідному полі

При негативній полярності стрижня бар'єр затримує електрони, що рухаються в площині та які створюють на поверхні бар'єру негативні іони. Таким чином, бар'єр сприяє створенню концентрованого негативного об'ємного заряду там, де при відсутності бар'єру був об'ємний заряд (рис. 1, б). В результаті напруженість поля на ділянці бар'єр-площина збільшується, а розрядні напруги зменшуються.

Досвід показує, що найбільш ефективним є розміщення бар'єра на відстані від стрижня $S_1 = (0,2...0,3) S$. В цьому випадку розрядні напруги при позитивній полярності збільшуються більш ніж у 2 рази, а при негативній – ще не зменшуються, тобто ефект полярності усувається практично повністю.

Пробій в різко неоднорідному полі при змінній напрузі відбувається завжди в позитивний напівперіод, коли розрядні напруги проміжку нижче. Тому вплив бар'єрів при змінному струмі буде таке саме, як і при напрузі постійного струму.

Опис лабораторної установки

Для отримання високих напруг застосовується високовольтний випробувальний апарат АП-70, який видає напругу змінного струму від 0 до 50 кВ та постійного струму від 0 до 70 кВ.

Електроди різних форм закріплюються на двох підставках, що виконані із опорних ізоляторів та можуть вільно пересуватися в горизонтальному напрямку для зміни величини пробивного проміжку.

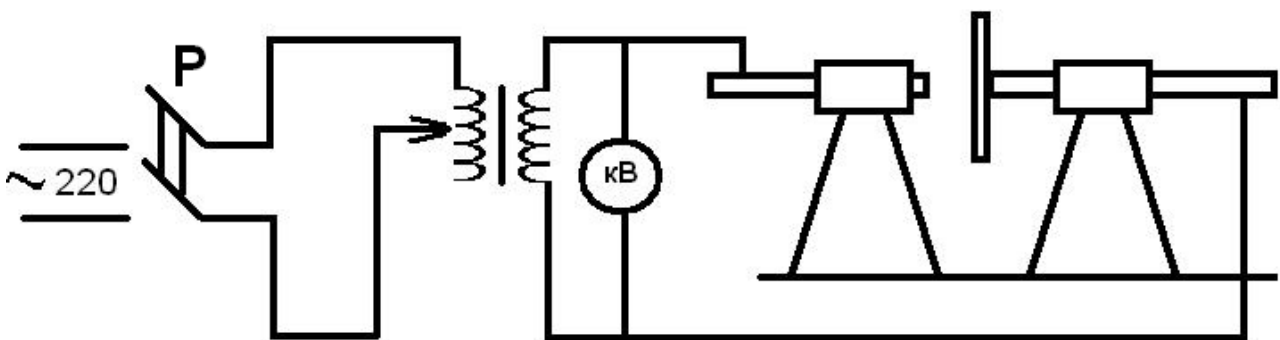


Рис. 3 Схема установки

Діелектричний бар'єр являє собою папір, що закріплений на ізоляційній підставці із опорного ізолятора. Щоб отримати високу напругу постійного струму до апарату АП підключають кенотрон та коло кенотрону.

Порядок виконання роботи

При виконанні роботи необхідно:

1. Отримати залежність розрядної напруги від довжини розрядного проміжку при змінній напрузі для наступних типів електродів:

- а) голка-голка;
- б) голка-площина;
- в) площина-площина;
- г) куля-куля.

Дані вимірювань занести в табл. 1.

Таблиця 1

№ п/п	Форма електродів	S, см	За даними дослідження		По емпіричній формулі	
			U _{2 max} , кВ	E ₂ , кВ/см	U _{2 max} , кВ	E ₂ , кВ/см
1	Голка-голка	1,0				
		2,0				
		3,0				
		4,0				
		5,0				
2	Площина-площина	1,0				
		2,0				
		3,0				
		4,0				
		5,0				
3	Голка-площина	1,0				
		2,0				
		3,0				
		4,0				
		5,0				
4	Куля-куля	1,0	Із роботи ТВН-1			
		2,0				
		3,0				
		4,0				
		5,0				

2. Отримати залежність розрядної напруги від довжини розрядного проміжку для електродів голка-площина при постійному струмі та наступній полярності:

- а) позитивні голка – негативна площина;
- б) негативна голка – позитивна площина.

Полярність змінюється за допомогою випрямляючого пристрою.
Результати занести в табл. 2.

Таблиця 2

№№ п/п	Відстань між електродами S, см	Пробивна напруга U _{2 max} , кВ	
		“+” голка / “-” площина	“-” голка / “+” площина
1	1,0		
2	1,5		
3	2,0		
4	2,5		
5	3,0		

3. Отримати залежність розрядної напруги від довжини розрядного проміжку при розташуванні бар’єру між електродами.

При цьому відстань між електродами залишається незмінною.
Вимірювання здійснюються при переміщенні лише бар’єру.
Результати занести в табл. 3.

Таблиця 3

№№ п/п	Відстань між електродами S, см	Відстань між голкою та бар'єром S, см	Пробивна напруга $U_{2 \max}$, кВ	
			“+” голка - “-” площина	“-” голка - “+” площина
1	3	0,5		
2		1,0		
3		1,5		
		2,0		
		2,5		

При цьому безпосередній порядок виконання роботи наступний:

1. Встановити на випробувальному стенді необхідні типи електродів з певною відстанню між ними та приєднати електроди до АП-70.
2. Вийти з кабіни та зачинити двері.
3. Увімкнути рубильник, при цьому загориться напис „Ввімкнено”.
4. Увімкнути автомат на апараті.
5. Збільшуючи напругу обертом рукоятки зі швидкістю 1...2 кВ/сек, пробити повітряний проміжок між електродами та зняти показання.
6. Якщо автомат не відключиться автоматично, відключити його вручну, а потім відключити рубильник.
7. Відкрити двері, зайти до кабіну, взяти заземлюючу штангу та перевірити відсутність напруги, для чого спочатку доторкнутися гострим кінцем штанги (через додатковий опір) до електродів, потім зігнути.
8. Здійснити необхідні перестановки на стенді та продовжувати виконання роботи, починаючи в тій же послідовності з п. 1.
9. Всі роботи здійснюються тільки під наглядом викладача та з його дозволу. При відсутності викладача виконувати роботу забороняється.

Зміст звіту

1. Теоретичні основи роботи.
2. Таблиці з даними вимірювань.
3. Сполучені графіки $U_{np} = f(S)$ табл. 1., табл. 2., табл. 3.
4. Висновки.

