



Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій

Кафедра електропостачання та енергетичного  
менеджменту

## ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Методичні вказівки

до виконання лабораторної роботи

Визначення електричної міцності листових ізоляційних матеріалів  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної форми навчання зі спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Харків  
2023

Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій**

**Кафедра електропостачання та енергетичного  
менеджменту**

## **ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ**

Методичні вказівки

до виконання лабораторної роботи

Визначення електричної міцності листових ізоляційних матеріалів для  
здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми  
навчання зі спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Затверджено рішенням  
науково-методичної ради  
факультету енергетики,  
робототехніки та комп'ютерних  
технологій  
Протокол № 3  
від 22 лютого 2023 року

Харків  
2023

УДК 620.311

Схвалено на засіданні кафедри  
електропостачання та енергетичного менеджменту  
Протокол №7 від 8.02.2023 р.

**Рецензенти:**

**С. О. Тимчук**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ДБТУ.

**Ю. М. Хандола**, канд. техн. наук, зав. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ.

Електротехнічні матеріали: Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Визначення електричної міцності листових ізоляційних матеріалів» студентами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навч., спец.: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»; Державний біотехнологічний університет; упоряд.: В. Г. Пазій – Харків: 2023. – 14 с.

Методичні вказівки включають відомості про тверді діелектрики, їхні властивості та застосування в техніці. Наведено методику визначення електричної міцності паперу, заходи безпеки при виконанні роботи, формули для розрахунку та вимоги для оформлення звіту. Виконання лабораторної роботи допоможе майбутнім фахівцям використовувати отримані знання на практиці.

Видання призначене для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**УДК 620.311**

Відповідальний за випуск: **В. Г. Пазій**

© Пазій В.Г. 2023.

© ДБТУ, 2023

## МЕТА РОБОТИ

Вивчення явища електричного пробою твердих ізоляційних матеріалів, визначення їх електричної міцності та встановлення її залежності від товщини діелектрика, його чистоти та однорідності.

## ПРОГРАМА РОБОТИ

1. Вивчити загальні відомості про тверді діелектрики і механізми їх пробою.
2. Ознайомитись з випробувальною установкою та технікою безпеки при виконанні роботи.
3. Записати в звіт паспортні дані приладів та апаратів.
4. Визначити електричну міцність виданих зразків листових ізоляційних матеріалів.
5. Побудувати графічну залежність електричної міцності зразків від їх кількості.
6. Зробити висновок по роботі та оформити звіт.

## ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Явище втрати матеріалом його електроізоляційних властивостей при перевищенні певного критичного значення напруженості електричного поля називається *пробоєм діелектрика*. Пробій діелектрика призводить до утворення в ньому каналу з високою електричною провідністю.

Значення напруги, при якій відбувається пробій діелектрика, називається *напругою пробою*, позначається  $U_{np}$  і вимірюється у вольтах (В) або кіловольтах (кВ).

Відповідне значення напруженості поля називається *електричною міцністю діелектрика*, позначається  $E_{np}$  і вимірюється в МВ/м. Електрична міцність визначається відношенням напруги пробою до товщини діелектрика за формулою:

$$E_{np} = U_{np} / h,$$

де  $h$  – товщина діелектрика в місці пробою.

На практиці зручно напругу виражати в кВ, а товщину в мм. Тоді електрична міцність буде в кВ/мм. Для переходу до одиниць СІ можна користуватись МВ/м:  $1 \text{ МВ/м} = 10^6 \text{ В/м} = 1 \text{ кВ/мм}$ .

Пробій твердих діелектриків може бути викликаний електричними і тепловими процесами, що виникають під дією електричного поля. Явище електричного пробою твердих діелектриків зумовлене порушенням пружних зв'язків між зарядами, що зміщуються внаслідок дії електричної напруги.

Величина пробивної напруги твердих діелектриків залежить від роду електричного поля (однорідне чи неоднорідне). В однорідному електричному полі електрична міцність досягає граничного значення для даного матеріалу:

$$E_{пр. одн. п.} > E_{пр. неодн. п.}$$

Розрізняють кілька видів пробою твердих діелектриків.

Чисто *електричний пробій* являє собою безпосереднє руйнування структури діелектрика силами електричного поля, що діє на електрично заряджені частинки діелектрика. Даний вид пробою розвивається практично миттєво. Тому, якщо пробій не відбувся зразу, то вважають, що діелектрик може тривало витримати дане поле.

*Тепловий пробій* є наслідком зменшення активного опору діелектрика під впливом нагрівання в електричному полі, що призводить до зростання активного струму і подальшого збільшення нагрівання діелектрика до його термічного руйнування.

