



**Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики, робототехніки  
та комп'ютерних технологій**

**Кафедра електропостачання  
та енергетичного менеджменту**

## **ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ ІЗОЛЯТОРНИХ ВВОДІВ**

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
з дисципліни «Основи надійності та діагностування  
енергетичного обладнання»**

**для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форми навчання, спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**Харків  
2024**

**Міністерство освіти і науки України**  
**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет енергетики, робототехніки**  
**та комп'ютерних технологій**  
**Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту**

**ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ**  
**ІЗОЛЯТОРНИХ ВВОДІВ**

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
з дисципліни «Основи надійності та діагностування  
енергетичного обладнання»

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

Затверджено рішенням  
Науково-методичної ради  
факультету енергетики,  
робототехніки та  
комп'ютерних технологій  
Протокол № 4  
від 29.01.2024 р.

**Харків**  
**2024**

УДК 621.3: 621.3.019.3: 658.588.2

T77

Схвалено  
на засіданні кафедри  
електропостачання та енергетичного менеджменту  
протокол № 7 від 26 січня 2024 р.

**Рецензенти:**

**Н. Г. Косуліна**, д-р техн. наук, проф. Державного біотехнологічного університету;

**М. Л. Лисиченко**, д-р техн. наук, проф. Державного біотехнологічного університету

T77

Визначення діелектричних втрат ізоляторних ввідів: метод. вказівки до виконання лаб. роботи з дисц. «Основи надійності та діагностування енергетичного обладнання» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочн. форм навч., спец.: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Держ. біотехнол. ун.-т; уклад.: І. М. Трунова., В. Г. Пазій. - Харків: [б. в.], 2024.- 10 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни «Основи надійності та діагностування енергетичного обладнання». Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Методичні вказівки призначені здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**УДК 372.862**

**Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник**, д-р техн. наук, проф.

© Трунова І. М., Пазій В. Г., 2024

© ДБТУ, 2024

## ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ ІЗОЛЯТОРНИХ ВВОДІВ

**Мета роботи:** набуття практичних навичок роботи на установці для вимірювання тангенса кута діелектричних втрат вводів та прохідних ізоляторів.

### ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

**Періодичність проведення профілактичних випробувань та контрольних вимірювань** вводів та прохідних ізоляторів згідно з “Нормами...”: К- не рідше 1 разу на 4 роки для вводів з паперово-масляною ізоляцією, Для інших – 1раз на 8 років; М – встановлюються системою ПЗР.

**В обсяг профілактичних випробувань та контрольних вимірювань** вводів та прохідних ізоляторів входять:

1. Вимірювання опору ізоляції (П,К,М)
2. Вимірювання тангенса кута діелектричних втрат (П,К,М).
3. Випробування підвищеною напругою промислової частоти (П,К,М).
4. Перевірка якості ущільнень вводів (П,К)
5. Випробування трансформаторного масла з маслонаповнених вводів (П,К,М)

Діелектричні втрати — це одна з основних характеристик якості електроізоляційних матеріалів. **Діелектричними втратами** називають потужність, що виділяється в діелектрику в разі дії на нього електричного поля. Це призводить до нагрівання діелектрика. Діелектричні втрати в ізоляційному матеріалі зумовлені:

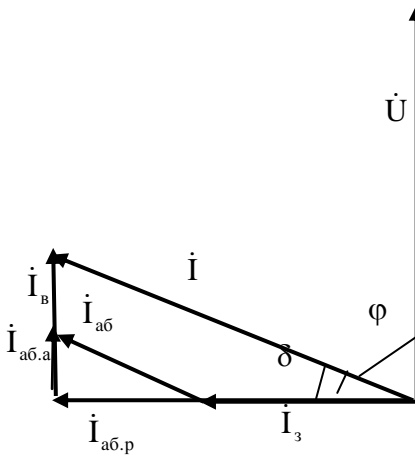
- втратами наскрізної провідності;
- втратами за рахунок теплової поляризації;
- втратами за рахунок іонізації.

В ізоляційних матеріалах виникають додаткові втрати, обумовлені наявністю ізольованих один від одного сторонніх провідникових або напівпровідникових домішок вуглецю, оксидів заліза. Ці втрати значні навіть при малій кількості домішок.

Величину діелектричних втрат характеризують або потужністю на одиницю об'єму, або кутом втрат  $\delta$  (дельта) чи його тангенсом ( $\text{tg } \delta$ ).