Контрольні запитання

1. Назвати види розрядів в газах (повітрі).
2. Що таке лавина та стример?
3. В чому різниця між несамостійним та самостійним електричним розрядом?
4. Що таке початкова напруженість та початкова напруга при розрядах в газі?
5. Яка властивість кульового розрядника дозволяє використовувати його для вимірювання високих напруг?
6. В чому основна різниця однорідного, слабонеоднорідного та різконеоднорідного електричних полів?
7. Як впливає полярність на пробивну напругу проміжків з однорідним, слабонеоднорідним та різконеоднорідним електричними полями?
8. Як пояснити вплив бар'єра на електричну міцність проміжку голка-площина?
9. Як здійснюється вимір високих напруг при виконанні лабораторної роботи?
10. Які полярність та форма випрямленої напруги на лабораторній установці?

Лабораторна робота 3 “Дослідження розподілу напруги елементами ізоляційних конструкцій”

Мета роботи: досягти результатів навчання: ознайомлення із загальними принципами виконання лінійної та підстанційної ізоляції, дослідження основних електричних характеристик ізоляторів.

В результаті виконання лабораторної роботи студент повинен:

Знати – призначення, основні типи і характеристики ізоляторів, які використовуються на лініях електропередач і підстанціях.

Уміти – провести дослідження і аналіз електричних характеристик ізоляторів.

Методичні вказівки

1. Основні характеристики ізоляторів

Сухорозрядна напруга ізолятора – найменша напруга промислової частоти, при котрій по сухій і чистій поверхні ізолятора настає іскровий розряд. Його величина в основному визначається найкоротшою відстанню по повітря між електродами.

Мокророзрядна напруга ізолятора – найменша напруга промислової частоти, при котрій відбувається іскровий розряд по ізолятору при дії на нього нормованого дощу під кутом 45° до горизонту. При цьому ізолятор повинен бути в нормальному робочому положенні.

Пробивна напруга ізолятора – найменша напруга промислової частоти, при котрій відбувається пробій діелектрика через товщу ізолятора.

Для фарфорових ізоляторів

$$U_{пр} = 80\sqrt[3]{S^2}$$

де S – товщина діелектрика.

Імпульсна розрядна напруга ізолятора – амплітуда стандартної хвилі 1,5/40, а також хвилі, яка зрізана, при прикладенні яких настає імпульсний розряд в 50% всіх випадків.

Гарантована механічна міцність – якнайменше значення плавно зростаючого механічного навантаження, при якому настає часткове або повне руйнування ізолятора (видиме).

Електромеханічна міцність ізолятора – найменша величина механічного навантаження, що ушкоджує ізолятор, який знаходиться під впливом 0,75...0,8 сухорозрядної напруги.

Годинне випробувальне навантаження складає 75% електромеханічної міцності. Це навантаження ізолятор повинен витримувати впродовж години без пошкоджень. Вказується звичайно в маркіруванні ізолятора та є основною експлуатаційною характеристикою. На практиці максимальні сталі навантаження, що впливають на ізолятор, вибираються так, щоб вони не перевищували 50% годинного випробувального.

Таблиця 1. Характеристики лінійних штирьових ізоляторів

Тип ізолятора	Розміри		Гарантована механічна міцність на вигин, кГ	Розрядна напруга			
	Н, мм	D, мм		при 50 кВ діюч.		при імпульсах + 1,5/40 мкс	
				сухо-розрядна	мокро-розрядна	при 2 мкс	50% -макс
ШС-6	94	126	1400	50	28	109	83
ШД-6	108	100	1300	52	30	108	75
ШС-10	110	147	1400	60	34	130	101
ШД-10	125	112	1900	62,5	38	117	90
ШД-20	190	185	3500	68	64	170	132
ШД-35	270	250	6000	129	95	270	179

Таблиця 2. Характеристики опорних ізоляторів

Тип ізолятора	Клас напруги, кВ	Висота, мм	Найбільший діаметр фарфору, мм	Розрядна напруга, кВ, діюч.		50% імпульсна напруга, кВ, макс
				сухо-розрядна	мокро-розрядна	
ОА-6	6	165	86	50	–	62
ОВ-10	10	225	130	63	–	105
ОМА-6	6	100	77	50	–	–
ШН-10	10	188	160	73	36	98
ИШД-35	35	400	430	145	88	230
СТ-110	110	1030	180	330	240	500
3хШТ-35	110	1200	370	330	240	575
5хИШД-35	220	2000	430	610	460	930

Таблиця 3. Характеристики підвісних ізоляторів тарілкового типу

Тип ізолятора	Розміри		Вага, кг	Годинне випробувальне навантаження, Т	Гарантована механічна міцність	Пробивна міцність, кВ, діюч.	Розрядні напруги при 50 Гц, кВ, діюч.	
	Н, мм	D, мм					сухо-розрядна	мокро-розрядна
ПС-4,5	170	270	6,4	4,5	7,0	110	75	40
ПС-4,5	120	255	4,0	4,5	9,0	135	75	40
П-8,5	204	320	12,3	8,5	11,0	125		
ПС-8,5	160	270	5,5	8,5	15,0	135		
П-11	215	350	14,2	11,0	14,5	125		
ПС-11	170	270	6,9	11,0	18,0	135		
ПС-16	190	320	9,0	16,0	25,0	130		
ПС-4,5	130	255	3,9	4,5	7,0	87	62	40

Ізолятори з лужного скла, випускається Львівським склозаводом.

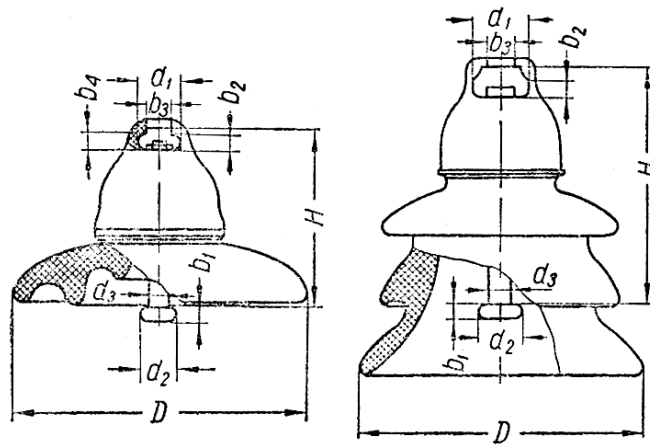


Рис. 1. Підвісні ізолятори

Гірлянда ізоляторів складається з послідовно з'єднаних підвісних ізоляторів. Кожний підвісний ізолятор складається з двох металевих електродів, відокремлених один від одного фарфором або склом. В електричному колі підвісний ізолятор поводить як конденсатор незначної ємності. Тому гірлянда підвісних ізоляторів є ланцюжком ємностей.

