

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання лабораторних робіт
з дисципліни
«Технічна діагностика електромеханічних пристроїв та систем»
для студентів спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
усіх форм навчання

2022

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технічна діагностика електромеханічних пристроїв та систем» для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка усіх форм навчання / Укл.: доц., к.т.н. О.А. Сахно, ст. викл. Л.С. Скрупська – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 22 с.

Укладачі:	О.А. Сахно, доц., к.т.н. Л.С. Скрупська, ст. викладач
Рецензент:	П.Д. Андрієнко, професор, д.т.н.
Відповідальний за випуск:	П.Д. Андрієнко, професор, д.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри
«Електричні та електронні апарати»
Протокол № 1
від 01 вересня 2022 р.

Затверджено НМК ЕТФ
Протокол № 3
від 20 жовтня 2022 р.

ЗМІСТ

МЕТА ТА ЗАДАЧА ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1.....	5
КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ З РІДКОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ.	5
1.1 Загальні відомості.....	5
1.2. Опис лабораторної установки	5
1.3 Завдання.....	6
1.4. Контрольні запитання.....	7
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.....	7
КОНТРОЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ В ІЗОЛЯЦІЇ.....	7
2.1 Загальні відомості.....	7
2.2. Опис лабораторної установки	10
2.3. Завдання.....	11
2.4. Контрольні запитання.....	12
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3	12
ВИМІРЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ІЗОЛЯЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ	12
3.1 Загальні відомості.....	12
3.2. Опис лабораторної установки	15
3.3 Завдання.....	15
3.4. Контрольні запитання.....	20
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	21

МЕТА ТА ЗАДАЧА ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Згідно діючій державній науково-технічній програмі «Ресурс», яка вимагає створення системи підготовки, підвищення кваліфікації та атестації фахівців з питань забезпечення надійності і безпечної експлуатації споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж, оцінки та діагностики технічного стану об'єктів, навчальним планом підготовки студентів за освітнім ступнім «магістр» передбачено навчальна дисципліна «Системи керування та діагностика електромеханічних пристроїв та систем», в якій розглядаються відповідні питання.

Мета дисципліни «Технічна діагностика електромеханічних пристроїв та систем» – надати студентам знання, навичок та вмінь, які дозволять використовувати здобуті знання з конструкції обладнання для діагностування його стану, оволодіння спеціальними знаннями теорії та практики діагностування високовольтного електромеханічного обладнання.

Завдання – полягають у вивченні елементної бази засобів діагностування, типових дефектів та відказів обладнання, підвищення рівня знань з експлуатації, та процесів деградування та руйнування високовольтного електромеханічного обладнання, розширення знань з сучасних методик та методів діагностування високовольтної техніки.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:

- теоретичні та практичні основи діагностування технічного стану електромеханічного обладнання;
- методи діагностування;
- діагностичні параметри, та методи їх вимірювання;
- сучасні прилади діагностування.

вміти:

- обирати найбільш ефективні методи діагностування для різних типів електромагнітних пристроїв та систем;
- вимірювати характеристики часткових розрядів в ізоляції;
- вимірювати тангенс кута діелектричних втрат ізоляції;
- користуватися сучасними засобами вимірювання температури;
- інтерпретувати результати діагностування для здійснення експертної оцінки з технічного стану обладнання;

- здійснювати оцінку технічного стану та залишкового ресурсу електромеханічного обладнання енергоємних виробництв.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ З РІДКОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

Мета роботи: здобуття практичних навичок з використання методів контролю температури маслонаповненого обладнання.

1.1 Загальні відомості

Температура це один з найбільш важливих показників стану електричних та електронних апаратів. Величезна кількість дефектів зв'язана з зростанням температури. Контроль температури необхідно проводити для розрахунку інших діагностичних параметрів, вологовмісту або тангенсу кута діелектричних втрат, наприклад. Під впливом температури і ряду інших чинників фізико-хімічні властивості твердої ізоляції з плином часу зазнають змін, при цьому ізоляція стає крихкою. Швидкість старіння ізоляції залежить від температури, а досягнутий ступінь старіння - від температури і часу її впливу. Для розрахунку здатності навантаження потрібно розрахувати температуру в найбільш нагрітих місцях обмотки, визначити залежність швидкості старіння ізоляції від температури і температуру, при впливі якої трансформатор працюватиме заданий, економічно виправданий термін.

На даному етапі для визначення температури елементів електричних та електронних апаратів застосовуються:

- термопари;
- терморезистори;
- пірометри;
- тепловізори;
- контактні оптичні датчики.

1.2. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка включає в себе бак заповнений водою, що імітує бак апарата, заповнений маслом, з нагрівальним елементом,

що імітує обмотку або струмопровід та металевий відвід, що імітує електричний ввід.

У якості вимірювальних приладів в роботі використовуються:

- пірометр;
- терморезистор з характеристикою Pt100;
- термопара хромель-капель.

1.3 Завдання

1. Ознайомитися з інструкціями по експлуатації вимірювальними приладами.

2. Провести досліди та записати отримані дані:

а) виміряти температуру по висоті моделі об'єкта в 8 точках за допомогою:

- термопари;
- пірометра;
- терморезистора.

б) виміряти температуру на поверхні води за допомогою:

- терморезистора;
- пірометра.

