

**Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Галузь знань 27 «Транспорт»
Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»
Спеціалізація «Системи керування рухом поїздів»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

Гаврилюк В.І.

« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеню «магістр»

Хілько В. А.

(прізвище, ім'я та по батькові)

Тема роботи Розробка автоматизованої системи оцінки стану
ізоляції ТЕД НБ-406

Затверджена наказом по університету № 798ст від « 18 » жовтень 2019 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 17 грудень 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Спостереження вимірів зворотної напруги ізоляції
ТЕД НБ-406

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг %	Кількість креслень
1. Вступ. Методи контролю якості ізоляційних матеріалів.	10	2
2. Аналіз технічного стану електровозів депо Нижньодніпровськ-вузол.	15	1
3. Пристрій реєстрації зворотної напруги для визначення стану корпусної ізоляції.	15	4
4. Встановлення граничних значень параметрів контролю стану ізоляції ТЕД.	40	1
5. Визначення економічного ефекту застосування системи неруйнуйочого контролю ізоляції катушок збудження ТЕД.	10	
6. Висновки.	5	
7. Бібліографічний список.	5	

Студент
Науковий керівник

Хілько В.А.
Лагута В.В.

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки:

- 87 сторінки,
- 9 таблиць,
- 8 рисунків,
- 31 джерел літератури.

Ключові слова: системи залізничної автоматики, надійність елементів залізничної автоматики, зворотна напруга, методи контролю ізоляції.

Завданням даної магістерської роботи є розробка автоматизованої системи оцінки стану ізоляції тягового електродвигуна НБ-406.

Метою роботи є автоматизація процесу виміру зворотної напруги при діагностиці корпусної ізоляції ТЕД.

В першому розділі приведено огляд літературних джерел, розглянуті методи контролю ізоляції великої ємності.

В другому розділі проводиться аналіз відмов ТЕД НБ-406 по депо Нижньодніпровськ-вузол.

В третьому розділі описано принципову схему пристрою реєстрації зворотної напруги для визначення стану корпусної ізоляції. Описано принцип роботи приладу.

В четвертому розділі обґрунтовується вибір характеристик (показників якості) для класифікації стану корпусної ізоляції ТЕД і визначення їх граничних значень.

В п'ятому розділі приведено розрахунок економічного ефекту застосування системи неруйнуючого контролю корпусної ізоляції ТЕД НБ-406.

Дослідження проведені в роботі дозволяють класифікувати якість стану ізоляції, з метою прогнозування її ресурсу. Вибір характеристик здійснено на основі інформації про зворотну напругу, що мається по результатам випробувань.

Зміст

ВСТУП.....	5
1. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	10
1.1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.2 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ	15
1.2.1 Випробування змінною напругою	15
1.2.2 Випробування потоком іскр постійного струму	16
1.2.3 Випробування постійним струмом	17
1.2.4 Вимірювання провідності.....	21
1.2.5 Вимірювання діелектричних втрат	24
1.2.6 Контроль ізоляції по значенню електричної ємності	26
1.2.7 Перевірка якості ізоляції по ємнісним характеристикам.....	27
2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ДЕПО НИЖНЬОДНІПРОВСЬК-ВУЗОЛ.....	31
3. ПРИСТРІЙ РЕЄСТРАЦІЇ ЗВОРОТНОЇ НАПРУГИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ КОРПУСНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ	36
3.1 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НЕ РУЙНУЮЧОГО КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ	36
3.2 ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ. ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ	47
3.3 ОПИС РОБОТИ ПРИСТРОЮ.....	48
3.4 НОВИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ	49
3.5 РОЗРАХУНОК ТРАНЗИСТОРНОГО СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ.....	51
4. ВСТАНОВЛЕННЯ ГРАНИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ТЕД.....	63
4.1 ПОЧАТКОВІ ДАНІ І ВИДИ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ	63
4.2 ПРЯМІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ	66
4.3 НЕПРЯМІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ.....	67
4.4 УЗАГАЛЬНЕННЯ ЗАЗНАЧЕНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНУ	71
5. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ НЕРУЙНУЮЧОГО КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ КАТУШОК ЗБУДЖЕННЯ ТЕД.....	73
Висновки	76
Література.....	80
Додатки.....	83

ВСТУП

Для безаварійної роботи тягових електродвигунів (ТЕД) та іншого електрообладнання локомотивів необхідно, перш за все, мати справну і надійну ізоляцію. В процесі експлуатації відбувається старіння електричної ізоляції, властивості її погіршуються, електрична міцність знижується. Якщо не вжити відповідних заходів по відновленню властивостей ізоляції, то процес старіння буде носити незворотній характер.

Аналіз стану локомотивного парку «Укрзалізниці», показує, що кількість пошкоджень ізоляції обмоток ТЕД на 1млн км пробігу в середньому становить останнім часом від трьох до п'яти випадків. Тому проблеми підвищення експлуатаційної надійності ізоляції ТЕД приділяється підвищена увага.

Актуальність роботи. Проблеми покращення тягових енергетичних характеристик локомотивів в системі експлуатації залізничного транспорту надається першорядне значення. Відповідно до «Державною програмою стратегічного розвитку залізниць України», підготовленої Державним науково-дослідним центром залізничного транспорту України спільно з фахівцями «Укрзалізниці», розроблена галузева. Програма оновлення тягового рухомого складу залізниць на період до 2020 року, де зазначено, на необхідність:

- створення бортових і стаціонарних засобів технічного діагностування та алгоритмів їх роботи;
- освоєння виробництва засобів контролю і діагностування.

Старіння парку електрообладнання, тенденції до зменшення експлуатаційних витрат, а також підвищуються вимоги до надійності ТЕД вимагають реорганізації підходу до експлуатаційних випробувань і діагностики ізоляції ТЕД. Чинний на даний момент підхід до діагностики та технічного обслуговування і ремонту електричних машин зводиться до наступної схеми:

- вимір діагностичних критеріїв;
- перевірка на відповідність критерію граничним значенням, зазначеним у нормах, або для ненормованих критеріїв - на відповідність досвіду діагноста;

- видача експертного висновку на підставі досвіду або вимог норм про необхідність виведення з експлуатації електричної машини або продовження її функціонування.

Системи технічного обслуговування, ремонту і міжремонтний діагностики в локомотивному господарстві залізниць України є періодичними і регламентуються нормами. Більшість вимірювань проводиться з висновком обладнання з роботи. Однак, така система діагностики не відповідає сучасним вимогам. Безперервний моніторинг технічного стану ізоляції ТЕД є оптимальним рішенням задачі реорганізації експлуатаційної діагностики. Автоматизований безперервний контроль з прогнозуванням має ряд переваг перед періодичним контролем: скорочення періодів контролю, облік впливу експлуатаційних факторів, накопичення діагностичної інформації, віддалене надання інформації різного рівня та ін. Впровадження автоматизованого моніторингу дозволить планувати ремонти обладнання і при необхідності проводити термінове виведення ТЕД з експлуатації. Такий підхід дозволить здійснити перехід від застарілої системи періодичного обслуговування до обслуговування по реальному технічному стану об'єкта. Системи безперервного контролю потребують специфічних методиках, алгоритмах і моделях, необхідних для ефективного їх функціонування.

Для того щоб перейти від системи обслуговування по пробігу до системи обслуговування по реальному технічному стану, необхідно мати арсенал методів і приладів для об'єктивної оцінки стану ізоляції.

Стан корпусної ізоляції обмотки головних полюсів тягових електричних машин (далі корпусні ізоляція) є серйозним фактором забезпечення надійної роботи ТЕД. Проведення і розвиток робіт з управління терміном служби корпусної ізоляції був стимульований рішенням про продовження експлуатації локомотивів за проектним терміном служби. Важливими елементами програми управління терміном служби є неруйнівна діагностика стану ізоляції і прогнозування її терміну служби. Удосконалення методів прогнозування стану ізоляції має на увазі уточнення граничних значень показників старіння.

Одним з методів, за допомогою якого можна прогнозувати залишковий ресурс корпусної ізоляції, може бути проведення процедури класифікації її стану за показниками характеризують криву поворотного напруги. Процедура класифікації, показники класифікації, граничні значення параметрів прогнозування залишкового ресурсу корпусної ізоляції ТЕД НБ-406 запропоновані в даній статті.

Енергоспоживаючими системами локомотивів, в першу чергу, є тягові силові ланцюги та допоміжне обладнання, що забезпечує їх роботу. Аналізи технічного стану локомотивного парку країни, що проводяться щорічно показують, що найменш надійними вузлами силових ланцюгів локомотивів є електрична апаратура (близько 30% від всіх видів непланових ремонтів) і ізоляційні конструкції тягових електродвигунів (ТЕД). Кількість, пошкоджень ізоляції обмоток на 1 млн. Км пробігу сучасних ТЕД НБ-406 електровозів змінного струму становить 3 випадки. Для ТЕД ЕД118А тепловозів типу ТЕ 10 цей показник становить в середньому 4 випадки. Підвищенню надійності ізоляції тягових силових ланцюгів необхідно приділяти підвищену увагу.