При роботі гірлянди електричне поле виникає не тільки в діелектрику кожного підвісного ізолятора, але і між металевими деталями гірлянди та землею, з одного боку і між металевими елементами гірлянди та проводом, з другого боку. Електричне поле утворює ємності відносно землі (C_3) і відносно проводу (C_{Π}).

На рис. 2 показана гірлянда підвісних ізоляторів, а на рис. 3 – електрична схема заміщення. Тут C – внутрішні (власні) ємності ізолятора, C_3 – ємності металевих елементів гірлянди відносно заземлених частин (опора, заземлення), C_{Π} – ємності цих же елементів відносно проводу.

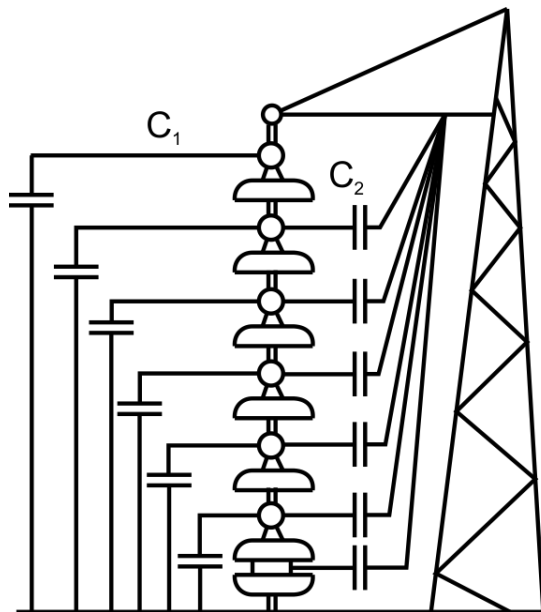


Рис. 2. Гірлянда підвісних ізоляторів

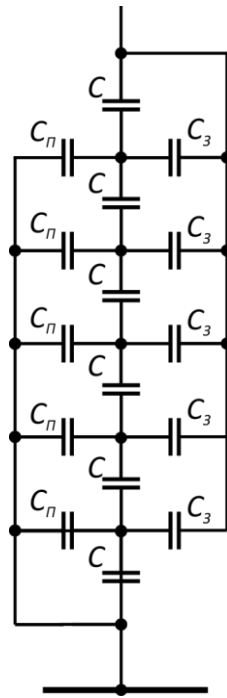


Рис. 3. Електрична схема заміщення гірлянди ізоляторів

Зазвичай для всіх ізоляторів гірлянди ємності C однакові, оскільки гірлянда комплектується з однотипних ізоляторів. Якби паразитні ємності C_3 і C_{Π} були відсутні, напруга розподілялася б по елементах гірлянди рівномірно, оскільки через ємності елементів протікав один і той же струм, що викликає однакові падіння напруги на ємностях елементів.

Як правило, у гірлянди ізоляторів C_3 по величині перевершує ємність C_{Π} через великі розміри заземлених частин. Тому розподіл напруги уздовж гірлянди по своєму характеру відповідає розподілу напруги в колі $C - C_3$.

Якщо припустити, що ємність C_{Π} відсутня, то схему заміщення гірлянди ізоляторів можна представити рис. 4. Тут стрілками умовно показано розподіл струмів ємностей. Через ємність найближчого до землі елемента гірлянди протікає якнайменший струм, а через ємність елемента, найближчого до проводу – найбільший.

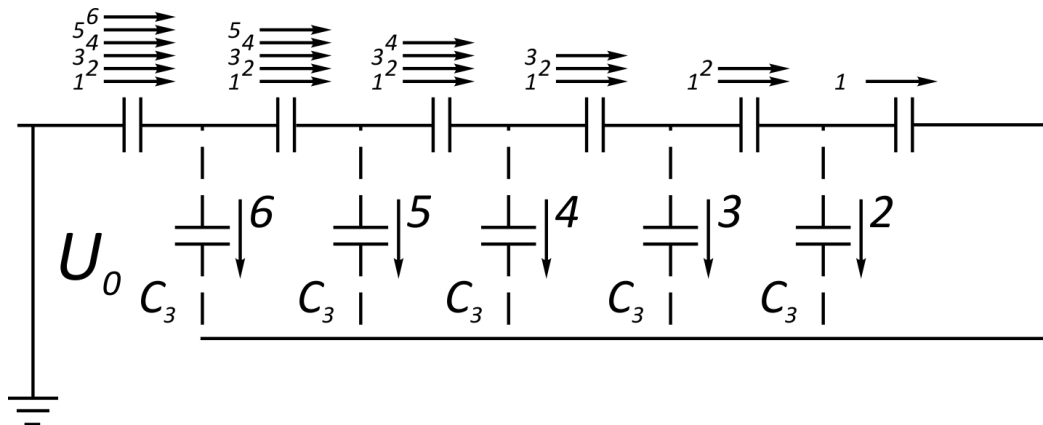


Рис. 4. Схема заміщення гірлянди ізоляторів за відсутністю C_{Π}

Отже, наявність ємностей відносно землі призводить до того, що найбільше падіння напруги буде на ізоляторі найближчому до проводу.

Вирівнювання розподілу напруги уздовж гірлянди досягається за рахунок застосування спеціальної арматури у вигляді кілець та рогів, які закріплюються в місці підвіски проводу (наявність такої арматури збільшує ємність C_{Π} , в основному, в ізоляторах найближчих до проводу і тим самим зменшує частку напруги, що припадає на них).

Дослідження розподілу напруги уздовж гірлянди ізоляторів проводять за допомогою допоміжного кульового розрядника, відрегульованого на певну пробивну напругу і приєднаного послідовно на кожному з ізоляторів гірлянди.

Крива розподілу потенціалів в гірлянді ізоляторів не змінюється від величини прикладеної до гірлянди напруги.

З кожного досліду визначається якнайменша напруга гірлянди, при якій відбувається пробій допоміжного кульового розрядника.

Іншими словами, пробивна напруга допоміжного розрядника постійна та дорівнює, скажемо 5 кВ.

При подачі напруги на всю гірлянду ізоляторів допоміжний розрядник пробиватиметься при напрузі 5 кВ, незалежно від того на якому ізоляторі гірлянди він встановлений.