3. Розрахувати температуру обмотки моделі за спрощеною формулою:

$$T_o = T_{всм} + H_{gr} \cdot K_n^y,$$

де $T_{всм}$ – температура верхніх слоїв масла (виміряна за дослідом №2),

H_{gr} – проектне перевищення температури обмотки над температурою масла;

K_n – коефіцієнт навантаження;

y – показник обмотки (приймається для трансформатору з системою охолодження «М» - 1,30).

Таблиця 1.1. – Вихідні данні

Варіант	H_{gr}	Номінальний струм
1	30	10
2	35	7
3	40	5
4	45	3

4. Побудувати графічні залежності розподілу температури по висоті моделі для досвіду.

5. Зробити висновок для обох дослідів, який з використаних методів вимірювання температури є найбільш точним для кожного випадку. Розрахувати абсолютні похибки для інших методів та побудувати графічні залежності похибок цих методів контролю температури по висоті конструкції.

6. Оформити звіт з наступним змістом:

6.1. Опис кожного методу вимірювання

6.2. Схема випробувального стенду

6.3. Результати експериментів.

6.4. Висновки по точності кожного методу.

6.5. Висновки щодо адекватності використовуваної моделі (як моделі силового маслonaповненого трансформатора).

6.7. Рекомендації щодо методів контролю температур маслonaповненого трансформатора.

1.4. Контрольні запитання

1. Який принцип роботи вимірювальних приладів використаний в роботі?

2. Як розподіляються значення температури по висоті маслonaповненого обладнання з природною циркуляцією масла?

3. Який метод вимірювання температури найбільш придатний для контролю температури трансформаторного вводу під робочою напругою?

4. Який метод вимірювання температури верхніх слоїв масла найбільш інформативний?

5. Методи визначення температури обмотки маслonaповненого обладнання?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 КОНТРОЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ В ІЗОЛЯЦІЇ

2.1 Загальні відомості

Часткові розряди (ЧР) в основній ізоляції в багатьох випадках є первопричиною зміни технічного стану апаратів. Тому, було б логічно контролювати інтенсивність, рівень і сумарну потужність часткових

розрядів. Однак, використання цього параметра в умовах експлуатації утруднене із-за високого рівня експлуатаційних завад (коронні розряди, ВЧ-зв'язок, комутаційні перенапруги та інші) тому ряд дослідників вважають за недоцільне використання цього параметру в умовах діючих електроустановок, в той же час ряд дослідників описують методи діагностики на основі вимірювання характеристик часткових розрядів в основній ізоляції апаратів. ЧР мають, як правило, велику інтенсивність тому створення вимірювальних пристроїв з необхідною чутливістю не викликає труднощів. Однак, можливість виявлення дефектів в ізоляції, методом реєстрації ЧР в експлуатації визначається не чутливістю апаратури, а здатністю фільтрації зовнішніх перешкод, тобто з усуненням перешкод або зниженням їх рівня. Перешкоди при вимірі ЧР можуть викликатися якими процесами в мережі, пов'язаними з різкими змінами струму, а також джерелами високочастотних напруг. При вимірах часткових розрядів в умовах експлуатації джерела перешкод, як правило, не можуть бути усунені. Додаткові перешкоди можуть створювати радіопередавачі, ЧР в сусідньому обладнанні, розряди між шинами, розряди між елементами струмопроводів, розряди на загострених краях арматури або на кінцях ножів відключених роз'єднувачів та ін.. Основним джерелом непереборних завад при вимірах в експлуатаційних умовах є коронні розряди на проводах, арматурі і устаткуванні (так званій основний рівень перешкод), які мають характеристики схожі з характеристиками ЧР при реєстрації електричними методами. Вібрація обладнання створює перешкоди при реєстрації акустичними методами. Тому, основною проблемою при вимірюванні в умовах експлуатації є селекція часткових розрядів. Фільтрація перешкод виробляється на кількох стадіях, починаючи з вибору частотного діапазону апаратури, що реєструє, аналізу амплітудно-фазових діаграм (АФД) сигналів і їх тимчасових залежностей і закінчуючи зіставленням сигналів різних каналів (електричних, акустичних і електромагнітних).

Фільтрація перешкод по частотному діапазону – це правильний вибір частотного діапазону. Частотний діапазон визначається виходячи з міркувань максимального фільтрування завад при досить гарній реєстрації сигналів ЧР від дефектів ізоляції. Основними елементами вимірювача уявного заряду є: підсилювач, вимірювальний перетворювач (типу амплітудного імпульсного вольтметра) і відліковий пристрій. Відповідно до ГОСТ 20074-83 рекомендується застосування

широкосмугового підсилювача з наступними характеристиками: нижня частота смуги пропускання - не більше 30 кГц; верхня - не більше 2МГц. Застосування вузькосмугового підсилювача допускається при великих значеннях ємності об'єкта випробувань, а також при наявності зовнішніх перешкод визначеної частоти. Рекомендується застосовувати вузькосмуговий підсилювач з наступними характеристиками: ширина смуги пропускання - 8-10 кГц; частота настройки - (20 кГц-2МГц). Але практика показує, що використання таких частотних діапазонів в умовах експлуатації неможливе із-за великого рівня перешкод в цих діапазонах. Останнім часом на ринку з'являється обладнання, що дозволяє працювати в більш високому діапазоні частот. Оскільки верхня гранична частота сигналів ЧР від дефектів в паперово-масляної ізоляції досягає сотень мегагерц (в елегазі - до декількох ГГц), а більша частина сигналів перешкод має частотний діапазон нижче за 10 МГц, має сенс мати датчики з широкою вхідний смугою частот, нижня межа якої перевищує 10 МГц. Сьогодні при реєстрації ЧР використовуються прилади з частотним діапазоном, що досягає 2,5ГГц, однак, за наявними даними сигнали з частотами понад 100МГц сильно послаблюються всередині самого обладнання (крім КРУЕ, що мають коаксіальну структуру) . Тому, з точки зору захисту від зовнішніх завад, найбільш кращим діапазоном для вимірювання електричних сигналів ЧР всередині силового обладнання в умовах експлуатації представляється частотний діапазон 8-30 МГц.