Експериментальні та теоретичні дані показують, що основними причинами, що призводять до відмов ізоляції силових ланцюгів в експлуатації є: температурні впливу на ізоляцію обмоток ТЕД при поїзної роботі, електричні перенапруги, що виникають в силових ланцюгах локомотивів при деяких перехідних режимах і поступове старіння ізоляції під дією термомеханічних і електричних навантажень. При цьому вихід з ладу ізоляційних конструкцій силових ланцюгів відбувається тим швидше, чим нижче їх початкова електрична міцність, обумовлена якістю ізоляційних матеріалів і рівнем технологічних процесів виготовлення цих конструкцій, і менш досконала конструкція пристроїв охолодження і захисту.

Мета роботи. Метою роботи є вибір методів та технічних рішень для підвищення функціональної надійності ізоляційних конструкцій тягових електричних машин локомотивів і зниження витрат на їх експлуатацію і ремонт.

Методи дослідження. Обчислювальні дослідження базуються на застосуванні основних положень теорій: ймовірностей, математичної статистики, надійності і відновлення, автоматичного регулювання, планування експериментів, теоретичних основ електротехніки, теорії електричних машин. Методологія дослідження, на теоретичному, і емпіричному рівнях в роботі базується на системному підході до досліджуваних змін надійності корпусної ізоляції ТЕД.

Практична значимість. Дослідження проведені в роботі дозволяють класифікувати якість стану ізоляції, що дозволяє прогнозувати її ресурс. Вибір характеристик здійснено на основі інформації про зворотну напругу, що мається по результатам випробувань. У роботі визначено групу кривих за зворотною напругою: початкова ступінь експлуатації ; середня ступінь; ступінь підвищеного ризику експлуатації .

Експериментальні та теоретичні дані показують, що основними причинами, що призводять до відмов ізоляції силових ланцюгів в експлуатації є: температурні впливи на ізоляцію обмоток ТЕД при поїзній роботі, електричні перенапруги, що виникають в силових ланцюгах локомотивів при деяких перехідних режимах і поступове старіння ізоляції під дією термомеханічних і електричних навантажень. При цьому вихід з ладу ізоляційних конструкцій силових ланцюгів відбувається тим швидше, чим нижче їх початкова електрична міцність, обумовлена якістю ізоляційних матеріалів і рівнем технологічних процесів виготовлення цих конструкцій, і менш досконала конструкція пристроїв охолодження і захисту.

Початкова електрична міцність ізоляційних конструкцій закладається на перших позиціях технологічного процесу їх виготовлення і визначається рівнем узгоджених між «постачальником» і «замовником» випробувальних напруг, регламентованих ДСТУ для вже готової продукції. Відсутність надійних методів дефектировки ізоляційних конструкцій при їх ремонтах призводить до появи на локомотивах силових ланцюгів із заниженим ресурсом. Відсутність на локомотивах автоматичних систем регулювання витрати охолоджуючого повітря зі зворотним зв'язком по температурі ізоляції обмоток електричних машин приз-

водить до зниження їх надійності та перевитрати енергії на охолодження. Захист ізоляційних конструкцій силових ланцюгів від їх перегріву понад припустимі межі на локомотивах не передбачена, і існуючі системи захисту від протікання по силовим ланцюгах підвищених струмів і струмів короткого замикання на корпус є по суті, ні захищаючими, а реєструючими, причому наявність в принципових схемах силового ланцюга тепловозів контактної точки з корпусом локомотива зумовлює появу в перехідних режимах напруг, значно більших номінальних.

Нерівномірний розподіл току в силових ланцюгах тепловозів призводить до звуження гранично-допустимих зон тривалої роботи ТЕД і нестійкій, роботі противобуксуючих схем. Тому, створення технології випробувань на діелектричну міцність ізоляційних конструкцій ТЕД, що враховує властивості міцності, показники надійності в експлуатації і економічні ризики постачальників і замовників, розробка методу багатопараметричної оцінки діелектричної міцності ізоляційних конструкцій, що дозволяє визначати поточний стан корпусної ізоляції якорів ТЕД з метою ідентифікації виду і обсягу ремонту, нових принципів побудови автоматизованих систем охолодження і їх захисту, з урахуванням стану ізоляції обмоток електричних машин і зворотним зв'язком по температурі, контроль розподілу току в паралельних силових ланцюгах ТЕД, є актуальними проблемами, що мають важливе значення.

Розділ 1

1. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Старіння і деградація ізоляції електричних машин визначає термін їх служби в експлуатації. Процес старіння залежить від природи і значень електричних напруг, механічних впливів, робочих температур і екологічних умов, які діють (постійно або тимчасово) на ізоляцію.

Оцінка станів ізоляції в динаміці розглянуті і виділені в роботі [1]. Автори вказують, що в процесі старіння ізоляції можна спостерігати такі явища: старіння, деградація і руйнування. Старіння і деградація ізоляції безпосередньо впливають на руйнування ізоляції, але між старінням і деградацією не спостерігається чіткої межі, [1]. Відмінності між явищами деградації пробою (раптова відмова) ізоляції також наводиться в [1]: «The essential difference between the degradation and breakdown phenomena consists in the fact that the degradation is a process that takes place in a long period of time, while the failure is a process that occurs suddenly and it is catastrophic, insulation being unable to support the nominal voltage after its failure». Деградація, викликана розвитком електричних дерев, може займати години, дні, місяці або навіть роки до пошкодження ізоляції на відміну від раптового пошкодження (пробою).

У роботах [2, 3] зміна стану якості ізоляції процес старіння розглядається з точки зору молекулярної фізики. Молекулярні зміни в ізоляції сприяють погіршенню електричних, механічних та інших властивостей, що веде до розвитку механізмів деградації ізоляції. Особливості вимог до технічного обслуговування локомотивів на залізницях України вимагають дещо іншого підходу до визначення стадій стану якості ізоляції електричних машин в часі ніж розглянутих підходів вище. Відносно корпусної ізоляції визначення стадій її старіння необхідно щоб визначитися з видом технологічної операції відновлення:

- відновити корпусну ізоляцію просоченням;
- замінити корпусну ізоляцію на нову.

Для оцінки стану ізоляції розроблені кілька методів діелектричної діагностики: вимірювання струму поляризації і депольаризації (PDC – polarization and depolarization current) [4], спектроскопія в частотній області (FDS- frequency domain spectroscopy) [5], вимір поворотного напруги (RVM – recovery voltage measurement), [6, 7]. Хорошим методом для отримання інформації про стан ізоляції є вимір поворотного напруги.

Метод RVM заснований на аналізі значень вимірювання зворотної напруги. Зазвичай використання параметрами кривих зворотної напруги є: значення максимальної зворотної напруги, час максимуму зворотної напруги і початковий нахил кривої s . Даний метод відомий давно. Вимірювання надійні щодо збору даних. Крім того, вимірювання зворотної напруги менш чутливі до зовнішніх шумів. Отримана інформація можна порівняти з тією, яка може бути отримана з інших діелектричних методів. На жаль, інтерпретація даних вимірів не орієнтована на реальні фізичні параметри. Визначення залишкового ресурсу ізоляції пов'язано з математичним моделюванням процесу старіння ізоляції. Моделі [8, 9, 10] розроблено з урахуванням зміни структури ізоляції в результаті електромеханічних напруг, які руйнують кристалітів або ушкоджують інтерфейси в композитних матеріалах.

У моделі [11] автори виходили з того, що просторовий заряд, утворений в ізоляції з часом, є причиною старіння. Заряд, накопичений в різних зонах ізоляції, локально підвищує електричне поле, збільшує механічну напругу і далі відбувається руйнування хімічних зв'язків.

Модель [12] виходить з припущення, що освіта просторового заряду є наслідком старіння, а сам процес старіння обумовлений високими електричними полями, які руйнують хімічні зв'язки в ізоляції.

Найбільш прийнятними моделями для прогнозування залишкового ресурсу ізоляції є статистичні моделі. Даний напрямок моделювання досить широко представлено дослідниками. Розглянемо лише деякі з них.

Серед статистичних моделей слід виділити моделі, які використовують нейромережеве моделювання діагностування стану ізоляції, [13]. У даній роботі

використовуються моделі на основі штучних нейронних мереж прямого поширення. Дослідниками в [14, 15] запропоновані експоненціальні моделі і моделі на основі закону розподілу Вейбулла. Використовуються також регресивні моделі для визначення залишкового ресурсу, [16]. Регресійна модель Кокса це найбільш загальна регресійна модель, оскільки вона не пов'язана з припущеннями щодо розподілу часу виживання. Модель передбачає, що процес зносу ресурсу відбувається незалежно від експлуатаційних впливів.

До недоліків статистичних моделей можна віднести той факт, що всі вони вимагають великого обсягу достовірних статистичних спостережень.