**Кутом втрат  $\delta$**  називають кут, що доповнює кут зсуву фаз ( $\varphi$ ) між струмом і напругою до  $90^\circ$ . В випадку ідеального діелектрика вектор струму в ємнісному колі буде випереджати вектор напруги на  $90^\circ$ , тобто  $\delta=0$  (рис.1).

Рисунок 1 - Векторна діаграма струмів і напруг в діелектрику:



$I_z$  – струм зміщення (суто ємнісний струм),

$I_{аб}$  – струм абсорбції або повільної поляризації, коли мають місце втрати енергії в діелектрику, він складається з  $I_{аб.р}$  і  $I_{аб.а}$  (реактивної і активної складових),

$I_{\epsilon}$  – струм витікання через діелектрик є активним струмом, який також викликає втрати в діелектрику.

$$\text{tg } \delta = \frac{I_a}{I_p}, \quad (1)$$

$$I_p = U \cdot \omega \cdot C, \quad (2)$$

де  $I_a, I_p$  - відповідно активна та реактивна складові повного струму  $I$ ;

$C$  – ємність ізолятора;

$\omega \cdot C$  – провідність ізолятора,  $\omega = 2\pi \cdot f$ .

Звідси

$$I_a = tg \delta \cdot U \cdot \omega \cdot C \quad (3)$$

Тоді активна потужність, яка затрачена на нагрівання діелектрика (потужність діелектричних втрат):

$$P_a = I_a \cdot U = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot tg \delta \quad (4)$$

Чим більша розсіювана в діелектриковій потужність, тим менший кут зсуву фаз  $\varphi$  і тим більше кут втрат  $\delta$ .

Значення  $tg \delta$  звичайно не перевищує сотих або десятих часток одиниці, тому його прийнято вимірювати в %. Допустимі значення  $tg \delta$  приведені в “Нормах...”

Своєчасне виявлення дефекту ізоляції на ранній стадії його розвитку виконує найважливішу роль в забезпеченні безаварійної роботи електротехнічних установок. Для практичних випробувань застосовують метод вимірювання діелектричних втрат. Він заснований на спостереженнях за змінами  $tg \delta$ , що відбуваються в ізоляції в процесі експлуатації. Цей метод є основним для масових профілактичних випробувань ізоляції.

Під час проходження змінного струму в ізоляції виникають втрати, що призводить до нагрівання. При великих втратах можливий тепловий пробій ізоляції. Але величина втрат залежить як від структури і якості ізоляції, так і від геометричних розмірів ізоляційної конструкції. Бажано вплив останніх виключити.

Показником, що характеризує тільки структуру і якість ізоляції, є тангенс кута діелектричних втрат ( $tg \delta$ ). Тангенс кута діелектричних втрат не залежить від ємності об'єктів різних розмірів.

За величиною кута діелектричних втрат можна оцінювати середній стан ізоляції, так як місцевий дефект не може суттєво змінити співвідношення між активною та реактивною складовими струмів провідності. У об'єктів відносно невеликих геометричних розмірів, наприклад у прохідних ізоляторів, за величиною  $tg \delta$  може бути виявлений місцевий дефект.

**Вимірювання  $\text{tg } \delta$**  рекомендується проводити для прохідних ізоляторів зі складною ізоляцією, для обмоток трансформаторів, для ізоляційних масел, для деталей вимикачів, розрядників і т.п. Робота по вимірюванню діелектричних втрат та діелектричної проникності проводиться при частоті 50 Гц на **установці змінного струму типу P525**, схема якої зображено на рисунку 2.

В схемі позначені:

PV1 — вольтметр M362 (0...250 В) для контролю напруги;

TV1 — автотрансформатор типу ЛАТР (0...250 В, 9 А);

PV2 — вольтметр Э59 (75, 150, 300, 600 В) для вимірювання напруги на первинній обмотці трансформатора T2;

TV2 – випробувальний трансформатор типу НОМ 10

( $U_1=100$  В,  $U_2=10000$  В,  $S_{\text{max}}=640$  В·А);

F1, F2 – захисні розрядники;

$C_x$ ,  $R_x$  – ємність та активний опір випробовуваного об'єкта;

$C_0$  – зразковий повітряний конденсатор P51 ( $C_0=96,6$  пФ,

$U = 10$  кВ,  $\text{tg } \delta \leq 5 \cdot 10^{-5}$ );

R3 – декадний магазин активних опорів

( $10 \times (1000+100+10+1+0.1)$  Ом);

R4 — активний опір, ( $R_4 = \frac{10000}{\pi} = 3183$  Ом);

C4 – декадний магазин ємностей;

A – електронний підсилювач типу Ф 50 ( $K_{\text{п}} = 50$ );

HG – вібраційний гальванометр або інший нуль-індикатор.