Для виділення імпульсів ЧР з імпульсних сигналів перешкод можуть використовуватися методи аналізу амплітудних спектрів ЧР, метод фазових діаграм. Перевагою методу амплітудних спектрів є можливість виявлення дефектів, не виділяючи сигналів ЧР в них із загального спектра імпульсних сигналів, що включає перешкоди. Таким же достоїнством володіє і метод фазових діаграм, що добре зарекомендував себе при діагностиці кабелів, електричних машин. На жаль, для трансформаторного обладнання поки що відсутні достатні дані за видами фазових діаграм для характерних видів дефектів.

Додаткову можливість для відстройки від перешкод дає "прив'язка" всіх імпульсів до синусоїди живлячої мережі, з розбивкою всіх імпульсів за деякими фазовим зонам. Для цього реєстрація всіх імпульсів проводиться з урахуванням фази робочої напруги в контрольованому високовольтному пристрої. Це надалі дозволяє більш ефективно провести аналіз стану ізоляції.

Аналіз АФД сигналів і їх часових параметрів дозволяє відфільтрувати сигнали корони, які мають дуже характерну форму і легко розпізнаються по АФД. Звичайно, сигнали корони можуть маскувати сигнали ЧР від дефектів ізоляції з тією ж амплітудою і фазою, однак діапазон фазових кутів, в яких спостерігаються сигнали корони, невеликий, і ймовірність повного збігу АФД сигналів від дефекту і корони мала. При достатній статистиці (при сумуванні даних вимірювань більш ніж за 500 періодів мережі) вдається зміряти сигнали ЧР, амплітуди яких в 10-100 разів менше, ніж у імпульсів корони. Сигнали від іскрових розрядів в елементах магнітопроводу теж мають дуже характерну АФД, однак, амплітуда і інтенсивність цих сигналів можуть бути великі. На їх фоні виділити сигнали ЧР від дефектів високовольтної ізоляції досить важко. На щастя, такі дефекти спостерігаються досить рідко, і їх спостереження є одним із завдань діагностики. Крім того, сильна вібрація призводить до досить характерною залежності АФД цих сигналів від часу, яка дозволяє ідентифікувати дефекти такого типу.

При ефективному усуненні зовнішніх перешкод електричний метод реєстрації дозволяє вимірювати з високою чутливістю параметри внутрішніх ЧР, визначати зону їх виникнення, а також природу ЧР. Вимірювання можуть проводитися одночасно за кількома схемами (у різних точках трансформатора), що полегшує визначення місця ЧР. Останньою стадією розділення сигналів ЧР у високовольтній ізоляції і перешкод є порівняння сигналів електричного каналу з сигналами акустичного та електромагнітного каналів реєстрації.

2.2. Опис лабораторної установки

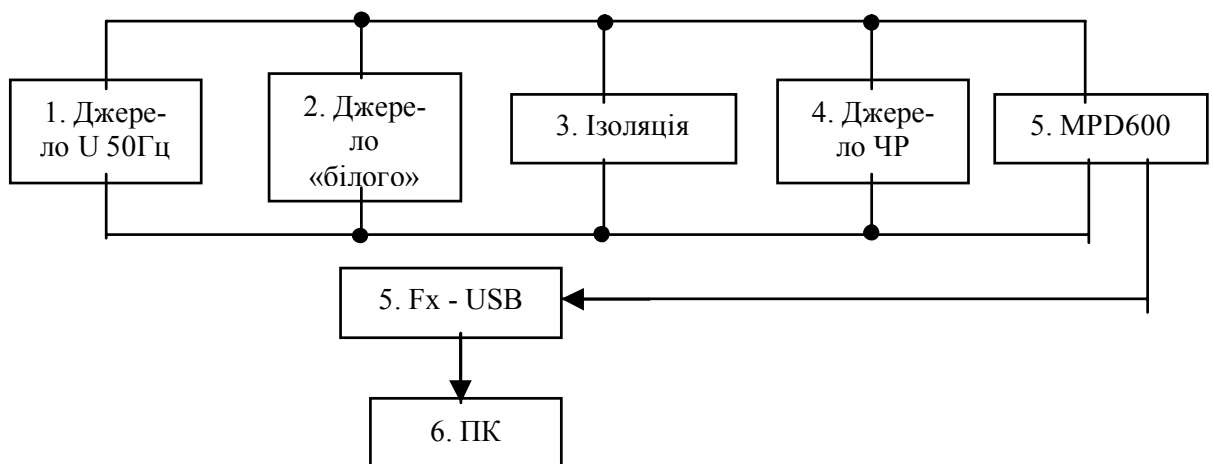


Рисунок 2.1 – Опис лабораторної установки

Лабораторна установка включає в себе:

- фізична модель частини ізоляції обладнання (3);
- генератор-імітатор джерела робочої напруги 50Гц (1);
- генератор-імітатор часткових розрядів Omicron (4);
- генератор-імітатор «білого» шуму (2);
- комплект прибору для реєстрації часткових розрядів Omicron MPD600 (5);
- персональний комп'ютер з програмним забезпеченням Omicron MPD600 (6).