Відомо, що при експлуатації тягових двигунів (ТД) неминуче старіє їх електрична ізоляція. Її властивості погіршуються, знижується електрична міцність, що може привести до пробою. У ряді випадків процеси старіння носять необоротний характер і закінчуються руйнуванням ізоляції.

Щоб тягові електродвигуни (ТЕД), як і інше електрообладнання електровозів, працювали безаварійно, їх ізоляція повинна бути надійною. В процесі експлуатації вона, природно, старіє, погіршуються її властивості, електрична міцність знижується. У деяких випадках зміна властивостей ізоляції має незворотний характер і завершується пробоем. Однак в більшості випадків наслідки старіння можна усунути відновлювальним ремонтом ізоляції.

Щоб уникнути раптових пробоїв ізоляції і підтримати необхідну надійність електроустаткування, стан ізоляції періодично контролюють. Погіршення її властивостей компенсується планово-запобіжними ремонтами на основі циклу з призначений ним міжремонтним ресурсом, який не враховує реальних умов експлуатації. При такій системі профілактичні і ремонтні роботи проводять за часом напрацювання, тобто по пробігу.

Згідно правилам ремонту електричних машин електрорухомого складу після кожних 350 тис. км. пробігу з початку експлуатації ТД зобов'язані пройти певний вид ремонту: поточний, середній або капітальний. Як показала практика, система підтримки надійності ізоляції по пробігу не є оптимальною (як і ре-

монт по напрацюванню в інших галузях промисловості). Умови експлуатації ТД різні, отже, ізоляція старіє неоднаково.

Якщо об'єктивно оцінювати її реальний стан, то можна з меншими витратами продовжити термін служби, не знижуючи надійність. Особливо важливим це стає в умовах гострого дефіциту міді й ізоляційних матеріалів. Слід також урахувати, що на транспорті, як і в багатьох галузях народного господарства нашої країни, росте кількість електроустаткування, що експлуатується з минулими термінами служби. У депо витрачають значні сили і засоби на підтримку надійності такого устаткування на нормальному рівні за рахунок проведення планово-запобіжних ремонтів з призначеним між ремонтним ресурсом. Щоб перейти від традиційної системи обслуговування електроустаткування по пробігу до альтернативної по реальному технічному стану, потрібно об'єктивно оцінити стан ізоляції.

Засоби діагностики, що є в розпорядженні ДЕПО, не задовольняють сучасним вимогам. Придатність корпусної ізоляції обмотки якоря ТЕД до подальшої, експлуатації дотепер визначають за допомогою мегомметра по величині опору ізоляції, хоча по ньому можна виявити лише грубі дефекти ізоляції, також застосовується руйнуючий метод, при якому взагалі котушка пробивається.

На сьогодні немає порівняно простої реалізації на практиці надійних критеріїв для висновку про стан ізоляції. Придатність корпусної ізоляції обмотки якоря ТЕД до подальшої експлуатації визначається мегомметром за величиною її опору. Це, звичайно, ненадійний критерій. Крім того, на точність вимірювання впливає багато факторів, в тому числі зволоження, забруднення і т.д.

Ефективність діагностики може забезпечуватися тільки комплексним характером результатів контролю. Головна мета при цьому - виявлення найбільш ймовірних видів і причин виявлених і прогнозованих несправностей електрообладнання.

Як показали дослідження, судити про стан ізоляції тільки за величиною опору неможна.

Вимірювання часткових розрядів, які є основною причиною електричного старіння внутрішньої ізоляції, дає більш об'єктивну інформацію. Однак воно дуже складно і має малу перешкодозахищеність і тому в основному може бути застосовано лише в лабораторіях, тобто мало придатне для промислових умов.

Більш об'єктивні критерії оцінки стану можна отримати, використовуючи явище абсорбції, тобто поглинання заряду всередині ізоляції при її підживлення від джерела постійної напруги. За величиною поглиненої заряду, званого зарядом абсорбції, судять про ступінь старіння ізоляції і залишився ресурсі її роботи.

Для виконання профілактичних випробувань в енергосистемах створюються спеціальні центральні служби або підрозділи, що входять до складу електротехнічних служб, роль і завдання яких полягають в організації і технічному спостереженні за станом ізоляції електроустановок. Центральні служби повинні виконувати технічний аналіз стану ізоляції, розробляти заходи і здійснювати дослідження, пов'язані із збільшенням надійності роботи ізоляції устаткування. Контроль стану ізоляції і випробування устаткування, що діє, проводяться за допомогою місцевих лабораторій мережевих районів і електростанцій і в деякій мірі ремонтних служб. Місцеві лабораторії, користуючись пересувними випробувальними засобами, здійснюють в співдружності з ремонтними підрозділами комплекс необхідних профілактичних випробувань. Основними електричними характеристиками ізолюючих матеріалів електроустаткування, що набули поширення для оцінки стану ізоляції в електричному полі при експлуатаційних випробуваннях, є: питомий опір; діелектричні втрати; електрична міцність (пробивна напруга).

Перший два види характеристик, одержуваних при випробуваннях, дозволяють на основі зміряних абсолютних показників судити про стан ізоляції, а визначаючи електричну міцність, можна судити про міцність або запас міцності в цілому.

1.2 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ

1.2.1 Випробування змінною напругою

Випробування змінною напругою є основним способом визначення наявності запасу міцності, як в заводських, так і в експлуатаційних умовах, в останньому випадку в межах можливостей, виходячи з наявності випробувальних засобів. Через останню обставину в експлуатації випробуванням піддається устаткування на напругу до 35 кВ включно і лише в лабораторних умовах - на більшу напругу.

Виходячи з того, що при постійному струмі електрична міцність ізоляційних матеріалів мало залежить від швидкості підйому напруги, головним чином для зручності спостереження виробилися наступні вимоги: ступінь регулювання напруги не повинен перевищувати 1-1,5% номінальної напруги обмотки випробувального трансформатора, а швидкість підйому не більше 1-2 кВ/с. При випробуванні об'єктів великої місткості швидкість підйому напруги часом лімітують великі струми абсорбції. У подібних умовах при встановленні швидкості підйому напруги доводиться враховувати характеристики навантажень випробувальної установки. Для отримання додаткових ізоляційних характеристик, наприклад для генераторів, підйом напруги здійснюється ступенями з витримкою часу на кожному ступені 1 хв., але значення напруги кожного ступеня напруги повинне відповідати вимогам норм, інакше це внесе додаткову погрішність через незакономірність зміни струму витоків із зростанням прикладеної напруги і відмінності струму абсорбції на різних ступенях. У силу приведення цих міркувань, зокрема, для машин, що обертаються, не мають водяного охолодження обмоток, прийнято вимірювання виробляти на п'яти рівних по величині ступенях в межах від 20 до 100% випробувальної напруги.

Визначення електричної міцності електроустаткування напругою промислової частоти повинне вироблятися з урахуванням ряду вимог, при цьому передбачена градація випробувальних напруг по видам устаткування (трансфор-

матори, вимірювальні трансформатори, апарати і ізолятори). Розрізняють два види умов випробувань:

а) з витримкою після досягнення нормованої напруги 1 хв. або 5 хв. тільки для штанг і якщо основна ізоляція складається з органічних твердих матеріалів, але окрім паперово-масляної або з кабельної маси;

б) при плавному підйомі напруги до встановленого рівня і подальшого потім зниження його. Останній вид випробувань має два різновиди - випробування напругою, яку витримують, в сухому стані ізоляції і під дощем.

1.2.2 Випробування потоком іскр постійного струму

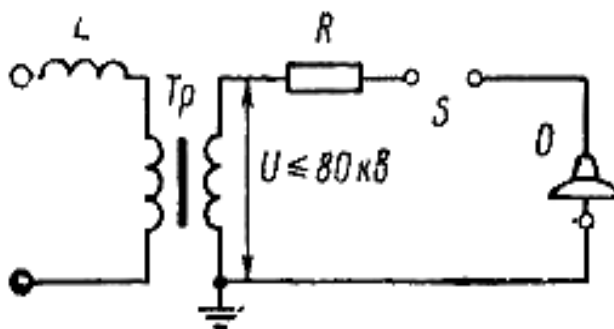


Рисунок 1.1 - Схема установки для випробування ізоляторів потоком іскр

L - індуктивний опір;

R - омичний опір;

S - регульований повітряний зазор 25- 40 мм;

Тр - трансформатор;

O - випробовуваний об'єкт.

Електричні контрольні випробування змінним струмом багатьох видів лінійних ізоляторів, а також чисто фарфорових на напругу 3-10 кВ проводять одночасно великою партією або на конвеєрі. Для цих випадків в цілях полег-

шення індикації одержали широке застосування методи електричних випробувань при дії напругою змінного струму та кого значення, при якому на поверхні ізолятора утворюється безперервний потік іскр, який не переходить в дугу. Це випробування ізолятор повинен витримати протягом 3 хв. без пробою. Подібні випробування також можуть знайти застосування і в лабораторній практиці енергосистем.