На величину пробивної напруги при тепловому пробі впливає відвід тепла від діелектрика, що знаходиться під напругою. Тому пробивна напруженість (електрична міцність) діелектрика буде зменшуватись зі збільшенням його товщини, оскільки відвід тепла при збільшенні товщини погіршується. Значення електричної міцності різних твердих діелектриків змінюється в межах від 3 до 200 МВ/м. Визначення електричної міцності твердих ізоляційних матеріалів проводять на змінному струмові частотою 50 Гц. Зразки для випробування являють собою квадрати зі сторонами 100 мм.

В електротехніці широко застосовуються волокнисті електроізоляційні матеріали – матеріали, що складаються переважно або повністю з частинок видовженої форми – волокон. Волокна можуть мати різний розмір і бути або помітними неозброєним оком (тканина) або можуть бути виявлені лише за допомогою мікроскопа (картон, папір, деревина).

Переваги волокнистих матеріалів: дешевизна, достатня в ряді випадків механічна міцність і гнучкість, зручність обробки. Недоліки: низька електрична міцність і теплопровідність (через наявність проміжків, заповнених повітрям), підвищена гігроскопічність.

Властивості волокнистих матеріалів можуть бути покращені шляхом просочування.

Волокнисті матеріали є переважно органічними речовинами. До них належать матеріали *рослинного походження* (дерево, бавовняне волокно, папір та ін., що складаються в основному із целюлози) і *тваринного походження* (шовк, вовна), штучні волокна, що одержують шляхом хімічної переробки природної волокнистої (в основному целюлозної) сировини й, нарешті, синтетичні волокна, виготовлені із синтетичних полімерів, що здобувають особливо важливе значення останнім часом.

Основною ознакою волокнистих матеріалів є їхня структура: вони складаються з окремих тонких, зазвичай гнучких елементів – волокон, з великим відношенням довжини до товщини. Наприклад, довжина волокон бавовни 25 мм при товщині 0,015 мм, лляного волокна відповідно 25 і 0,02 мм. Скляне волокно має діаметр у межах 0,003 - 0,050 мм, волокно з капрону від 0,01 до 0,03 мм. При безперервному способі виробництва ці волокна мають довжину, що обчислюється кілометрами.

Волокнисті матеріали бувають тканні (усілякі тканини, стрічки) і нетканні (пряжа, папери, картони). Тканні матеріали являють собою цілком упорядковану структуру у вигляді певного переплетення ниток. Папери й картони являють собою досить складно переплетену систему волокон (повсть), у якій може бути й напрямок переважної орієнтації.

Для виготовлення паперів і картону застосовується деревна целюлоза, що одержується шляхом варіння здрібненої деревини. Залежно від способу варіння розрізняють такі види целюлози: сульфітну – одержувану при кислому способі варіння, і сульфатну – одержувану при лужному способі. Із сульфатної целюлози жирного помелу для одержання малої товщини й більшого значення діелектричної проникності виготовляють *конденсаторні папери*. Їх товщина для різних марок лежить у межах від 4 до 30 мкм, пробивна напруга повинна бути не нижче меж 240 – 680 В. Тангенс кута діелектричних втрат  $tg \delta$  для різних марок повинен бути в межах: при 60 °С від 0,0009 до 0,0018, при 100 °С від 0,001 до 0,0035. Механічну міцність конденсаторного паперу характеризують його розривною довжиною, тобто довжиною стрічки паперу, що обривається під дією власної ваги; вона повинна бути для різних марок від 8000 до 8500 м.

*Кабельні папери* для силових кабелів випускаються із сульфатної целюлози із загальним діапазоном товщин від 0,08 до 0,24 мм. Для телефонних кабелів застосовується папір зі зниженими вимогами.

Звичайні папери мають густину в межах 760 – 850 кг/м<sup>3</sup>, ущільнені – в межах 1090 – 1100 кг/м<sup>3</sup> і вище. Діапазони деяких параметрів кабельних паперів різних марок: tg δ сухого паперу 0,0027 - 0,0023, просоченого оливою 0,0037 - 0,0030. Електрична міцність кабельних паперів різних товщин і густини, просочених оливою, лежить у межах 60 - 90 МВ/м.

Папір, просочений рідким діелектриком має нагрівостійкість класу А. Шляхом обробки паперу в процесі виробництва деякими органічними сполуками його нагрівостійкість при роботі в нафтовому маслі підвищують до класу Е. Такий стабілізований папір призначений для виткової ізоляції масляних високовольтних трансформаторів. Вартість цього паперу трохи вища, ніж звичайного.