Проте для отримання пробивної напруги (5 кВ) на різних ізоляторах потрібна подача різної величини напруги на всю гірлянду ізоляторів, унаслідок того, що падіння напруги на кожному ізоляторі визначається добутком

$$I_C x_C = U_{\text{В}}$$

де I_C – величина струму ємності, що протікає крізь гірлянду ізоляторів, яка визначається величиною ємності гірлянди (між проводом і опорою); x_C – опір ємності даного ізолятора протіканню струму I_C , котрий залежить від місця розташування ізолятора в гірлянді.

Позначимо через $U_{\Gamma i}$ напругу гірлянди, при котрій відбувається пробій допоміжного розрядника, встановленого на i -ому ізоляторі; α – відносне значення напруги відповідного ізолятора (віднесене до напруги гірлянди)

$$\alpha_1 = U_{\text{ВСП}}/U_{\Gamma 1}; \quad \alpha_2 = U_{\text{ВСП}}/U_{\Gamma 2}; \quad \alpha_3 = U_{\text{ВСП}}/U_{\Gamma 3}; \dots \quad \dots \alpha_n = U_{\text{ВСП}}/U_{\Gamma n}$$

Сума відносних напруг в межах всієї гірлянди

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n = 1$$

Отже

$$U_{\text{ВСП}} \left(\frac{1}{U_{\Gamma 1}} + \frac{1}{U_{\Gamma 2}} + \frac{1}{U_{\Gamma 3}} + \dots + \frac{1}{U_{\Gamma n}} \right) = 1$$

Звідки

$$U_{\text{ВСП}} = \frac{1}{\sum_{n=1}^n \frac{1}{U_{\Gamma i}}}$$

Відносна напруга будь-якого ізолятора гірлянди

$$\alpha_i = \frac{U_{\text{ВСП}}}{U_{\Gamma_i}} = \frac{1}{U_{\Gamma_i} \sum_{n=1}^n \frac{1}{U_{\Gamma_i}}} \quad \alpha_{\%} = \frac{100}{U_{\Gamma_i} \sum_{n=1}^n \frac{1}{U_{\Gamma_i}}}$$

Порядок виконання роботи

Дослідне визначення величини сухорозрядної напруги проводиться у високовольтній кабіні. До електродів ізолятора підводиться напруга та плавно підіймається від нуля з швидкістю не більше 1...2 кВ/с до напруги пробою. Результати випробування заносяться до табл. 4.

Таблиця 4. Дослідне визначення величини сухорозрядної напруги

№ п/п	Тип ізолятора	Робоча висота, см	Найбільший діаметр, см	Сухорозрядна напруга, кВ	
				таблична	дослідна

Вимірювання напруги на елементі гірлянди проводиться за допомогою кульового розрядника. Відстань між кулями розрядника протягом досліду повинна залишатися постійною. Напруга гірлянди визначається по вольтметру випробувального трансформатора.

Напруга від трансформатора підводиться до досліджуваної гірлянди з двох сторін (у відмінності від реальних схем) і поступово збільшується до настання пробою в допоміжному розряднику.

Розрядник переміщається послідовно по всіх ізоляторах гірлянди.

Результати досліду заносяться до табл. 5.

Таблиця 5. Визначення відносної напруги на гірлянді ізоляторів

№ ізолятора	Без кільця		З кільцем		Примітка
	Напруга на гірлянді U , кВ	Відносна напруга на ізоляторі	Напруга на гірлянді U , кВ	Відносна напруга на ізоляторі	
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Зміст звіту

- 1 Мета роботи.
- 2 Ескізи ізоляторів.
- 3 Графік розподілу відносних напруг ізоляторів гірлянди з кільцем ємності та без нього.
- 4 Таблиці з даними вимірювань.
- 5 Висновки.

Контрольні запитання

1. Перерахуйте основні характеристики ізоляторів.
2. Що таке сухорозрядна та мокророзрядна напруга ізолятора?
3. Що таке пробивна напруга ізолятора та імпульсна розрядна напруга ізолятора?
4. Що таке гарантована механічна міцність та електромеханічна міцність ізолятора?
5. Що таке годинне випробувальне навантаження ? Наведіть перелік заводських випробувань?
6. Чим пояснюється нерівномірний розподіл напруги уздовж гірлянди ізоляторів?
7. Для чого застосовується допоміжний кульовий розрядник?
8. Який з ізоляторів гірлянди знаходяться в найгірших умовах і чому? Поясніть це за допомогою графі 2 табл. 5.
9. Який з ізоляторів гірлянди знаходиться в найкращих умовах і чому? Поясніть це за допомогою графі 2 табл. 5.
10. Які заходи застосовуються для вирівнювання розподілу напруги по гірлянді ізоляторів? Поясніть фізичне значення цих заходів.
11. Викресліть і опишіть схему заміщення гірлянди ізоляторів. Поясніть різницю у величині струму, що протікає по ізоляторах.

Лабораторна робота 4 “Дослідження коронного розряду на проводах ЛЕП та втрат на коронування”

Мета роботи: досягти результатів навчання: вивчити протікання коронного розряду на проводах ліній електропередач різної форми.

В результаті виконання лабораторної роботи студент повинен:

Знати – характер виникнення та протікання коронного розряду, його недоліки і шляхи зменшення втрат на корону.

Уміти – знаходити втрати на корону та приймати технічні рішення з їх ліквідації.

Методичні вказівки

Коронний розряд являє собою один із видів самостійного розряду, характерний для різконеоднорідних полів. Він супроводжується:

- свіченням у виді ореола, який охоплює електрод, що коронує (звідси і назва «корона»);
- втратами електричної енергії;
- електромагнітним високочастотними коливаннями та їх випромінюванням;
- рядом хімічних реакцій, зокрема виникненням озону та окислів азоту;
- характерним шумом (шипіння);
- механічними вібраціями.

Критична напруженість поля, при якій починається невидима корона, для одиночного проводу знаходиться за формулою:

$$E_0 = 21,1 \cdot \delta, \text{ кВ/см} \quad (1)$$

де δ – відносна щільність повітря.

$$\delta = 0,386 \cdot P / T_a,$$

де P – тиск; T_a – абсолютна температура.

Якщо $P = 760$ мм.рт.ст., $T_a = 20$ °С, то $\delta = 1$.

По Піку стан поверхні проводу оцінюється коефіцієнтом m_1 , а вплив атмосферних умов – m_2 . Рівняння для визначення напруги, при якій настає невидима корона, запишеться так:

$$U_0 = 21,1 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \delta \cdot r \cdot \ln(S / r), \text{ кВ} \quad (2)$$

Ця формула дійсна для радіусу проводу $r > 0,2$ см, де U_0 – половина напруги між двома проводами однофазної лінії.