Схема установки для випробування потоком іскр приведена на рис. 1.1. Електроди, що подають змінну підвищену напругу від випробувального трансформатора до випробовуваного ізолятора, мають регульований повітряний зазор. Унаслідок іонізації в регульованому повітряному зазорі, включеному через місткість ізолятора, утворюється стійкий потік іскр. При пробі дефектного ізолятора іскровий розряд в повітряному зазорі переходить в дуговий, оскільки майже вся напруга ляже на повітряний зазор, що і указує на наявність дефекту. При випробуванні індуктивний опір в первинній обмотці трансформатора знижує струм короткого замикання і забезпечує іскрову форму розряду. Щоб одержати іскровий розряд через повітряний проміжок, напруга трансформатора повинна бути на 15-20% більше випробувальних напруги для даного типу ізолятора.

1.2.3 Випробування постійним струмом

Випробування об'єктів з великою місткістю, наприклад кабелів, підвищеною напругою змінного струму зажадали б джерела великої потужності. При випробуванні напругою постійного струму потужність випробувальної установки визначається тільки струмом кризової провідності, що не перевищує декількох міліампер (1-10 мА). Останнім часом встановлено, що при випробуванні підвищеною напругою обмоток генераторів доцільно виробляти контроль їх як змінним, так і постійним струмом, що дозволить виявляти більше число різних по характеру дефектів. Через це в практиці експлуатаційних, заводських (для генераторів) і профілактичних випробувань ізоляції кабелів високої напруги, а також

і деяких видів устаткування (розрядники) набуло широке поширення випробування підвищеною напругою постійного струму.

Випробування підвищеною напругою постійного струму не аналогічно випробуванню змінним струмом з багатьох причин:

- а) незначна величина розсіяваної в діелектриці енергії не викликає явищ діелектричних втрат і теплового пробою, а отже, випробування на постійному струмі дозволяє перевірити запас міцності ізоляції з погляду чисто електричного пробою;
- б) напруга, необхідна для розвитку розряду по поверхні при постійному струмі, може знижуватися 1,2-1,7 рази в порівнянні з випадком додатку змінного струму;
- в) пробивна напруга при постійній напрузі звичайно значно вище, ніж при змінному;
- г) розподіл напруги в ізоляції при додатку постійного і змінного струмів різний. При постійному струмі розподіл напруги (після стабілізації струму) визначається провідністю шарів, а при змінному струмі - головним чином частковими місткостями.

Відношення пробивної напруги постійного струму до амплітуди пробивної напруги змінного струму визначає так званий коефіцієнт зміцнення.

Коефіцієнт зміцнення - величина невизначена, багато в чому залежить від вигляду і стану діелектрика. Так, для повітря коефіцієнт зміцнення рівний 1,0; для паперово-масляної ізоляції може досягати 5; для нової ізоляції машин, що обертаються, він досягає величини 2-2,5 і зменшується до 0,8-1,5 для зношеної. Остання обставина визначає кращу виборчу здібність випрямленої напруги до багатьох видів місцевих дефектів ізоляції (проколи, вм'ятини, порізи і т. п.) в порівнянні з випробуванням змінним струмом.

Випробування постійним струмом дозволяє виявляти загальне зволоження, тобто дефект, що часто зустрічається в експлуатації, і воно в найбільшій мірі ефективно в тих випадках, коли відстань від електроду до електроду невелика і

вимагається визначити наявність запасу міцності через появу місцевого дефекту, наприклад випадкового часткового пошкодження товщі ізоляції у кабелю.

Загальнодержавні норми і методи випробувань електричної міцності ізоляції від джерела постійного струму відсутні і це пов'язано головним чином з тим, що даний вид випробування не є для устаткування основним, а в якійсь мірі тільки замінюючим випробування підвищеною напругою змінного струму. Таким чином, з урахуванням досвіду експлуатації і фізичних властивостей матеріалів створюються відомчі норми для кожного виду устаткування окремо. Так, зокрема, нині діють наступні нормативи по значенню випробувальних напруг постійного струму: для генераторів, що знов вводяться, $2,5U_{НОМ}$, а для генераторів, що знаходяться в експлуатації, $1,6U_{ВИП}$; для кабелів 3-10 кВ – $6U_{НОМ}$ і в межі для ліній 2-6 кВ – до $8,5U_{НОМ}$; для вентиляльних розрядників з шунтуючими опорами 4-32 кВ - для одного елемента розрядника.

У тих випадках, коли з міркувань спрощення випробування випрямленою напругою замінюють випробування змінним струмом, як, наприклад, в розподільних пристроях кабельних мереж, значення випробувальної напруги встановлюється в $\sqrt{2}$ разів більше в порівнянні з нормованим. Це обумовлено тим, що прилади змінного струму показують значення напруги, що діє.

Оцінка стану ізоляції при випробуванні підвищеною напругою, якщо за час додатку напруги не відбувся пробій, деколи представляє відомі труднощі і приводить до розбіжності у визначенні із стояння устаткування. Практикою і окремими нормативами встановлені деякі загальні критерії, викладені нижче.

Внутрішня ізоляція апаратів, трансформаторів струму і ізоляторів вважається витримала випробування, якщо не спостерігалось пробою, перекриття або пошкодження ізоляції, а також часткових розрядів в маслі. Потрібно відзначити, що стандартами допускаються одиничні часткові розряди в маслі, якщо вони не викликають зміни режиму випробувальної установки і не відображаються на свідченнях приладів.

При випробуванні внутрішньої ізоляції прийнято вважати, що може бути допущено виникнення слабкої кистьової корони в повітрі і слабких що ковзають

розрядів по зовнішній поверхні фарфору і це не може служити ознакою бракування. При випробуванні ізоляції сухих трансформаторів, зокрема з литою ізоляцією, не повинно бути кистьової корони в повітрі і ковзаючи розрядів по поверхні, якщо вони за час випробування можуть викликати пошкодження твердої ізоляції.

При випробуванні підвищеною напругою зовнішньої ізоляції апаратів і вимірювальних трансформаторів нормами допускаються часткові розряди у внутрішній ізоляції за умови, що випробовуваний виріб витримав раніше випробування внутрішньої ізоляції.

Внутрішня ізоляція масляних трансформаторів (силових і напруги) і масляних реакторів вважається витримала випробування, якщо не спостерігалось пробою або часткового пошкодження ізоляції, розрядів в баку, що відзначаються по звуку, виділенню газу або диму або за свідченнями приладів - амперметра або вольтметра.

Результати випробування зовнішньої ізоляції апаратів і обмоток машин, що обертаються, вважаються задовільними, якщо при додатку напруги не відбувся пробій ізоляції або перекриття її. В окремих випадках застосовують, як додатковий критерій, контроль по нагріву, для чого обмацують зовнішню ізоляцію негайно після того, як знято випробувальну напругу. Такий метод контролю при міняється в профілактичних випробуваннях ізоляції обмоток машин, штанг і т.д.

При випробуванні випрямленою напругою ізоляція може вважатися витримала випробування, якщо і струм витоку або перераховане значення його: опір ізоляції, коефіцієнт абсорбції або величина асиметрії струмів по фазам (обмоткам) - не перевищують встановлених величин. Загальними умовами здійснення випробування є ряд положень, регламентованих в інструкціях і стандартах;

- випробування внутрішньої ізоляції повинні вироблятися на повністю зібраних трансформаторах, машинах, апаратах і ізоляторах;

- випробування, що проводяться в приміщеннях, повинні про переводитися після того, як випробовуваний об'єкт прийме температуру приміщення. Оскільки пробивна напруга ізоляції машин в межах 15-25% залежить від її температури, в експлуатаційній практиці прийнято випробування підвищеною напругою проводити до охолодження обмоток, тобто в умовах, що найбільшою мірою наближаються до робочих. [10]

1.2.4 Вимірювання провідності

Вимірювання струму провідності (струму витoku) є найстарішим і широко поширеним видом випробувань в практиці контролю стану ізоляції. Вже наголошувалося, що вимірювання провідності дозволяє виявити стан ізоляції, оскільки вживані в конструкціях устаткування високої напруги матеріали через неоднорідність структури, неповного видалення летючих з лаків або унаслідок зволоження окремих її шарів не є досконалим діелектриком.

Вимірювання провідності ізоляції виробляється при постійній (стабільній) напрузі постійного струму з відліком протікаючого струму або безпосередньо омичного опору.