*Електроізоляційні картони (електрокартони)* досить широко використовуються в електротехніці і поділяються на два види: для роботи в маслі й для роботи на повітрі. Перші випускають в аркушах товщиною від 1 до 6 мм максимального формату 3×4 м із сульфатної целюлози або із суміші сульфатної целюлози з бавовняною целюлозою. Для циліндрів і інших деталей головної ізоляції трансформаторів застосовують картон «м'який» зі зниженою густиною. Він легше деформується при виготовленні різних деталей, іноді досить складної форми, хоча має дещо знижені механічні параметри й електричну міцність.

### **Техніка безпеки та порядок роботи з установкою для пробою твердих ізоляційних матеріалів**

Визначення електричної міцності повітря проводиться за допомогою установки, електрична схема якої зображена на рис. 3.1.

Установка для пробою твердих ізоляційних матеріалів розташована за металевою сітчастою огорожею, вхід в яку блокується кінцевим вимикачем *SQ*, який розміщено на дверях огорожі.

Входити за огорожу можна тільки з дозволу викладача.

Якщо хто-небудь знаходиться в комірці високовольтного трансформатора (за огорожею), то двері огорожі повинні бути обов'язково відкритими.

Вмикання установки дозволяється тільки в присутності викладача. При вмиканні високої напруги слід попередити працюючих командою "Вмикаю".

Вмикання високовольтного трансформатора здійснюється кнопкою *SB1* "Пуск", вимикання – кнопкою *SB2* "Стоп".

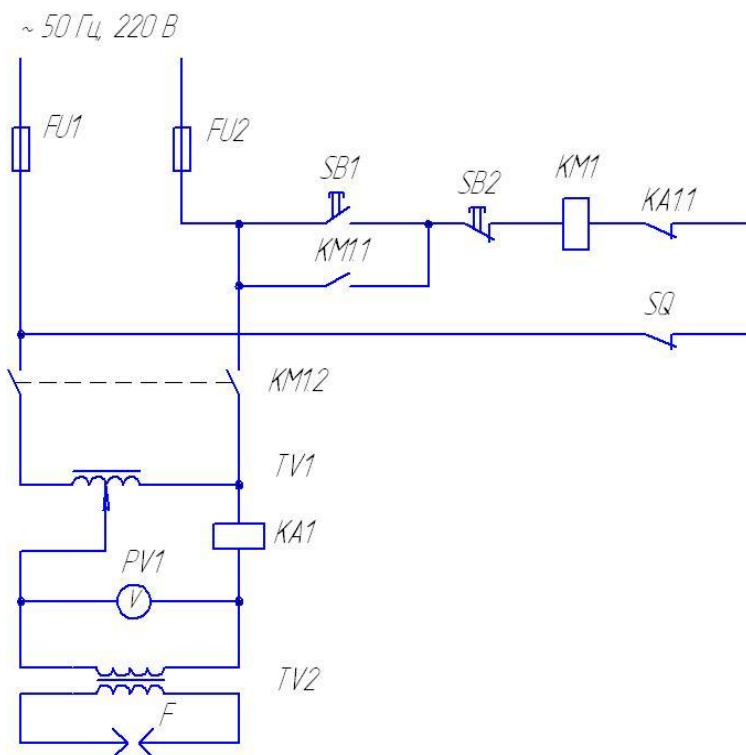


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема установки для пробою твердих ізоляційних матеріалів

Регулювання напруги здійснюється на низькій стороні високовольтного трансформатора за допомогою автотрансформатора *TV1* типу ЛАТР.

При вмиканні установки необхідно, щоб рукоятка автотрансформатора знаходилась на позначці "0".

Захист трансформатора напруги *TV2* від коротких замикань при пробі забезпечується за допомогою реле максимального струму *KA1* типу РТ40/6, нормально замкнутий контакт якого *KA1.1*, послідовно з'єднаний з котушкою магнітного пускача *KM1*.

До високовольтних клем трансформатора *TV2* (НОМ-10) через гумові шланги з водою приєднаний розрядник *F*.

Розрядник складається зі штоків, на які нагвинчуються змінні електроди. Електроди виконані з латуні у вигляді циліндрів висотою та діаметром 25 мм.



## ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Визначення електричної міцності твердих діелектриків проводиться в такій послідовності:

1. Отримати у викладача зразки листових ізоляційних матеріалів для випробування.

2. Перевірити одержані зразки на відсутність механічних пошкоджень, виміряти за допомогою мікрометра їх товщину та записати у звіт (табл. 3.1) їх вихідні дані (назва, кількість шарів, товщина).