$m_1 = 1$ для полірованих проводів;

0,93...0,95 – для шорстких;

0,81 – для нових багатожильних проводів;

0,88 – для тих же старих;

0,87 – для нових многожильних алюмінієвих проводів;
 0,9 – для старих;
 $m_2 = 1$ для гарної погоди
 0,8 – для поганої погоди (туман, сніг, дощ).

Іноді цей коефіцієнт береться трохи нижче, особливо при морозі.

Критична напруженість електричного поля для початку удрної іонізації на поверхні проводу недостатня для настання світіння, тобто для появи видимої корони.

Напруженість електричного поля для видимої корони повинна бути вище і визначатись за формулою:

$$E_{\text{BK}} = E_0 \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{\delta \cdot r}} \right), \text{ кВ/см} \quad (3)$$

Початкова напруга видимої корони визначається формулою:

$$U_{\text{BK}} = 21,1 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \ln \frac{S}{r} \left(\delta + \frac{0,3}{\sqrt{r}} \right) \cdot r, \text{ кВ} \quad (4)$$

Для ліквідації корони йдуть на підвищення діаметру проводу.

В наш час використовують замість одного проводу розщеплені проводи (3...4 проводи на фазу), з'єднані паралельно і розташовані на вершинах рівностороннього трикутника (при трьох проводах). Таке улаштування дозволяє зменшити індуктивність, але підвищити ємність. Це призводить до зміни хвильового опору.

Критична напруга при розщеплених проводах визначається за формулою (амплітудне значення):

$$U_{\text{к}} = 120 \frac{n \cdot k \cdot r}{C_0} \cdot 10^{-4}, \text{ кВ} \quad (5)$$

де n – число проводів на одну фазу; r – радіус одного проводу, см; C_0 – робоча ємність лінії, що не коронує, на одиницю довжини, Ф/км; k – коефіцієнт, який враховує конструкцію лінії з розщепленими проводами, знаходиться за формулою:

$$k = 1 + (n - 1) \frac{2 \cdot r}{d} \sin \frac{\pi}{r},$$

де d – відстань між окремими проводами однієї фази, см.

Якщо перевищити напругу корони між двома проводами, тоді між ними може настати іскровий розряд. Напруженість поля іскрового розряду визначається за виразом (амплітудне значення):

$$E_{\text{IC}} = 30 \cdot \delta \left(1 + \frac{0,01}{\sqrt{\delta \cdot r}} \cdot \frac{S}{r} \right), \text{ кВ/см} \quad (6)$$

Напруга іскрового розряду (амплітудне значення):

$$U_{\text{IC}} = E_{\text{IC}} \cdot r \cdot \ln (S / r), \text{ кВ} \quad (7)$$

Порядок виконання роботи

1. Користуючись формулами 2, 4, 7 для проводів діаметром $d = 1$ мм розрахунковим шляхом визначити значення:

- напруги ударної іонізації $U_{0\text{ЕФ}}$;
- початкової напруги видимої корони $U_{\text{ВК}}$;
- напруги іскрового розряду $U_{\text{ІС}}$.

2. Виконати теж саме що й в п. 1, але для проводу діаметром 4 мм.

3. Встановити на іспитовому стенді проводи діаметром 1 мм, виміряти відстань між ними та зібрати електричну схему рис. 1.

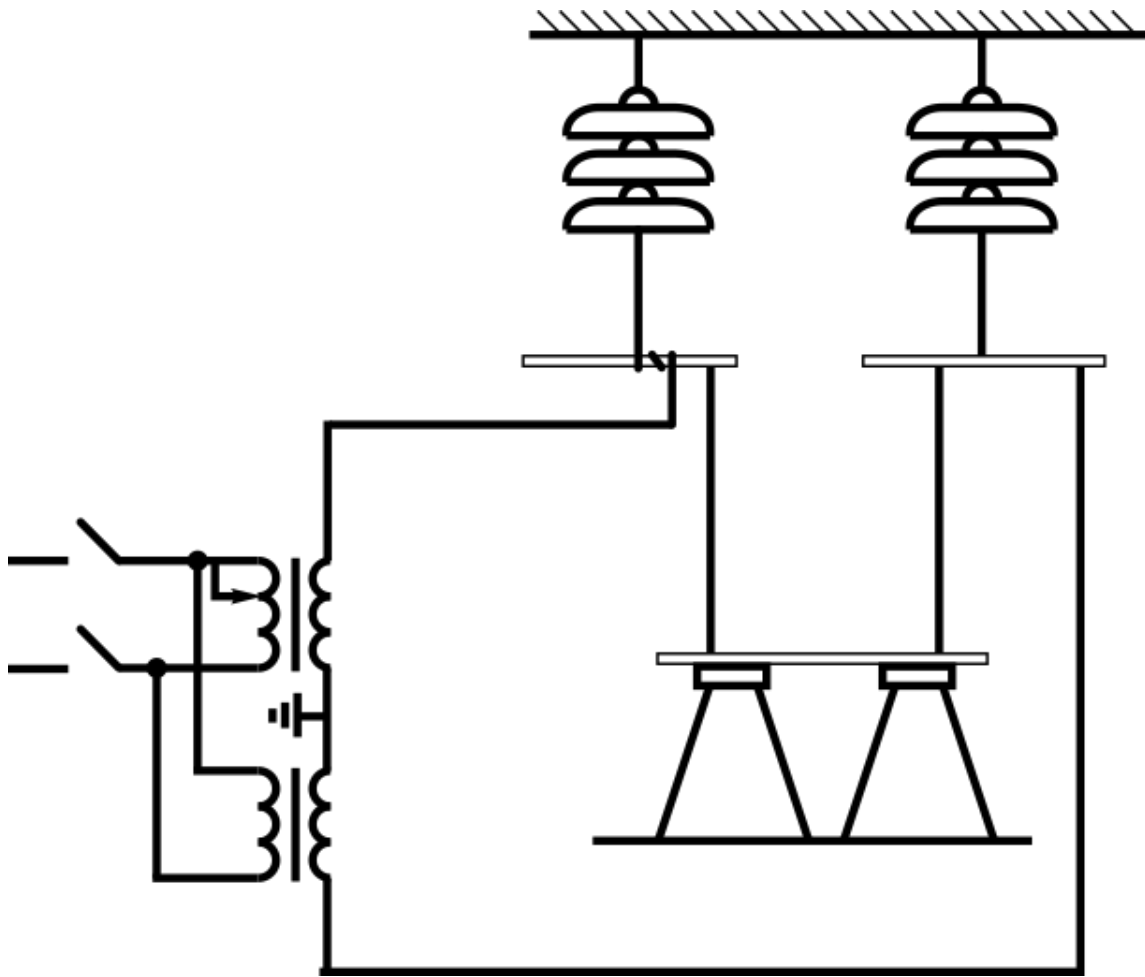


Рис.1. Схема для визначення напруги коронного розряду

4. Увімкнути рубильник, автомат на двох апаратах і піднімаючи напругу зі швидкістю $1 \dots 2$ кВ/сек, виконати необхідні виміри.