Напруга, що прикладається до випробувального об'єкту, визначається головним чином конструктивними межами (чутливістю) вимірювальних приладів при необхідній межі вимірювання і в деяких випадках допустимою межею напруги, що прикладається, виходячи із збереження в цілості ізоляції. Встановилася шкала напруг при визначенні провідності: 0,5; 1 і 2,5 кВ з верхньою межею відліку по опору до 10-20 тис. МОм. При додатку напруги під час вимірювання опору ізоляції в ізоляції виникають процеси абсорбції. Особливістю неоднорідного діелектрика є те, що в початковий момент часу після додатку до нього постійної напруги сумарний струм, що проходить в ізоляції, складається з трьох складових: струму місткості i_c , струму абсорбції i_{abc} і струму кризової провідності i_{pr} . У перший момент часу після додатку до такого діелектрика постійної напруги воно розподіляється по місткостям шарів ізоляції, викликаючи проходження струму місткості i_c ; кінцеве розподіл напруги - по провідності (через

наявність струму крізної провідності іпр). Оскільки провідності шарів ізоляції не відповідають їх місткостям, вслід за додатком напруги відбувається перерозподіл і накопичення зарядів усередині діелектрика, що викликає струм абсорбції іабс. Струм місткості іс виникає лише при комутації або зміні значення прикладеної постійної напруги, загасання струму іс відбувається практично за декілька секунд.

Значення струму провідності залежить від властивостей діелектрика (опори і місткості шарів ізоляції) і збільшується з підвищенням температури і прикладеної напруги. Залежність провідності від виду ізоляції достатньо індивідуальна. Стан зовнішньої поверхні неоднорідного діелектрика (зволоження або забруднення) практично мало впливає на струм абсорбції. Вимірювання абсорбційних струмів знайшло застосування у об'єктів з великим об'ємом ізоляції (електричні машини, трансформатори, конденсатори і т. д.) і служить додатковою характеристикою стану обстежуваного об'єкта.

Через труднощі, зв'язаний них з вимірюванням струму абсорбції під час процесу його швидкого спаду при малих часах, вимірювання струму абсорбції про переводять при часах від 15 с. до декількох хвилин. Сильне зволоження ізоляції, що зачіпає її внутрішні шари, викликає зниження величини абсорбційної складової майже до нуля навіть в початковий момент часу, одночасно збільшуючи струм крізної провідності по абсолютній величині. Разом з тим електропровідність різних видів ізоляційних матеріалів при їх задовільному стані може бути вельми різною. Тому для характеристики стану ізоляції користуються співвідношенням струмів абсорбції для двох моментів часу (звичайно 15 і 60 с.), але лише одного і того ж виробу або виробів з однорідними видами ізоляції. Виходячи з сказаного, відносно рідко практикується встановлювати які-небудь нормативи по абсолютній величині опору ізоляції, і одержані при вимірюваннях дані служать, головним чином, для зіставлення з початковими, раніше виробленими в аналогічних умовах або для думки про загальний стан ізоляції на момент контролю. Лише в окремих випадках після накопичення достатніх даних нормують мінімальне значення опору ізоляції.

Вимірювання складової абсорбції струму або різниці значень струму для двох визначених моментів часу, а також абсолютного значення опору дозволяє оцінити наявність дефектів, розподілених на весь об'єм ізоляції (або на значну частину його), наприклад при зволоженні, і таким чином встановити, якими причинами викликано підвищення крізного струму.

Струм крізної, що проходить через ізоляцію, провідності іпр не залежить від тривалості додатку напруги і збільшується з підвищенням температури. Тому при оцінці результатів вимірювання струмів провідності або опорів ізоляції і зіставлення з раніше зробленими, їх слід приводити шляхом перерахунку до базової температури (звичайно 20°C). Струм крізної провідності і, отже, опір ізоляції залежать від температури ізоляції, ступеня її зволоженості, матеріалу виробу і його геометричних розмірів. Крім того, на неї впливають і зосереджені дефекти, подібні тим, які привели до утворення обмеженої зони з підвищеною провідністю (напівпровідного каналу, часткового пробою), які розповсюдились на всю товщу ізоляції - від одного електрода до іншого. Тому вимірювання крізної провідності може бути додатковим критерієм стану ізоляції.

Струм витoku може збільшитися, якщо є практично неминуче поверхнєве зволоження або забруднення випробовуваного апарату. Це має велике значення для правильної думки про стан діелектрика в тих випадках, коли струми через товщу відносно малі, і тоді виникає необхідність приймати спеціальні заходи, впливи, що знімають: очищати поверхню, застосовувати захисні кільця, які уловлюють паразитні струми, і т.д.

При визначенні опору ізоляції вимірювання виконують щодо корпусу, приєднуючи джерело напруги до струмоведучими частинам. При вимірюванні опору ізоляції багато обмотувального устаткування схеми вимірювання аналогічні тим, які застосовуються і при випробуванні підвищеною напругою.

При визначенні провідності враховується, що унаслідок великої теплоємності ізоляції крупних об'єктів (генератори, трансформатори) і можливої нерівномірності розподілу нагрівів різних ділянок ізоляції необхідний час, після якого наступить стабільний стан. Цей час може бути вельми значним. У тих ви-

падках, коли вимірювання провідності використовується як характеристика ступеня зволоженості ізоляції, всі вимірювання повинні вироблятися при позитивних температурах ізоляції, тобто не менше $+ 5^{\circ}\text{C}$, коли волога ще не замерзла. [10]

1.2.5 Вимірювання діелектричних втрат

Вимірювання діелектричних втрат (тангенса кута діелектричних втрат) є одним з основних, а в деяких випадках, як, наприклад, при профілактичних випробуваннях устаткування на номінальну напругу більше 35 кВ, і єдиним методом, що дозволяє оцінювати стан ізоляції.

Вимірювання діелектричних втрат звичайно виконують при додатку змінного струму частоти 50 Гц. Як показали спостереження, з пониженням частоти діелектричні втрати збільшуються. Так, у паперово-масляній ізоляції при частоті 25 Гц збільшення діелектричних втрат може досягти 20-30% в порівнянні із зміряними 50 Гц.

У практиці польових умов випробування виробляються при напрузі не більше номінальної напруги випробовуваного об'єкту і в межах до 10 кВ. Це визначається тим, що зростання обох струмів діелектрика, що становлять, пропорційне напрузі і це справедливо до тих меж, коли не почалися іонізаційні процеси. Звичайно діелектричні втрати із збільшенням напруги до номінальних меж не змінюються або трохи зростають. При виникненні іонізації газових або рідинних включень в результаті додаткових втрат $\text{tg } \delta$ різко зростає, що і дозволяє виявляти цей вид дефекту, в більшості випадків пов'язаний із старінням діелектрика або недоліками виробництва.

Тривалість додатку напруги при експлуатаційних вимірюваннях діелектричних втрат не має значення, якщо напруга, що прикладається, нижче за номінальну напругу випробовуваного об'єкту. Кут діелектричних втрат в найбільшій мірі залежить від структури ізоляції і в реальних об'єктах, де застосовані різні діелектрики, одночасно протікають процеси, визначувані сукупністю можливих видів поляризації, що ускладнює картину явища. При підвищенні

температури діелектрика або його зволоження зменшується опір, що і дозволяє застосовувати метод вимірювання діелектричних втрат як головний критерій визначення стану ізоляції устаткування. Проте основні закономірності зміни діелектричних втрат від температури або ступеня зволоження однозначні. Так, якщо відбулося збільшення діелектричних втрат при незмінній температурі, і вони стали вищими в порівнянні з аналогічним об'єктом або попередніми вимірюваннями, то це в першу чергу може свідчити про зволоження ізоляції. Виходячи з цього і великого накопиченого досвіду, можна встановлювати нормативи по абсолютній величині діелектричних втрат для великого числа видів устаткування.

Діелектричні втрати сильно залежать від температури, і при оцінці результатів це необхідно брати до уваги. Помилка у визначенні середньої температури ізоляції на 5°C може викликати погрішність визначення діелектричних втрат по відношенню до істинного значення на 10-20% і багато в чому залежить від зони температур, при яких вироблялися вимірювання. Як правило, величина діелектричних втрат нормується для температури 20°C і вимірювання виробляють при температурах, близьких до цієї величини ($10-30^{\circ}\text{C}$). Для окремих видів устаткування одержані температурні залежності діелектричних втрат, що дозволяє в деяких межах точності виробляти перерахунок до нормованої - базовій температури $+20^{\circ}\text{C}$.

Місцеві дефекти ізоляції вимірюванням діелектричних втрат не виявляються, а тому даний метод контролю застосовний для випадків, коли можливо загальне погіршення діелектрика. Тому вимірювання діелектричних втрат виробляють не у всіх видів ізоляції, виключаючи контроль виробів з фарфору, або коли через великий об'єм ізоляції, наприклад у генераторів, усереднена характеристика не дозволяє виявити місцеві дефекти. Чим більше електрична місткість випробовуваного об'єкту, тим менше впливає на загальний $\text{tg } \delta$ величина діелектричних втрат місцевого дефекту.

При негативній температурі ізоляції, коли волога, що знаходиться в діелектрику, замерзає, діелектричні втрати сухої і зволоженої ізоляції близькі, а

тому не рекомендується виконувати вимірювання $\tan \delta$ при температурі нижче $+5^\circ\text{C}$.