2.3. Завдання

1. Зібрати схему випробувальної установки.
2. Встановити частоту пропускання фільтра 500 ± 500 кГц.
3. Записати загальний рівень шумів.
4. Подати з імітатора (4) рівень ЧР на ступень вище загального рівня шумів. Виконати калібрування приладу.
5. Провести вимірювання ЧР на всіх рівнях, які видаються імітатором (10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 пКл).
6. Включити генератор «білого» шуму з налаштуванням -20дБ.
7. Виконати вимірювання ЧР на всіх ступенях імітатора (4).
8. Включити генератор «білого» шуму з налаштуванням -10дБ.
9. Виконати вимірювання ЧР на всіх ступенях імітатора (4).
10. Включити генератор «білого» шуму з налаштуванням 0дБ.
11. Виконати вимірювання ЧР на всіх ступенях імітатора (4).
12. Установити частоту пропускання фільтра $1 \pm 1,5$ МГц.
13. Виконати пункти 6-11.
14. Установити частоту пропускання фільтра $10 \pm 1,5$ МГц.
15. Виконати пункти 6-11.
16. Оформити звіт. Звіт повинен містити:
 - короткий опис методики контролю, досліджуваної в лабораторній роботі;
 - опис застосовуваної апаратури;
 - схема лабораторної установки;
 - результати вимірювань в табличній формі;
 - розрахунок і графік похибки калібрування.
 - розрахунки і графіки похибки вимірювань на трьох частотах;

- висновки по діагностичним можливостям методу контролю технічного стану ізоляції високовольтних машин і апаратів в умови лабораторії і в умовах експлуатації.

2.4. Контрольні запитання

1. Який існують методи вимірювання часткових розрядів в експлуатації?
2. Які існують методи фільтрації завад при вимірювання ЧР в експлуатації?
3. Що таке частковий розряд та які його головні характеристики?
4. Які головні проблеми виникають при вимірюванні ЧР в експлуатації?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ВИМІРЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ІЗОЛЯЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

Мета роботи – набути практичних навичок вимірювання характеристик ізоляційної конструкції електромеханічних пристроїв ($\text{tg}\delta_1$ і C_1) диференційним методом за допомогою сучасного цифрового осцилографу.

3.1 Загальні відомості

Значення тангенса кута діелектричних втрат ($\text{tg}\delta_1$) і ємності (C_1) основної ізоляції – це найбільш важливі діагностичні критерії так як вони безпосередньо пов'язані з основними характеристиками ізоляційного матеріалу - діелектричними втратами і діелектричної проникністю. Діелектрична проникність визначається ступенем поляризації діелектрика. Для ізоляційної конструкції замість неї прийнято розглядати пропорційну їй ємність між електродами. Оскільки при поляризації відбувається переміщення електричних зарядів, на це витрачається енергія поля, частина цієї енергії розсіюється в обсязі діелектрика - це і є діелектричні втрати. Саме вони і особливо їх зміна характе-

ризують стан діелектрика. Діелектричні втрати - це потужність, яка залежить не тільки від характеристик діелектрика і частоти прикладеного до нього напруги, але і від об'єму ізоляції. Тому для оцінки стану ізоляції прийнято використовувати тангенс кута діелектричних втрат, який майже не залежить від розмірів ізоляційної конструкції. Величина $\operatorname{tg}\delta_1$ дає усереднену об'ємну характеристику стану діелектрика, так як активна складова струму, викликана діелектричними втратами в місцевому дефекті відноситься до загального ємкісного току об'єкта. Саме зміна $\operatorname{tg}\delta_1$ дає можливість зафіксувати дефект на ранній стадії розвитку і можливість прогнозування відмови обладнання. Вимірювання ємності здатне зафіксувати грубий дефект, такий як перекриття частини ізоляції апарату, на завершальне стадії ушкодження, для негайного аварійного його відключення.

Дефекти в ізоляції можуть розвиватися за строк до двох тижнів, тому періодичний контроль $\operatorname{tg}\delta_1$ не завжди дозволяє його зафіксувати, це диктує необхідність, використовувати безперервний контроль характеристик ізоляції. Він забезпечує підвищення ефективності контролю при зниженні трудовитрат на випробування, насамперед за рахунок:

- скорочення періоду між випробуваннями;
- використання робочого напруги;
- підвищення безпеки персоналу і зниження людського фактора за рахунок застосування стаціонарних схем вимірювань;
- накопичення даних, необхідних для вдосконалення системи діагностики;
- зниження експлуатаційних витрат, за рахунок зниження кількості періодичних контролів і переходу від застарілої системи періодичного ТОіР до обслуговування за технічним станом.