5. Вимкнути автомати на апаратах, рубильники, зайти до kabіни, перевірити штангою відсутність напруги на проводах.

6. Встановити проводи діаметром 4 мм і виконати ті ж самі операції, що в пп. 2, 3, 4.

7. Встановити розщеплені проводи та повторити дії пп. 2, 3, 4.

8. Відключити установку.

Зміст звіту

1. Мета і порядок виконання роботи.
2. Електрична схема іспитової установки.
3. Повні розрахунки по визначенню необхідних величин у роботі.
4. Результати вимірів і порівняння з розрахунковими даними.

Контрольні запитання

1. Умови виникнення коронного розряду.
2. Явища, які супроводжують коронний розряд. Їх фізичні тлумачення.
3. Критична (початкова) напруженість виникнення коронного розряду. Фактори, які впливають на її величину (кривизна і т.д.).
4. Які максимальні напруженості поля допустимі на проводах ПЛ змінного струму?
5. Які марки проводу і які розщеплення застосовуються на лініях 220, 330, 500 та 750 кВ?
6. У чому полягає ефективності застосування розщеплених проводів?
7. Які технічні рішення сприяють зниженню втрат енергії на корону?
8. Умови виникнення самостійного розряду?
9. Яким є електричне поле, в якому виникає коронний розряд?
10. Дати характеристику різко неоднорідного поля.
11. Дати характеристику слабо неоднорідного поля.

Лабораторна робота 5 “Вивчення та випробування розрядників”

Мета роботи: досягти результатів навчання: ознайомлення з характеристиками і конструкцією розрядників.

В результаті виконання лабораторної роботи студент повинен:

Знати – призначення і загальну конструкцію розрядників.

Уміти – вибирати розрядники для захисту електроустановок.

Методичні вказівки

Для захисту електричної ізоляції установок високої напруги від небезпечних дій перенапружень використовуються розрядники.

По конструктивному виконанню розрядники розділяються на три основні групи:

1. Іскрові розрядники (PI).
2. Трубчасті розрядники (PT).
3. Вентильні розрядники (PB).

1 Іскрові розрядники

Основними елементами розрядників всіх типів є іскрові проміжки, які являють собою або повітряні проміжки між двома електродами, або багатократні повітряні проміжки з послідовно з'єднаними нелінійними опорами.

Іскрові проміжки розрядників встановлюються між ізольованою фазою та землею, яка паралельно захищається.

В нормальних умовах роботи вони не мають замкнутого кола і струм через них не проходить.

Коли перенапруження досягає певної величини, відбувається спрацьовування розрядника – виникає пробій іскрового проміжку, з'єднуючи ізольовану фазу, котра захищається, із землею і відводячи електричний заряд небезпечної хвилі перенапруги в землю через іскровий проміжок.

Іскровий розрядник є найпростішою конструкцією розрядника, в якому повітряний проміжок створюється між двома електродами, виконаними у вигляді стрижнів, рогів, кілець, сферичних поверхонь (рис. 1).

Перевагами таких розрядників є:

- простота конструкції;
- дешевизна;
- практично, необмежена потужність.

Основним недоліком іскрових розрядників є відсутність пристроїв гасіння дуги супроводжуючого струму.

Область застосування – спрощені схеми грозозахисту, а також схеми з великими потужностями КЗ.

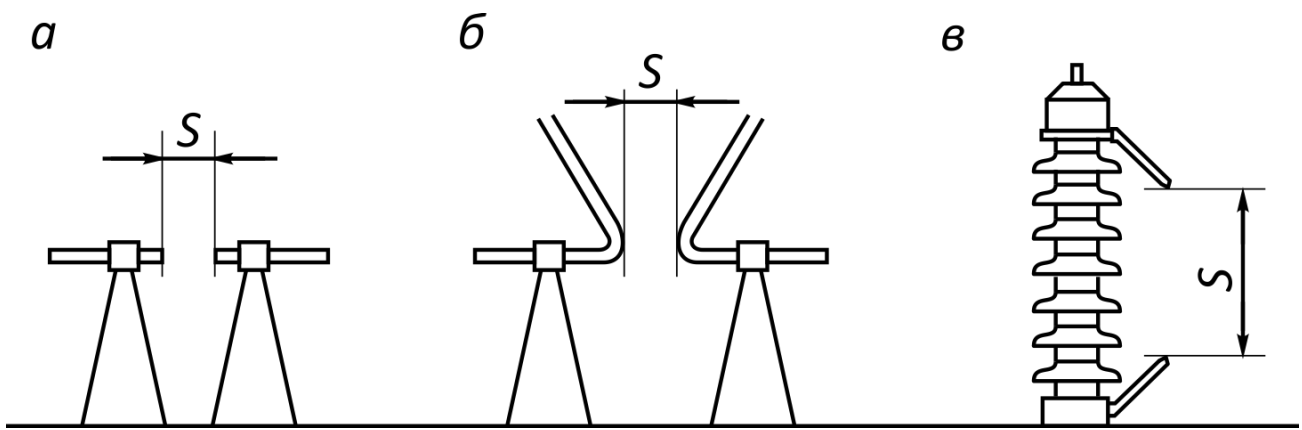


Рис. 1. Іскрові розрядники:
а – стержньовий; б, в – рогові

2 Трубчасті розрядники

Трубчастий розрядник складається з порожнистих ізоляційної 1 і газогенеруючої 2 трубок (рис. 2), всередині яких розміщені електроди 4 і 3, що створюють внутрішній іскровий проміжок. Внутрішні стінки трубки виконуються з твердого газогенеруючого матеріалу, який під дією високої температури дуги виділяє велику кількість газів. У якості такого матеріалу приймається фібра, вініпласт, органічне скло. Електрод 3 у вигляді сталевий обійми розміщується у вихлопного кінця трубки, а електрод 4 у вигляді стрижня закріплюється на різьбі, і, як наслідок, внутрішній розрядний проміжок легко регулюється. Сталева камера утворює на закритому кінці трубки вільний об'єм. Між верхнім електродом 3 розрядника і струмоведучою частиною ділянки лінії, котра захищається, виконується зовнішній іскровий проміжок S_H , призначений для відділення розрядника в нормальних умовах від робочої напруги струмоведучої частини. Наявність цього проміжку усуває можливість появи струмів витоку по поверхні розрядника, які з часом могли б погіршити стан поверхні та викликати перекриття трубки по поверхні.