Важливе значення має точність вимірювань діелектричних втрат. Точність і межі вимірювання визначаються вживаними приладами, а також погрішностями, умовами вимірювання, що викликаються впливом зовнішніх електричних і магнітних полів, а також паразитними струмами.

Виходячи з практики, діапазон величин, що підлягають вимірюванням при профілактичних випробуваннях устаткування в експлуатації, складає по $\tan \delta$ 0,3—50% при місткості об'єкту 30—100*103 пФ. [10]

1.2.6 Контроль ізоляції по значенню електричної ємності

При дослідженні діелектриків була звернута увага на те, що стан ізоляції можна характеризувати по значенню місткості і зміні її залежно від температури, частоти струму, прикладеної напруги і ходу зміни характеристики абсорбції. Виявилось, що при сухому стані ізоляції її місткість у області температур $20-80^\circ\text{C}$ мало змінюється при нагріві. У зволоженої ізоляції наголошується значне зростання місткості, особливо в інтервалу температур від $+50$ до 100°C , що і дозволяє судити про її стан по співвідношенню місткостей, визначених при двох прийнятих в практиці температурах 20 і 80°C . Якщо збільшення місткості при вказаних двох температурах не перевищує 15-20%, ізоляція вважається практично не зволоженою. Основний недолік цього методу визначення ступеня зволоженості ізоляції - це значні витрати часу і засобів на нагрів великих мас устаткування, а при нерівномірності розподілу температури по ізоляції метод дає невизначені результати.

Метод визначення ступеня зволоженості ізоляції при вимірюванні місткості при різних частотах (2 і 50 Гц) в практиці одержав широке застосування тільки після того, як у ВНІЕ була створена високочутлива апаратура (прилад серії ПКВ), що реагує на малі зміни досліджуваних характеристик. Місткість незволоженої ізоляції при частоті 2 Гц значно зростає з підвищенням температури, тоді як при 50 Гц вона мало змінюється. Отже, і відношення $C2/C50$

збільшується більшою мірою з підвищенням температури. Відношення $C2/C50$ на відміну від відношення $СГАР/СХОЛ$ залежить також від $\text{tg } \delta$ масла. Метод почав застосовуватися для визначення ступеня зволоженості ізоляції силових трансформаторів.

У сухої ізоляції це співвідношення не перевищує 1,2-1,3, але із збільшенням температури ізоляції також збільшуватиметься. Так, в зоні між $+20$ і $+80^\circ\text{C}$ подібне збільшення може досягати 35-50%. [10]

1.2.7 Перевірка якості ізоляції по ємнісним характеристикам

Придатність корпусної ізоляції обмотки якоря ТЕД до подальшої експлуатації визначається в даний час за допомогою мегаомметра за величиною опору ізоляції. Як показали дослідження, середні величини однохвилинного значення опору ізоляції R_{60} якорів тягових двигунів типу НБ-406, що прийшли в ремонт, склали 336 МОм, після середнього ремонту 383 МОм, а після капітального ремонту 260 МОм. Таким чином, наведені результати наочно показують, що не можна судити про стан ізоляції тільки за величиною її опору.

Незважаючи на те, що вимірювання опору ізоляції не може дати повної картини стану ізоляції, все ж і в даний час з'являються рекомендації по використанню його для цілей діагностики. Наприклад, пропонується оцінювати стан ізоляції за величиною опору ізоляції за наступними критеріями: якщо відношення $R/U_{ном}$ при $U_{ном} < 10 \text{ кОм/В}$, то ізоляція вважається позитивною; якщо більше 1 кОм/В негативною, якщо менше цього значення - незадовільною.

Будуючи залежність $R = f(U)$, можна визначити напругу пробою ізоляції в разі, якщо залежність $R = f(U)$ має лінійний характер. Якщо ж характеристика нелінійна, то це говорить про незадовільний стан ізоляції.

Більш об'єктивною оцінкою є ставлення максимального значення струму абсорбції до наскрізного струму. Однак, практично провести ці два зазначених вимірювання дуже важко. Тому, вимірювання проводять через дві певні проміжки часу після прикладення напруги, ставлячи умову, щоб перший проміжок був

значно менше другого. Прийняті проміжки 15 і 60 секунд, а в американській практиці проміжки 1 та 10 хвилин після прикладення напруги. За допомогою цього, відносини званого коефіцієнтом абсорбції, оцінюють зволоженість ізоляції. Недоліком методу є те, що сталий процес не завжди настає через 60 секунд.

Існує кілька методів перевірки якості ізоляції по ємнісним характеристикам. Метод "ємність - температура" ґрунтується на вимірюванні ємності при збільшенні температури. Метод "ємність - частота" ґрунтується на вимірюванні ємності при зміні частоти. Ємність ізоляції вимірюють на частотах 2 і 50 Гц, і визначають ставлення C_2 / C_{50} , яке служить показником якості ізоляції. Недоліком цього методу є те, що в більшості випадків сам діелектрик, з якого виконана ізоляція також має дипольну структуру, і на практиці буде спостерігатися зміна ємності при зазначених частотах.

У методі "ємність - час" вимірюють ємності C_2 (геометричну) і ΔC (ємність, яка відображатиме процес накопичення заряду абсорбції в неоднорідній ізоляції). Критерієм якості ізоляції є ставлення - $\Delta C / C_2$. Встановлено, що для нормальної ізоляції відношення $\Delta C / C_2$ не перевищує 0,1, а для зволоженої ізоляції відношення $\Delta C / C_2 > 0,1$.

Контроль ізоляції за величиною тангенса кута діелектричних втрат має ту перевагу, що $tg\delta$ не залежить від розмірів ізоляції. Вимірювання $tg\delta$ при частоті 50 Гц є одним з найбільш поширених методів контролю ізоляції електрообладнання високої напруги.

Характер зміни $tg\delta$ при періодичних вимірах дозволяє судити про погіршення властивостей ізоляції. Оцінка стану ізоляції за значеннями $tg\delta$ передбачається ПУЕ майже для всіх видів ізоляції. Недоліком цього методу є низька перешкодозахищеність і складність автоматизації процесу вимірювання.

Вимірювання часткових розрядів, які є основною причиною електричного старіння внутрішньої ізоляції, дає більш об'єктивну інформацію про стан ізоляції, але такі вимірювання дуже складні і мають малу перешкодозахищеність.

Тому, вони в основному застосовані лише в лабораторіях і мало придатні для промислових умов.

Недолік випробування ізоляції підвищеною напругою полягає в тому, що дефектна ізоляція незворотно руйнується. Економічна доцільність випробування підвищеною напругою, як засобу підвищення надійності полягає в тому, щоб витрати на його проведення і вартість ремонту або заміни бракованих конструкцій виявилась менше збитків від аварій, яка була б заподіяна при збої не відбракованої дефектної ізоляції. У зв'язку з високою вартістю високовольтної ізоляції така система може бути економічно ефективною тільки при дуже малому числі бракованих виробів.

Ефективність діагностики можна забезпечити тільки комплексним виміром параметрів ізоляції з метою виявлення найбільш ймовірних видів і причин виявлених і прогнозованих несправностей ізоляції електрообладнання. Для цієї мети в РГОТУПС були знайдені нові оригінальні технічні рішення, які лягли в основу для створення пристроїв контролю ізоляції по абсорбційним характеристикам (рис.1.2).

На рис.1.2 позначено: ВДЖ - високовольтний джерело живлення, ВС1 - вимірювач струму, ВС2 - вимірювач напруги, P1, P2 - високовольтні реле, R1, R2, C1, C2 - параметри схеми заміщення неоднорідною ізоляції.

Пристрої дозволяють вимірювання величини опору ізоляції вимірювати такі параметри, як напруга саморазряда і зворотня напруга.