Одним з найбільш поширених принципів безперервного контролю, сьогодні, є нерівноважно-компенсаційний або балансовий метод. Наукові публікації з обґрунтування даного методу з'явилися ще наприкінці 60-х років минулого сторіччя. Метод базується на тому припущенні, що характеристики ізоляції всіх трьох контрольованих об'єктів, трифазної групи, не можуть змінитися одночасно в рівній мірі. При виникненні практично будь-якого дефекту в ізоляції одного, або двох, об'єктів 3-х фазної групи завжди виникає струм небалансу. Величина струму небалансу кількісно характеризує ступінь розвитку дефекту в ізоляції, а кут струму небалансу вказує на те, в якому з трьох

об'єктів відбулися зміни. Практична реалізація даного методу досить різноманітна, від пристроїв КИВ-500 (контроль ізоляції вводів) в яких початкова балансування векторів струму виконувалася зміною числа витків первинних обмоток підсумовуючого трансформатора струму, який складався з 3-х первинних і однієї вторинної обмотки, до сучасних мікропроцесорних пристроїв. У енергокомпаній є багатий досвід експлуатації приладів КИВ та інших, заснованих на цьому принципі. Однак у більшості випадків він негативний, основна причина цього те, що такий пристрій може прийняти впливу режимів роботи енергосистеми на взаємні кути між векторами фазних напруг енергосистем, всі зміни цих кутів, що відбулися після балансування схеми, автоматично призводять до погрішностей в розрахунках і до необґрунтованих діагностичних виводів. Також існує небезпека синхронного старіння об'єктів трифазної групи, при якому даний метод залишиться нечутливим. Другим негативним фактором балансового методу, є те, що пристрої на його основі, не здатні помітити дефект ізоляції навіть на небезпечній стадії розвитку, так як передаварійною уставкою у таких пристроїв являється значення - 3%, а 5-7% аварійної, від номінального струму комплексної провідності ізоляції. Більш низькі значення уставок в таких пристроях призводять до невиправданих відключень обладнання та вводять в оману експлуатаційний персонал на підстанціях.

Аналогічним недоліком володіє і другий за поширеністю метод - вимір комплексної провідності. Норми дозволяють виконувати контроль двома методами: виміром комплексної провідності Y або через вимірюванням $\text{tg}\delta_1$ і C_1 . Не можна погодитися, що пропоновані методи рівноцінні, так як контроль комплексної провідності придатний для відстеження змін ємності, але не придатний для контролю зміни $\text{tg}\delta_1$, тому зміна $\text{tg}\delta_1$ на 0,6%, викличе збільшення струму комплексної провідності всього на 1,4 мкА для трансформатора струму 330 кВ з ємністю 700пФ. Контроль такої зміни струму комплексної провідності вимагає високоточного обладнання, а по-цьому неможливий в реальних умовах експлуатації через вплив характеристик елементів самої вимірювальної схеми (зволоження поверхні і корозія резисторів, розрядників та інших елементів, температурна нестабільність елементів вимірювальної схеми), а також перешкод і різних струмів впливу. Метод придатний лише для контролю аварійного зміни ємності. Наступним методом є диференціальний контроль $\text{tg}\delta_1$ і C_1 мостом змінного струму (міст Шеринга). Основною проблемою для даного метода є необ-

хідність достовірного опорного об'єкта (трансформатор струму, ввід, конденсатор зв'язку або трансформатор напруги). Застосування мостової схеми дозволяє отримати високоточні результати. Недоліком даного методу є висока ціна моста, необхідність його обслуговування та обов'язкової періодичної перевірки, складність автоматизації врівноваження моста.

В лабораторній роботі пропонується виконати вимірювання $\text{tg}\delta_1$ і C_1 диференційним методом за допомогою сучасного цифрового осцилографу.

3.2. Опис лабораторної установки

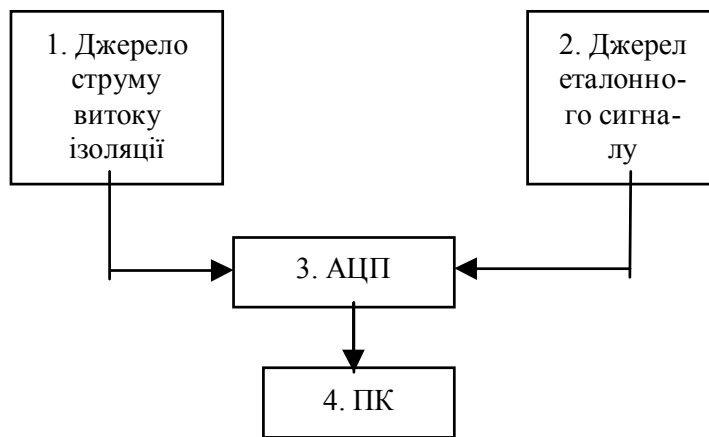


Рисунок 3.1 – Опис лабораторної установки

Лабораторна установка включає в себе:

- генератор-імітатор джерела струму витоку ізоляції 50Гц (1);
- генератор-імітатор еталонного сигналу (2);
- цифровий осцилограф (АЦП) (3);
- персональний комп'ютер з програмним забезпеченням осцилографа (4).

3.3 Завдання

1. Провести настройку осцилографа, для зручної роботи з заданими сигналами за допомогою правої панелі налаштувань.