Вимірювання кута діелектричних втрат в лабораторії проводиться для прохідного ізолятора на номінальну напругу 35 кВ. Для досягнення відповідної точності в схемі моста передбачений захист від впливу струмів витікання. Для цього зразковий конденсатор вмикається в міст по трьохелектродній схемі, а корпус його приєднується до загальної схеми екранування. Система екранування сполучена з заземленим полюсом джерела живлення моста. Потенціал нульової діагоналі моста приводиться до потенціалу екрана ввімкненням допоміжної захисної напруги, регульованої по фазі та по величині.

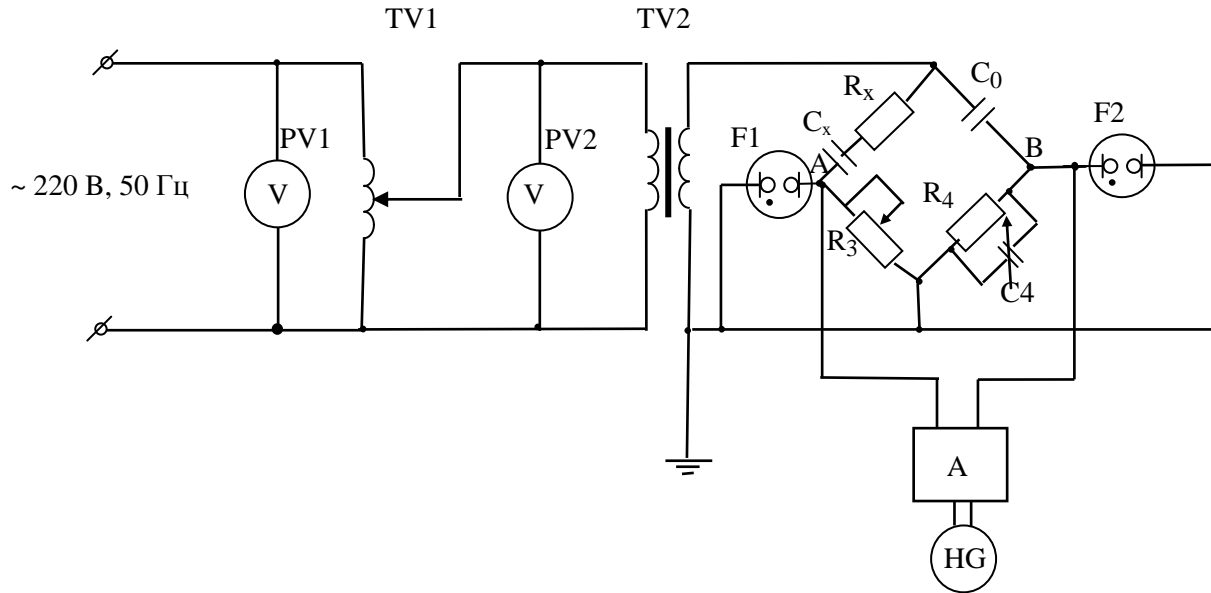


Рисунок 2 - Схема вимірювання діелектричних втрат



В схему основного моста ця напруга передається через роздільний трансформатор напругою, що дорівнює по величині напрузі на первинній обмотці високовольтного трансформатора Т2 (живлення здійснюється від одних і тих же клем автотрансформатора Т1).

**Між середньою точкою плеча R4 та екраном ввімкнено конденсатор ємністю приблизно 500 пФ, який компенсує початкову ємність магазину С4.**

В діагональ моста між точками А і В ввімкнений нульовий індикатор, що складається з електронного підсилювача У та вібраційного гальванометра РV3. Врівноваження моста здійснюється зміною опору R3 та ємності С4.

## ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Скласти схему за рис.2, виконуючи вимоги діючих правил техніки безпеки для роботи з високою напругою. Пересвідчитись в тому, що на всі клеми надіті захисні ковпачки.

2. Встановити всі ручки моста на нулі.

3. Встановити ручки регулювання підсилення та регулювання чутливості гальванометра в положення мінімуму.

4. Записати в протокол випробувань паспортні дані вимірвальних та випробувальних приладів. Записати назву та номінальну напругу випробовуваного прохідного ізолятора.

5. Пересвідчитись в тому, що випробовуваний прохідний ізолятор приєднаний правильно, а ЛАТР (Т1) знаходиться в нульовому положенні. З дозволу викладача ввімкнути живлення моста та підсилювача.