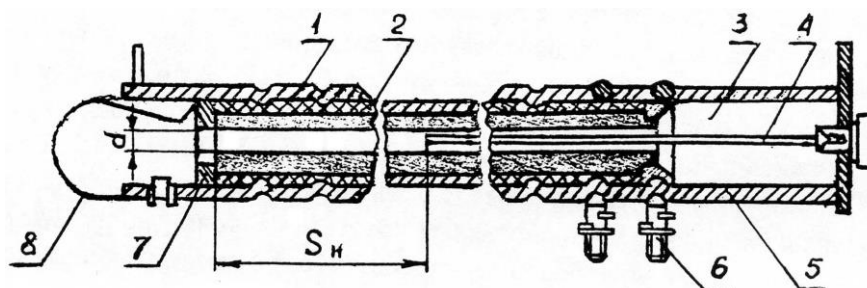


Рис. 2. Трубчастий фібробакелітовий розрядник РТФ

Робота розрядника полягає в наступному. Після пробою зовнішнього проміжку імпульсною хвилею перенапруги пробивається внутрішній проміжок і небезпечна хвиля перенапруг відводиться у ґрунт, а під дією дуги

супроводжуючого струму всередині трубки в проміжку починається інтенсивне газоутворення. Тиск газів у трубці різко зростає до декількох десятків, або навіть сотень атмосфер. Гази, спрямовуючись до відкритого кінця трубки, створюють інтенсивне подовжнє дуття, яке забезпечує гасіння дуги та супроводжуючого струму при першому проходженні його через нуль.

Технічні дані розрядників приведені в табл. 1.

Таблиця 1. Технічні дані трубчастих розрядників

Тип		Довжина іскрового проміжку, мм		Розрядна напруга, кВ, діюч. при 50 Гц	
		внутрішня	зовнішня	сухорозрядна	мокророзрядна
РТФ	6	40	8 – 15	39	42
	0,3 – 7				
РТФ	35	250	95 – 155	95 – 155	83 – 135
	0,4 – 3				
РТВУ	110	650	217 – 282	217 – 282	212 – 255
	7 – 30				

Недоліком трубчастих розрядників є невідповідність їх вольт-секундних характеристик вольт-секундним характеристикам ізоляції та високий рівень відстаючої напруги. Наведені недоліки обмежують область застосування трубчастих розрядників захистом ізоляції ліній електропередач і невеликих підстанцій. Найважливішою особливістю трубчастих розрядників, яка відрізняє їх від іскрових розрядників, є здатність гасити дугу супроводжуючого струму за час, котрий не перевищує напівперіод живлячої напруги, завдяки чому спрацьовування розрядника не призводить до вимкнення електроустановки.

Розрядники кріпляться за відкритий або закритий кінець трубки. Вихлопний отвір розрядника не повинен бути закритим сторонніми предметами. Для запобігання зосередження вологи всередині розрядника він повинен закріплюватися з нахилом до горизонту під кутом не менше 5° відкритим кінцем вниз. В умовах підвищених забруднень кут нахилу збільшується до 45...60°, що створює умови для самоочищення розрядника при дощі. Розташування розрядників повинне бути таким, щоб в зону вихлопу не потрапляли проводи, заземлені конструкції, а також зони вихлопу інших розрядників. Для обліку числа спрацьовувань розрядники забезпечуються показниками спрацьовування.

2.3 Вентильні розрядники

Вентильні розрядники складаються з багатократних іскрових проміжків і послідовно з'єднаних з ними робочих нелінійних опорів. Багатократний іскровий проміжок складається з одиночних іскрових проміжків. Одиночний іскровий проміжок (рис. 3) утворюється з двох латунних штампованих шайб, розділених міканітовою прокладкою завтовшки 0,5...1 мм.

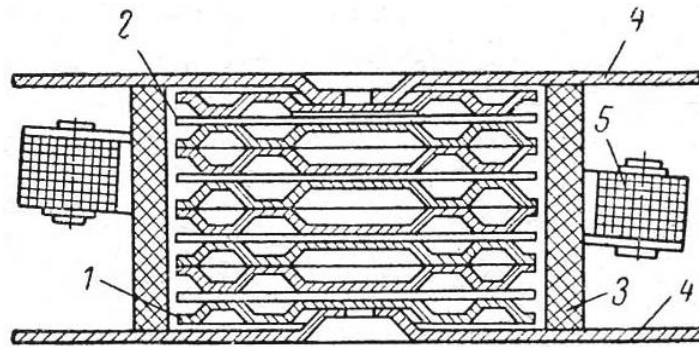


Рис. 3. Одиничний іскровий проміжок розрядника:
 1 – фігурні латунні електроди; 2 – міканітова шайба; 3 – фарфоровий циліндр; 4 – латунна кришка; 5 – шунтуючий опір

Призначення іскрових проміжків:

- відділяють робочий нелінійний опір від струмоведучого кола об'єкту, котрий захищається, при нормальному режимі роботи;
- автоматично через іскровий розряд вводять робочий нелінійний опір в коло розрядного струму на землю при дії небезпечної хвилі перенапруг;
- забезпечують гасіння електричної дуги супроводжуючого струму.

Виконання іскрового проміжку багатократним дає можливість:

- наблизити вольт-секундну характеристику розрядника до вольт-секундної характеристики ізоляції за рахунок великої однорідності електричного поля;
- полегшити гасіння дуги супроводжуючого струму за рахунок розбиття дуги на декілька малих дуг і за рахунок поліпшення охолодження дуги електродами великої теплоємності.

Багатократний іскровий проміжок є ланцюжком ємності, напруга по якому розподіляється нерівномірно внаслідок впливу ємності на землю. Тому кожний одиничний іскровий проміжок має неоднакову величину напруги, а, отже, в процесах пробою і гасіння дуги працює в неоднакових умовах. Вирівнювання розподілу напруги уздовж іскрових проміжків досягається за допомогою шунтуючих опорів (розрядники типу РВС).