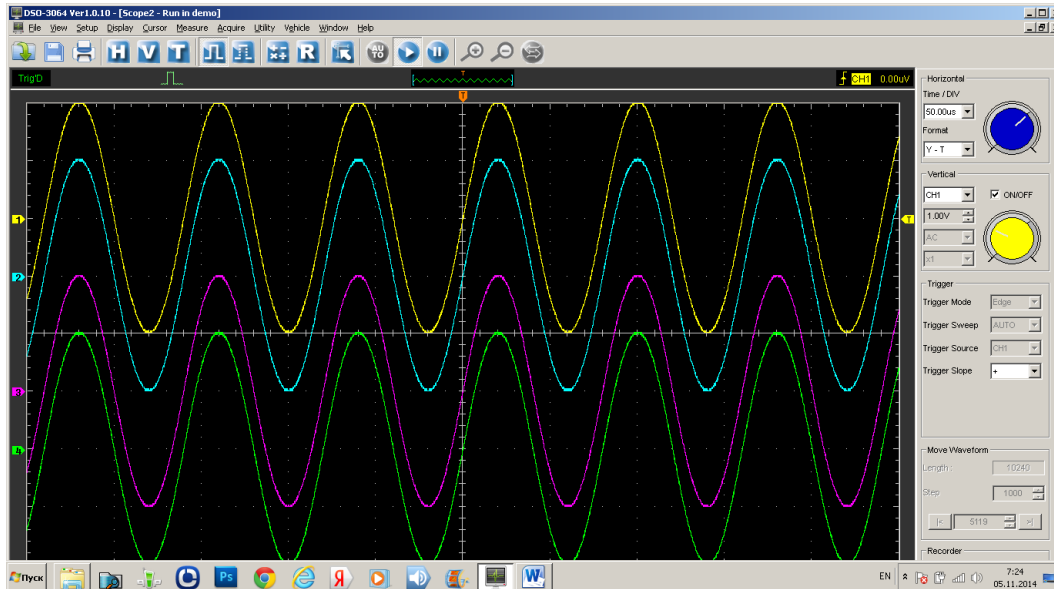


Рисунок 3.2 – Налаштування

2. У меню Setup \ Math Побудувати функцію швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) для обох сигналів. Зберегти дані в текстовому і графічному видах.

3. Побудувати функцію A / B , зберегти дані.

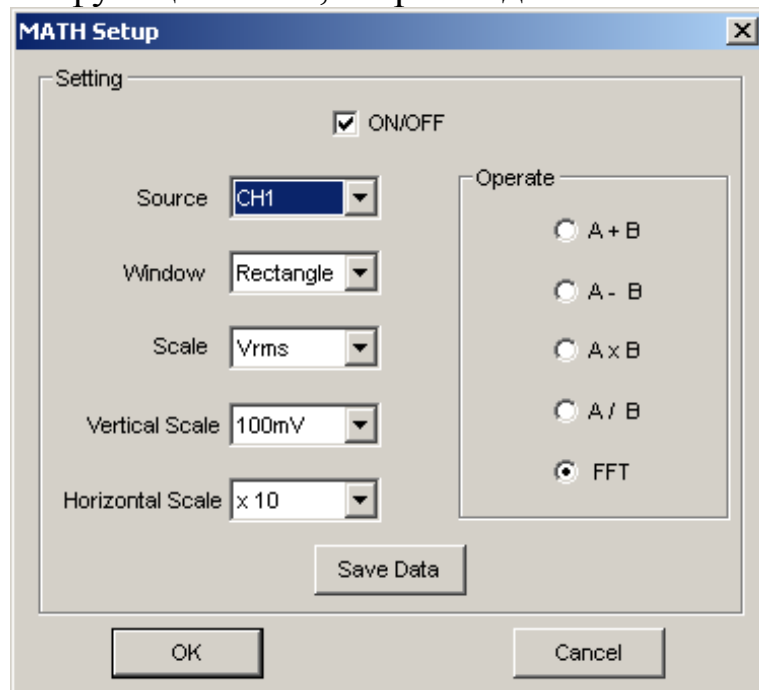


Рисунок 3.3 – Математичні функції осцилографа

4. За допомогою меню Measure \ Edit options розрахувати всі можливі характеристики обох сигналів. Зберегти результати.

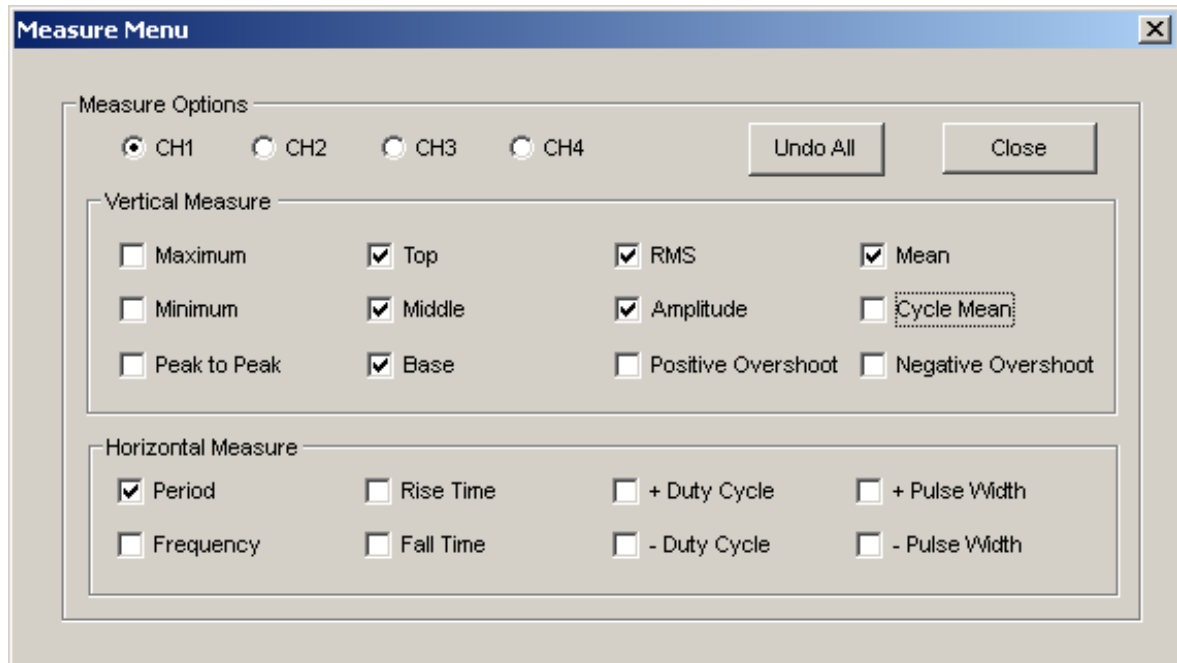


Рисунок 3.4 – Математичні параметри осцилографа

5. За допомогою меню File\Save Dat зберегти дані по всіх каналах в текстовому вигляді.