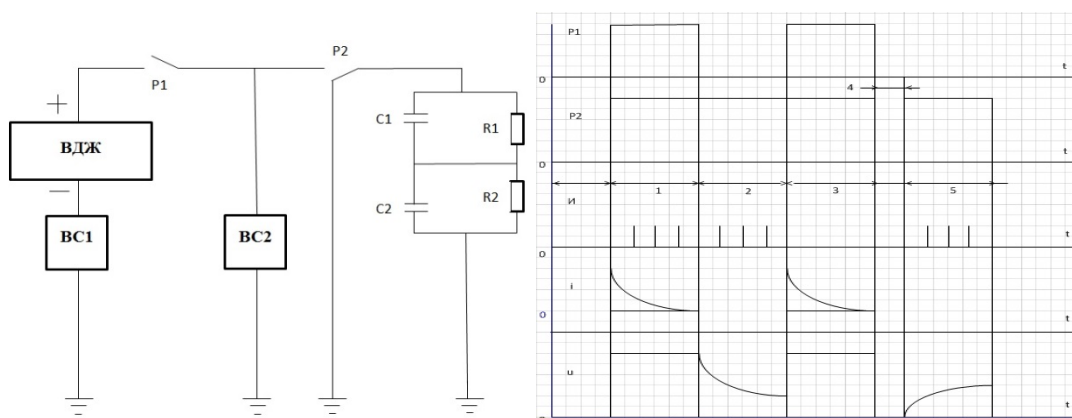


Рисунок.1.2 Пристрій контролю ізоляції по абсорбційним характеристикам

Оскільки корпусна ізоляція тягових електродвигунів є неоднорідною, то в процесі саморозряду не залишається постійною і величина постійного часу саморозряду. Спочатку вона має невелике значення, а потім істотно збільшується. У цьому випадку виникає необхідність безперервно вимірювати значення еквівалентного постійного часу. Під час саморозряду ізоляції, що складається з n -шарів, напруга на ній змінюється за законом:

$$U_c = \sum_{i=1}^n U_{c0i} e^{-\frac{t}{\tau_i}} = U_{c0i} e^{-\frac{t}{\tau_i}}$$

тут: U_{c0i} - напруга на шарі в момент часу $t = 0$; τ_i - постійна часу і шару; τ - еквівалентна постійна часу в даний розглянутий момент часу. Для вимірювання постійного часу запропоновано оригінальний пристрій, в яке введений диференціатор, на вхід якого подається напруга саморозряду. Напруга на виході диференціатора дорівнює: $u_c = \frac{du_c}{dt} = -\frac{U_{c0}}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$. Крім того, в пристрій введений дільник напруги, на входи якого подаються сигнал напруги саморозряду і його похідної. Сигнал на виході подільника по модулю дорівнює постійної часу:

$$\frac{u_c}{u_c} = -\tau \quad \text{або} \quad \frac{u_c}{-u_c} = \tau$$

Розділ 2

2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ДЕПО НИЖНЬОДНІПРОВСЬК-ВУЗОЛ

Експлуатуються в даний час на мережі залізниць України локомотиви побудовані за технічними вимогами 60-х років і, по суті, є рухомим складом старого покоління, для якого характерні недостатній рівень надійності, високі витрати на обслуговування і ремонт. В життєвому циклі цього рухомого складу його вартість складає 30%, а експлуатаційні витрати - 64%. У локомотивному парку витрати на паливо і електроенергію складають 33%.

Тому, велике значення для підвищення ефективності системи технічного обслуговування і ремонту (СТОП) має досягнутий рівень управління нею. Про це свідчить досвід створення інформаційно-керуючих систем, які широко застосовуються за кордоном. Підвищення надійності і готовності тягових засобів, скорочення експлуатаційних витрат досягається шляхом вдосконалення системи СТОП на основі збору, систематизації, обробки і аналізу великих обсягів інформації про технічний стан локомотивів. Це можливо тільки за допомогою засобів технічної діагностики та обчислювальної техніки.

Впровадження діагностичних комплексів, автоматизація збору й обробки інформації дає можливість при збереженні планово-попереджувального характеру системи СТОП виконувати ремонт кожного конкретного локомотива відповідно за його технічним станом в даний момент часу.

Сьогодні потрібно створити таку теоретичну базу, яка давала б можливість з єдиних методологічних позицій вирішувати питання вдосконалення системи технічного обслуговування та ремонту, тобто обґрунтовано вибирати періодичність та обсяг планових ремонтів локомотивів будь-яких серій відповідно до конкретних умов їх експлуатації. Навіть у межах однієї ділянки звернення умови роботи локомотивів істотно різні. Це відноситься до швидкостей руху, маси поїздів, станом колії та ін. Тому напрацювання деталей до граничного стану є випадковою величиною. Очевидно, що визначення термінів ремонту деталей і вузлів локомотива вимагає використання методів теорії ймовірностей і матема-

тичної статистики. Такий підхід дозволить побудувати математичну модель процесу відмов, зносу або старіння деталей і вузлів, визначити числові характеристики закону розподілу ресурсу і з урахуванням технічних і економічних факторів встановити терміни планової їхньої заміни або ремонту. [17]

Запобігання відмов рухомого складу в системі технічного обслуговування і ремонту найбільш результативно досягається тоді, коли вдається виявити втрату працездатності обладнання на самих ранніх її стадіях. Це можливо забезпечити шляхом використання технічної діагностики в якості складової частини системи обслуговування і ремонту локомотивів. Від того, наскільки система діагностування здатна виявляти ті елементи устаткування, які наближаються до свого граничного стану, залежить ефективність планово-запобіжної системи технічного обслуговування і ремонту локомотивів в цілому.

Іноді висловлюється думка, що розвиток засобів технічного діагностування та їх широке застосування в локомотивному господарстві дозволить цілком перейти від планово-попереджувальної системи до ремонту за потреби, або за технічним станом локомотивів. Однак це може бути застосовано тільки до порівняно простим пристроям, елементи яких можна відновлювати незалежно від інших.

Для оздоровлення більшої частини агрегатів і вузлів локомотивів, особливо механічного устаткування, необхідна постановка локомотива в депо з вилученням його з експлуатації та проведення трудомістких монтажних-демонтажних робіт. Виконання таких робіт при ремонті кожного вузла окремо призвело б до значного збільшення часу знаходження локомотива у ремонтах і підвищенню їх вартості. Тому при постановці локомотива в ремонт через відмови будь-якого пристрою або вичерпання його ресурсу доцільно відновлювати не тільки цей пристрій, а й інші вузли і агрегати, ресурс яких ще не вичерпаний, але наближається до граничного значення. Така система, будучи планово-попереджувальною, одночасно враховує фактичний стан обладнання.

Система технічного обслуговування та ремонту, локомотивів з урахуванням їх фактичного стану повинна бути заснована на вичерпній та достовірній

інформації про устаткування кожного локомотива. Найбільш ефективним способом отримання такої інформації є технічне діагностування з використанням інформаційних вимірювальних систем, мікропроцесорної техніки, персональних ЕОМ та автоматизованих робочих місць.

Аналіз даних про несправності по мережі залізниць України, показує, що кількість непланових ремонтів (НР) електровозів ВЛ8 збільшується у зв'язку з несправностями якорів тягових електродвигунів (ТЕД), бандажів і буксових вузлів колісних пар, електричної апаратури. [12]

Таблиця 2.1 – Процентне співвідношення непланових ремонтів тягових електродвигунів по їх основним конструктивним елементам

ТЕД%	2005	2010	2014	2015
Якір	70,5	73,5	69,5	64,4
Полюса, обмотки	11,6	8,55	10,5	16,8
З'єднання, кабелі	8,53	6,84	16,8	9,9
МЯП	9,3	11,1	3,16	8,91
Всього	100	100	100	100

Аналіз непланових ремонтів електровозів ВЛ8 депо показав наступне (табл.2.1; рис.2.1), що найбільша кількість непланових ремонтів припадає на інше обладнання електровозів, яке у % від загальної кількості НР локомотива знаходиться в межах 20% - 51% відповідно по роках експлуатації (2005 р. - 2015 р.). Якщо характеризувати в цілому НР по іншим видам обладнання, то спостерігається тенденція щодо зменшення НР починаючи з 2005р. і до 2015р., що не скажеш про ТЕД де НР в порівнянні з початком спостережень склали 14,7%, значно зросли і 2015 р. склали вже 23,0% від загального числа НР електровозів.

Відносною стабільністю з НР має механічне обладнання, де в середньому НР за період спостережень складають 24% від загального числа НР електровозів.

Тоді особливу увагу необхідно звернути на ТЕД, де спостерігається тенденція збільшення НР.

Обов'язковою умовою відбору локомотива для збору статистики була умова, що локомотив пройшов капітальний ремонт (КР) та електричні двигуни повністю відновлені. Як виявилось, опір ізоляції, виміри якого проводяться мегомметром з відносною точністю, не має усталеної закономірності і не підпорядковується жодному із законів опису. Тобто цей параметр не інформативний з точки зору діагностування і прогнозування стану ізоляції котушок. Були спроби встановити залежність опору ізоляції від пробігу і посезонно експлуатації зима-літо (табл.2.2, 2.3), що також не дало очікуваних результатів.