Робочі опори розрядника складаються з блоків вілітових дисків. Диски зв'язуються у блоки за допомогою керамічної зв'язки. Виготовляються диски пресуванням і подальшим випаленням суміші, яка складається з порошку карборунду, речовини, котра зв'язує (рідке скло) та наповнювачів (крейда, графіт), що зменшують пористість та опір. Опір вілітових дисків різко знижується при протіканні великих імпульсних струмів перенапруг і автоматично збільшується при протіканні супроводжуючого струму, котрий підтримується напругою промислової частоти.

Наближена вольт-амперна характеристика вілітового опору записується співвідношенням $U = C I^\alpha$, де U , I – напруга і струм розрядника; C і α – постійні коефіцієнти, котрі залежать від матеріалу робочого опору.

Коефіцієнт α , що носить назву коефіцієнта вентиляльності, для віліту лежить в межах 0,2...0,22.

Переріз вілітового розрядника представлений на рис. 4. Контроль стану вентиляльних розрядників здійснюється шляхом вимірювання струмів витоку і розрядних напруг іскрових проміжків один раз в 1...3 роки. У розрядників напругою 35 кВ і вище, що мають шунтуючий опір іскрових проміжків, проводиться тільки вимірювання струмів витоку на постійному струмі. Різке зниження струму витоку вказує на обрив в колі шунтуючих опорів. Різке зростання струмів витоку вказує в більшості випадків на відволоження шунтуючих опорів або на проникнення в порожнину розрядника вологи. Витоки, котрі допускаються у вентиляльних розрядників, приведені в табл.2.

Таблиця 2. Технічні дані вентиляльних розрядників

Тип розрядника	Номінальна напруга, кВ	Пробивна напруга, кВ		Імпульсна пробивна напруга, кВ
		максимальна	мінімальна	
РВП-10	10	26	30,5	45
РВС-110	110	200	250	285
РВМГ-35	35	70	83	105
РТВ-6	6	7,6	15	18

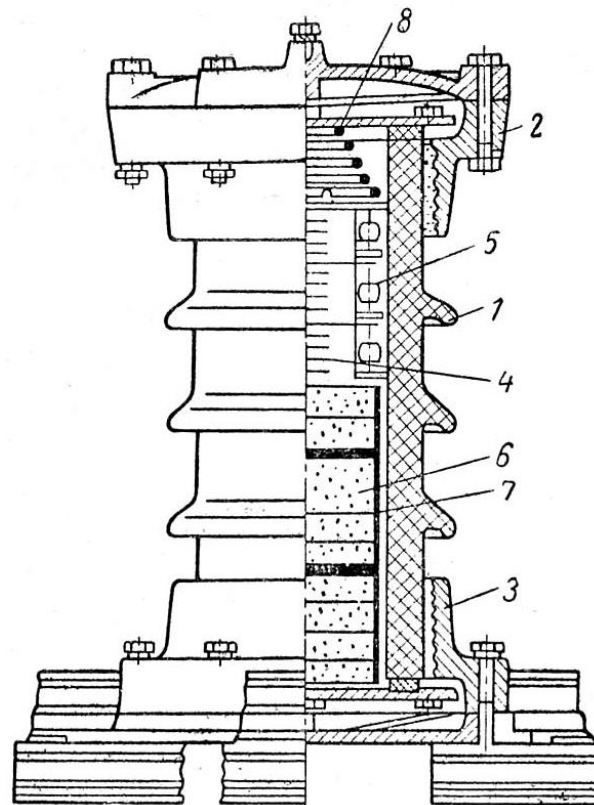


Рис.4 – Розрядник вілітовий стаціонарний типу РВС:

- 1 – фарфоровий чохол; 2 – кришка; 3 – сілуміновий фланець;
- 4 – одиничні іскрові проміжки; 5 – шунтуючий опір; 6 – робочий опір;
- 7 – керамічна обмазка; 8 – пружина, що стискає.

Порядок виконання роботи

- 1 Ознайомитися з розрядниками, які є в лабораторії.
- 2 Встановити на ізоляторі трубчастий розрядник, а на іншому ізоляторі стрижень, що імітує провід ЛЕП.
- 3 Встановити зовнішній проміжок 5...10 мм.
- 4 Включити апарат АП-70.
- 5 Подати змінну напругу і плавно піднімати її до пробую розрядника.
- 6 Відключити установку.
- 7 Підключити вентильний розрядник, дотримуючи всі запобіжні заходи.
- 8 Аналогічний експеримент провести з вентильним розрядником, підключивши його без зовнішнього іскрового проміжку.
- 9 Результати вимірювань занести в табл.3.

Таблиця 3. Дослідження розрядників

№ пп	Тип розрядника	Довжина іскрового проміжку, мм	Сухорозрядна напруга, кВ	
			таблична	дослідна

Зміст звіту

- 1 Програма роботи.
- 2 Ескізи розрядників.
- 3 Результати випробувань.
- 4 Висновки.

Контрольні запитання

1. Як підрозділяються розрядники за конструктивним виконанням?
2. Конструкція та принцип дії іскрового розрядника.
3. Як влаштований трубчастий розрядник?
4. З яких основних частин складається вентильний розрядник?
5. Чому для захисту підстанцій застосовуються вентильні, а не трубчасті розрядники?
6. Що таке залишкова напруга гасіння?
7. В чому полягає відмінність вольт-секундних характеристик трубчастих і вентильних розрядників?
8. Яким вимогам повинні задовольняти конструкції установки трубчастих розрядників?
9. З яких міркувань встановлюється пробивна напруга розрядника?
10. Що являють собою стабілізовані захисні проміжки? Поясніть принцип їх дії.

11. В чому полягає принцип дугогасіння в іскрових проміжках розрядників РВС і розрядників РВМР?

12. Чим забезпечується ефект нелінійності робочого опору вентильного розрядника?

13. Які обмеження накладаються на імпульсні та супроводжуючі струми, що проходять крізь робочий опір вентильного розрядника?

14. Чим визначається вибір внутрішнього і зовнішнього іскрового проміжків трубчастого розрядника?

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основні

1. Корольов А.М., Степаненко Ю.В. Техніка високих напруг: Навчальний посібник [Електронне видання]. – Дніпро: Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”, кафедра електроенергетики, 2021. – 134 с.
2. Василюк С. В., Василюк К. С. Техніка високих напруг: навчальний посібник. – Рівне : НУВГП, 2018. – 187 с.
3. Farouk A. M. Rizk, Giao N. High voltage engineering. Boca Raton, Florida, USA : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. 804 p.

Інформаційні ресурси

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

Методичне видання

Стапаненко Юрій Вікторович
Прокуда Володимир Миколайович

Методичні рекомендації до лабораторних робіт
з дисципліни
«Техніка високих напруг»
для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

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