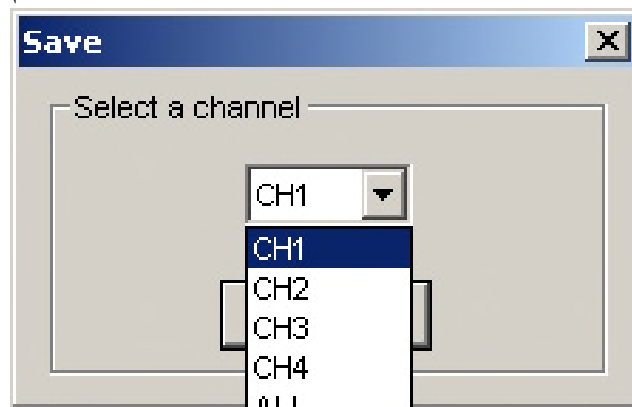


Рисунок 3.5 – Збереження даних

6. На основі отриманих даних, прийнявши, що перший сигнал - еталонний сигнал від вимірювальної обмотки трансформатора напруги, з первинною лінійною напругою згідно варіанту, знятий з його вторинної обмотки через дільник $R_3=1\text{МОм}$ на $R_4=33\text{кОм}$, а другий сигнал - струм витoku вводу, знятий як падіння напруги на резисторі (опір згідно з варіантом), розрахувати ємність і тангенс кута діелектричних втрат основної ізоляції вводу. Номінальна вторинна лінійна напруга вимірювального трансформатора напруги – 100В.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдання

Варіант	Клас напруги вводу (U_{nom}), кВ	Опір вимірювального резистора R_2 , Ом
1	110	100
2	220	50
3	330	20
4	500	100
5	750	50

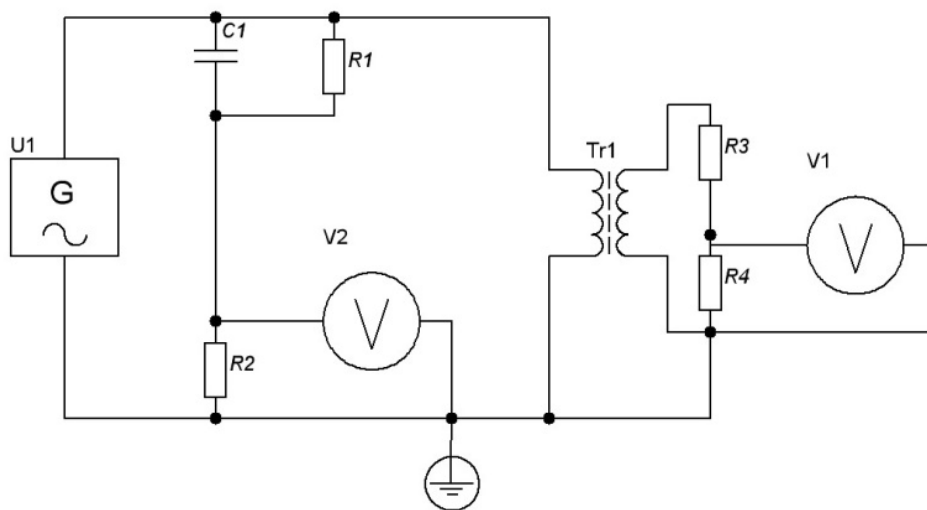


Рисунок 3.6 – Принципова схема:

C_1 , R_1 – заступна схема ізоляції апарату; R_2 - вимірювальний резистор; R_3 , R_4 – дільник напруги; $Tr1$ - вимірювальний трансформатор напруги.

Для початку розрахунку треба знайти діюче значення робочої напруги U_1 :

$$U_1 = \frac{V_1}{R_4} \cdot (R_3 + R_4) \cdot k_{Tr1};$$

де k_{Tr1} – коефіцієнт трансформації вимірювального трансформатора напруги:

$$k_{Tr1} = \frac{U_{nom}}{100};$$

Далі знаходиться струм витоку ізоляції, за умови, що $R_1 \gg Z_{C1}$ опір R_1 при розрахунку не враховується:

$$i = \frac{V_2}{R_2}$$

Реактивний опір ізоляції:

$$Z_{C1} = \frac{1}{\omega \cdot C_1};$$

або:

$$Z_{C1} = \frac{U_{nom}}{i}$$

Тоді ємність ізоляції розраховується за формулою:

$$C_1 = \frac{i}{U_{nom} \cdot \omega}$$

Пошук значення тангенсу кута діелектричних втрат пропонується проводити за допомогою векторного методу. Метод ґрунтується на синхронному запису струму провідності ізоляції об'єкту контролю та прикладеної до нього напруги, з використанням математичного обчислення кута між векторами цих струмів (рис. 3.6).