Таблиця 3.1 – Дані вимірювання пробивної напруги та розрахунки електричної міцності твердих ізоляційних матеріалів

№	Назва матеріалу	$n$ , шт.	$h$ , мм	$U$ , В	$U_{ef}$ , кВ	$U_{np}$ , кВ	$E_{np}$ , МВ/м
1							
2							
3							

В таблиці позначені:

$n$  – кількість шарів досліджуваного зразка, шт.;

$h$  – товщина всього пакету, мм;

$U$  – покази вольтметра  $PVI$  (напруга на первинній обмотці випробувального трансформатора  $TV2$ ), В;

$U_{ef}$  – ефективне значення напруги на вторинній обмотці випробувального трансформатора  $TV2$ , кВ;

$$U_{ef} = (kU) / 1000, \text{ кВ},$$

де  $k$  – коефіцієнт трансформації трансформатора  $TV2$ ,  $k = 100$ .

$U_{np}$  – амплітудне значення пробивної напруги, кВ;

$$U_{np} = \sqrt{2} \cdot U_{ef}, \text{ кВ}.$$

$E_{np}$  – електрична міцність досліджуваного зразка, МВ/м,

$$E_{np} = U_{np} / h, \text{ МВ/м}.$$

3. З дозволу викладача зайти в комірку високовольтного

трансформатора та впевнитися, що двополюсний рубильник, розміщений зліва від розрядника, встановлений у положення "НОМ - 10".

4. Відвести рухомий електрод та встановити перший зразок, стежачи, щоб він був посередині між електродами.

5. Вийти з огорожі та зачинити металеві двері високовольтної комірки.

6. Впевнитися, що покажчик автотрансформатора перебуває в положенні "0".

7. З дозволу викладача увімкнути установку і поступово підвищувати напругу за допомогою ЛАТРа. При цьому один із виконавців повинен уважно стежити за показами вольтметра *PVI*, а інший – за розрядником. Швидкість збільшення напруги не повинна перевищувати 0,25 кВ/с.

8. В момент пробою розрядного проміжку треба запам'ятати пробивну напругу. Після пробою покажчик ЛАТРа повернути на позначку "0".

9. Записати отримані значення пробивної напруги в табл. 3.1.

10. Аналогічно провести досліди (пп. 4 – 9) для іншої кількості зразків.

11. За результатами роботи оформити звіт по лабораторній роботі.

12. Дати відповідь на контрольні питання.

## **ПЛАН СКЛАДАННЯ ЗВІТУ**

Звіт з лабораторної роботи виконується на аркушах формату А4 з одного боку і повинен містити такі дані:

1. Титульний лист встановленого зразка з темою роботи і прізвищами виконавців.

2. Мета та програма роботи.

3. Технічні дані вимірювальних приладів, що використовуються в роботі.

Паспортні дані інших приладів (ЛАТР, реле струму і ін.) та їхні характеристики записуються в довільній формі.

4. Принципова електрична схема установки для визначення електричної міцності твердих ізоляційних матеріалів. Схема викреслюється обов'язково вручну (ксерокопія не допускається) з дотриманням розмірів і стандартів умовних позначень елементів.

Таблиця 3.2 – Паспортні дані вимірювальних приладів

Позначення на схемі	Назва приладу	Марка приладу	Система	Заводський номер	Номінальні величини	Клас точності
PV1	Вольтметр					

5. Таблиця з внесеними даними вимірів та даними розрахунків.

6. Формули для розрахунків з поясненнями.

7. Графіки залежності електричної міцності зразків від кількості їх шарів  $E_{np} = f(n)$ .

8. Висновок по роботі.

У висновках необхідно проаналізувати отримані практичні результати, порівняти їх між собою та з теоретичними даними, а також сформулювати і записати помічену залежність між кількістю шарів зразка та їх електричною міцністю.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке напруга пробою та електрична міцність діелектрика? Яка між ними різниця?

2. Явище пробою твердих діелектриків.

3. Що таке електричний пробій твердих діелектриків?

4. Що таке тепловий пробій твердих ізоляційних матеріалів?

5. Що таке електрохімічний пробій твердих діелектриків?

6. Який порядок проведення випробувань електричної міцності твердих діелектриків?

7. Електроізоляційні папери. Конденсаторний та кабельний папір.

8. Що таке електроізоляційний картон. Його застосування.

9. Як позначається на електричній міцності твердих ізоляційних матеріалів просочування їх трансформаторним маслом?

10. Як залежить електрична міцність твердих ізоляційних матеріалів від їх товщини?

11. Як залежить електрична міцність твердих діелектриків від частоти поля, в якому відбувається пробій?

Навчальне видання

## **ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ**

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи

**Визначення електричної міцності листових ізоляційних матеріалів**

Автор - укладач:

**ПАЗІЙ** Володимир Григорович

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Ум. друк. арк. 0,6. Наклад 100 пр.

Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44