6. Провести дослідження залежності  $tg \delta$  від напруги. Для цього необхідно, спостерігаючи за неоновими розрядниками F1 та F2 моста, поступово підвищити напругу до величини, необхідної за умовами випробування даного ізолятора (див. таблицю 1 протоколу випробувань). Для кожного значення напруги (див.табл.1) виконати п.7-9.

Ємність випробовуваного зразка визначається за виразом

$$C_x = C_o \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \left( \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \delta^2} \right). \quad (5)$$

7. Встановити перемикач П в положення ”основной мост”, а перемикач “полярность” гальванометра в положення “1”, підсилення в положення “4”, гальванометр на другу ступінь чутливості. По черговим обертанням ручок декад R3 та середнього ряду ( $\operatorname{tg} \delta$ ), починаючи з “х 1000” та “х 0,1” досягти рівноваги моста (сходження світлової смуги гальванометра до мінімуму), поступово збільшуючи чутливість гальванометра до 5-го, а підсилення до 7-го положення.

8. Встановити перемикач П в положення “екран”. По черговим обертанням ручок регулювання захисної напруги по величині та по фазі спочатку “грубо” потім “тонко” досягають сходження світлової смуги гальванометра до мінімуму при поступовому збільшенні підсилення. При повній рівновазі моста перевід перемикача П із положення “основной мост” в положення “екран” і навпаки не повинно міняти рівноваги. Вимірне значення тангенса кута діелектричних втрат  $\operatorname{tg} \delta$  зчитується з середнього ряду ручок ( $\operatorname{tg} \delta$ ).

9. Записати в звіт значення  $\operatorname{tg} \delta$  та опору R3.

Найбільші допустимі значення  $\operatorname{tg} \delta$  вводів та прохідних ізоляторів при температурі +20 °С та при випробувальній напрузі, що дорівнює 10 кВ, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Найбільші допустимі значення  $\operatorname{tg} \delta$  вводів та прохідних ізоляторів

Номінальна напруга прохідного ізолятора, кВ	$\operatorname{tg} \delta$ , %	
	при вводі в експлуатацію	в експлуатації
3-15	3	12
25-35	3	7
60-110	2	5

10. За результатами вимірювань скласти протокол випробувань та зробити висновок про придатність прохідного ізолятора до експлуатації.

### ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ

Устрою \_\_\_\_\_  
/зазначити тип і заводський номер/

Бригада в складі \_\_\_\_\_

за схемою рис.2 (додається) провела такі випробування:

1. \_\_\_\_\_

При цьому використовувалась вимірювальна апаратура:

Назва	Система	Заводський номер	Номінальні величини	Клас точності	Примітки

Результати випробувань та дослідні характеристики

Таблиця 1 – Дослідні дані

$U$ , кВ	3	5	7	8	9	10
$R_3$ , Ом						
$tg \delta$						
$C_x$ , пФ						

Висновок \_\_\_\_\_

(чи відповідає технічним вимогам, або перерахувати

\_\_\_\_\_  
несправності, що заважають експлуатації)

Дата \_\_\_\_\_ Підписи: \_\_\_\_\_ (П. І. Б.)

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яка періодичність проведення профілактичних випробувань та контрольних вимірювань вводів та прохідних ізоляторів? Обсяг профілактичних випробувань та контрольних вимірювань вводів та прохідних ізоляторів.

2. Що називається діелектричними втратами? Чим вони зумовлені?

3. Який кут називається кутом втрат  $\delta$ ? Як залежить активна потужність, яка затрачена на нагрівання діелектрика від  $tg\delta$ ?

4. Як виміряти  $tg\delta$  прохідного ізолятора? Яку установку Ви для цього використовували? Її устрій.

5. Для якого енергетичного обладнання “Нормами...” рекомендується проводити вимірювання  $tg\delta$ ?

### *Список використаних джерел*

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. – Харків: Форт, 2017. – 376 с.
2. Норми випробування електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2020.– К.: ПАТ НЕК «Укренерго», 2020. – 243 с.
3. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: ДНАОП 0.00-1.21-98.–К.: Основа, 1998. – 380 с.
4. Лут М. Т. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК/ М. Т. Лут, О. В. Мірошник, І. М. Трунова. - Харків: Факт, 2008. – 438 с. – Бібліогр.: с. 431-437.

Навчальне видання

# ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ ІЗОЛЯТОРНИХ ВВОДІВ

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи

**Автори-укладачі:**  
**ТРУНОВА Ірина Михайлівна,**  
**ПАЗІЙ Володимир Григорович**

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 0,58.

Наклад \_\_\_ пр.

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