Тобто для пошуку діелектричних втрат треба знайти початкові фази двох сигналів записаних осцилографом, та розрахувати формулу:

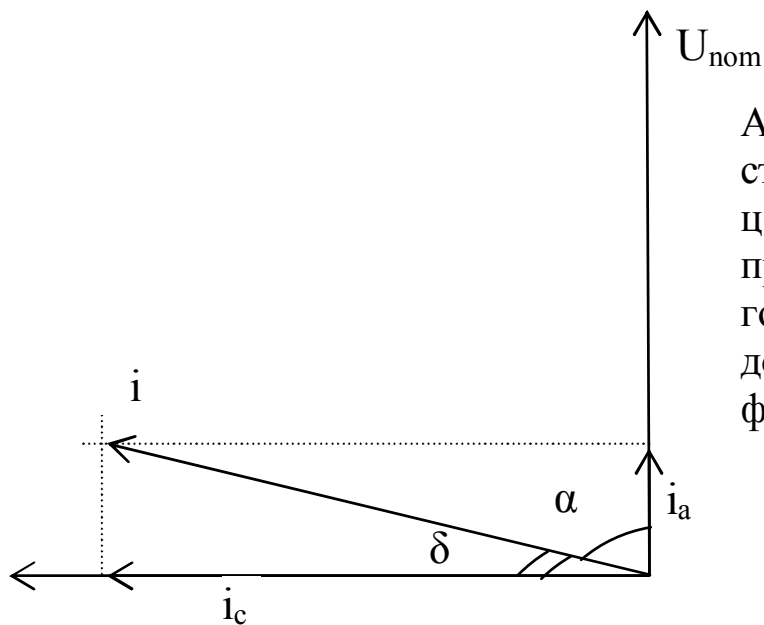
$$\delta = \frac{\pi}{2} - (\varphi_{V2} - \varphi_{V1}).$$

Пошук початкових фаз рекомендовано здійснювати за допомогою чисельного методу швидкого перетворювання Фур'є дискретно задаваної функцій. У формулі використовувати виключно фази перших гармонік сигналів.

Функцію перетворення Фур'є можна використовувати з відомих математичних САД програм, або за допомогою самостійно зроблених програм на базі програмних модулів Alglib:

<http://alglib.sources.ru/fasttransforms/fft.php>.

7. Оформити звіт. У звіті привести форми вихідних сигналів, результати автоматизованих і ручних розрахунків. Навести схему та розрахунки, що відповідають завданню у п.6.



Активна складова струму витoku ізоляції по фазі співпадає з прикладеною напругою, а ємнісна складова випереджає по фазі напругу на 90°

i_c — ємнісна складова струму провідності контрольованого й об'єкту; i_a — активні складових струмів провідності контрольованого й еталонного об'єктів; α - розрахований кут між двома векторами: струму комплексної провідності та напруги; δ - кут діелектричних втрат об'єкта

Рисунок 3.7- Векторна діаграма для обчислення кута діелектричних втрат

3.4. Контрольні запитання

1. Які існують методи вимірювання ємності та тангенсу кута діелектричних втрат основної ізоляції високовольтних апаратів?
2. Чому ємність і тангенс кута діелектричних втрат основної ізоляції вважаються головними характеристиками?
3. Як вологовміст целюлози впливає на значення ємності і тангенсу кута діелектричних втрат основної ізоляції вводу та чому?
4. Як можливо діагностувати технічний стан головної ізоляції високовольтних уводів?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Норми випробування електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 — Офіц. вид., приказ Мінпаливенерго 2007-01-15 г. №13. — К. : ОЕП «ГРИФРЕ» : М-во палива та енергетики України, 2007. — 262 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
2. Перевірка ізоляції трансформаторів струму 330 - 750 кВ під робочою напругою: СОУ-Н МПЕ 40.1.46.301-2006. — Офіц. вид. — К. : ГРИФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. — 31 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Інструкція).
3. Методические указания по диагностике электрических аппаратов, распределительных устройств электростанций и подстанций : МУ 0632 — 2006 — [Действует с 01.06.2006]. М. : «Росэнергоатом», 2006. — 46 с. — (Действует в концерне Росэнергоатом)
4. Бажанов С. А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств / С. А. Бажанов — М. : НТФ "Энергопресс", "Энергетик", 2000 — 76 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу "Энергетик". Выпуск 4(16)]
5. Правила устройства электроустановок. — Х.: «Форт», 2009. - 704 с.
6. Рассальский А. Н. Совершенствование системы диагностики высоковольтных трансформаторов тока на основе автоматизированного непрерывного контроля и прогноза остаточного ресурса / А. Н. Рассальский, П. Д. Андриенко, А. А. Сахно // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. — 2011. — № 48. — С. 50—55.
7. Орлов А. И. Математика случая: Вероятность и статистика — основные факты: Учебное пособие. / А. И. Орлов. — М. : МЗ-Пресс, 2004. — 110 с.
8. Сахно А. А. Математическая модель прогноза остаточного ресурса трансформаторов тока 330 – 750 кВ с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа / А. А. Сахно // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. — 2010. — № 55. — С. 97—106.

9. Power transformers - Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers: IEC 60076-7 Ed. 1: IEC, 2005. — 59 с.

10. Методы статистического моделирования в радиотехнике. Методическое пособие / Кафедра радиоэлектронных систем управления. Балтийский государственный технический институт. — СПб.: БГТУ. — 2003. — 37 с.

11. Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. Учебник / А. А. Халафян. — М: ООО «Бином-Пресс», 2007. — 512 с: ил.