Таблиця 2.2 - Зміна опору ізоляції обмоток збудження головних полюсів ТЕД в залежності від пробігу(літо)

Пробіг вагону (літо)	Опір ізоляції обмоток збудження полюсів ТЕД, МОм			
	1-2	3-4	5-6	7-8
0	6	8	6	10
53917	8	8	10	10
67814	8	8	10	10
82604	6	6	8	6
92484	8	10	10	8
145210	8	10	12	8
160047	6	6	8	6
169816	8	9	10	10
180272	5	5	10	10
234210	10	10	10	10
248464	6	6	8	8
265817	12	10	12	12
278494	15	10	12	12
296817	8	8	10	10

Таблиця 2.3-Зміна опору ізоляції обмоток збудження головних полюсів ТЕД в залежності від пробігу(зима)

Пробіг вагону (зима)	Опір ізоляції обмоток збудження полюсів ТЕД, МОм			
	1-2	3-4	5-6	7-8
11894	7	8	8	7
21875	8	10	8	8
33811	6	6	8	10
43564	7	7	9	10
105810	6	6	8	6
118472	8	9	9	10
129611	8	9	8	8
193281	9	10	8	10
205169	8	10	8	9
218047	7	7	16	16
309642	6	8	6	6
318911	6	6	8	8

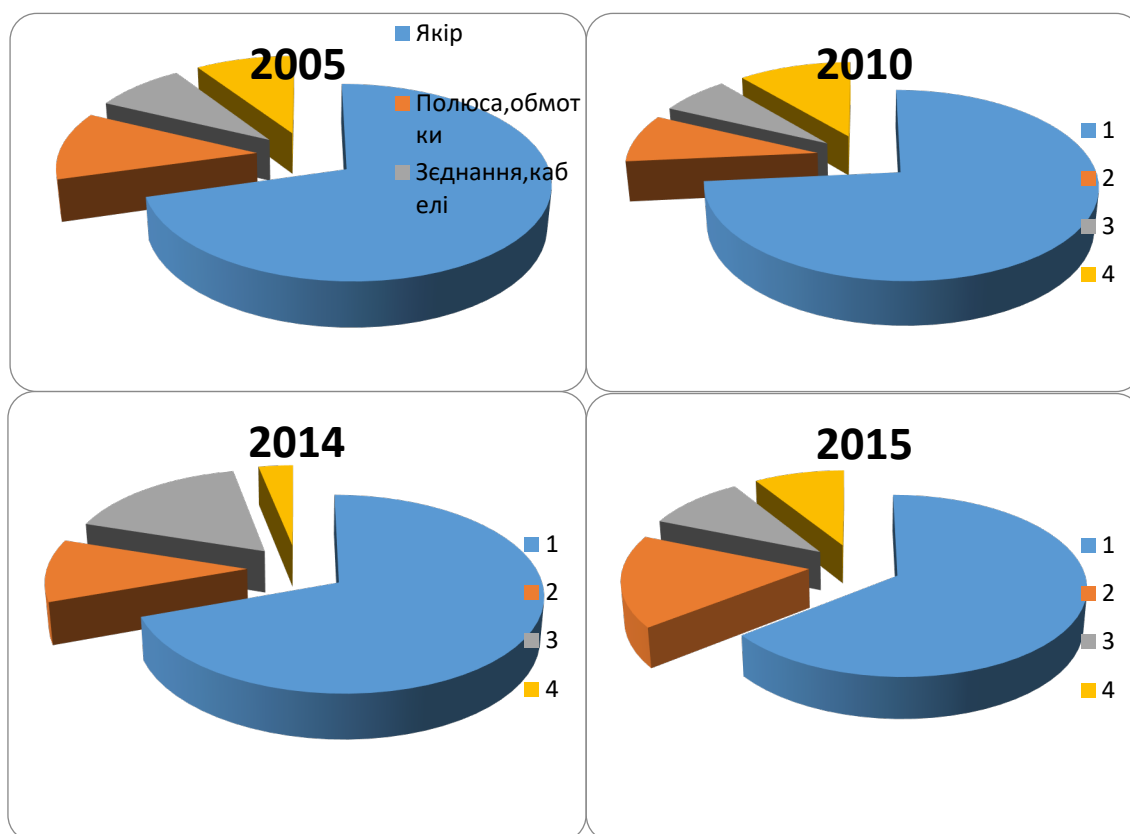


Рисунок.2.1. Діаграма розподілу непланових ремонтів електровозів по рокам експлуатації

Розділ 3

3. ПРИСТРІЙ РЕЄСТРАЦІЇ ЗВОРОТНОЇ НАПРУГИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ КОРПУСНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

3.1 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НЕ РУЙНУЮЧОГО КОНТРОЮ ІЗОЛЯЦІЇ

Діелектрична проникність і тангенс кута діелектричних утрат є найважливішими характеристиками діелектриків, тому що характеризують:

ε – здатність діелектрика до створення електричної ємності;

$\operatorname{tg} \delta$ – величину потужності, що розсіюється в діелектрику.

Ці характеристики визначаються складом і структурою діелектрика і залежать від багатьох факторів: агрегатного стану діелектрика, температури, вологості, частоти прикладеного полюси й ін. Характер зміни ε і $\operatorname{tg} \delta$ від температури і частоти полюси різний для різних видів поляризації і для кожного діелектрика визначається домінуючим у ньому видом поляризації. За часом устанавлення розрізняють дві групи поляризації:

- миттєва поляризація, що відбувається майже без втрат енергії (електронна й іонна);
- уповільнена поляризація, що супроводжується розсіюванням енергії у виді тепла (дипольно-релаксаційна, іонно-релаксаційна, спонтанна, резонансна й ін.).

Основними видами поляризації являються:

- електронна – пружний зсув електронних оболонок атомів, іонів під дією електричного полюси. Час устанавлення поляризації (час релаксації) дорівнює $10^{-15} - 10^{-14}$ сек. Цей вид поляризації буває у всіх діелектриків;
- іонна – зсув пружний зв'язаних іонів під дією електричного полюси на відстань менше параметра ґрати. Час релаксації 10^{-13} сек. Цей вид поляризації характерний для твердих неорганічних діелектриків іонної будівлі з щільним упакуванням іонів;

- дипольно-релаксаційна - поворот, орієнтація дипольних молекул твердих неорганічних діелектриків. Вона характерна для полярних матеріалів. Час релаксації 10^{-10} сек. і більш;

- іонно-релаксаційна – перекидання слабо зв'язаних іонів на відстані, що перевищують постійну ґрати. Спостерігається в основному в неорганічних аморфних діелектриках (скла, деякі кераміки) і в кристалічних речовинах з нещільним упакуванням іонів (муллiт і ін.);

- спонтанна (мимовільна) – характерна для сегнетоелектриків – діелектриків, що мають нижеточки Кюрі доменна будівля, тобто області з мимовільною поляризацією зарядів. Під час відсутності електричного поля полярні моменти доменів спрямовані безладно і їхня сума дорівнює нулю. Під дією електричного поля відбувається орієнтація електричних доменів сегнетоелектриків. Крім того, на опір ізоляції впливають багато факторів, у тому числі зволоження, забруднення й ін. У цілому ефективність діагностики забезпечується тільки комплексною оцінкою результатів контролю. Стає можливим визначити найбільш ймовірні види і причини несправностей електроустаткування. У результаті поляризації кількість зарядів на поверхні діелектриків зростає. Для характеристики діелектриків з погляду поляризації, тобто здатності їх накопичувати заряди, користаються поняттям відносної діелектричної проникності ϵ .

Діелектричну проникність речовини можна визначити як число, що показує, у скількох разів збільшиться ємність вакуумного конденсатора, якщо, не змінюючи розмірів і форми конденсатора, заповнити його цією речовиною.

$$C = \epsilon C_0 , \quad (3.1)$$

де: C_0 - ємність конденсатора, між обкладинками яких знаходиться вакуум;

C - ємність конденсатора, між обкладинками яких знаходиться діелектрик.

При заданих геометричних розмірах і формі конденсатора його ємність прямо пропорційна значенню ε діелектрика. Так, ємність плоского конденсатора виразиться в системі СІ формулою:

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 C_0 / h , \quad (3.2)$$

де: h — товщина діелектрика, м;

S - площа обкладинок, m^2 ;

$\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — електрична постійна, ε — діелектрична проникність, величина безрозмірна, що має значення більше одиниці.

Значення діелектричної проникності, величина і знак температурного коефіцієнта діелектричної проникності (ТК), залежать від частоти польови, напруженості, вологості, тиску.

Найменшими значеннями ε володіють нейтральні (неполярні) діелектрики, що складаються з неполярних симетрично побудованих молекул:

-газоподібні (повітря, азот) з $\varepsilon \approx 1$;

-рідкі (трансформаторна олія, фторорганічна рідина й ін.) з $\varepsilon \approx 1,8 - 2,5$;

- тверді — в основному органічні полімери (фторопласт — 4, поліетилен, поліпропілен, полістирол, поліізобутилен) з $\varepsilon \approx 1,9 - 2,4$.

Нейтральні діелектрики мають тільки електронну поляризацію.

Полярні діелектрики, що складаються з дипольних молекул (несиметрично побудовані молекули), крім електронної поляризації володіють дипольно-релаксаційною (тверді — дипольно-радикальної) поляризацією, тому ε їхній більше (3 — 8). До полярних діелектриків відносяться:

- газоподібні (аміак і ін.), їх ϵ невеликий ≈ 1 через низьку щільність газів;

- рідкі (совол, совтол і ін.)

- тверді — в основному на основі органічних речовин: матеріали на основі целюлози — папір, картон; полярні полімери — поліхлорвініл, поліметилметакрилат (оргскло), поліетилентерефталат (лавсан), поліаміди (капрон, нейлон і ін.), полііміди, фенолформаладегідні, епоксидні й ін. смоли.

Тверді неорганічні діелектрики, що мають іонну структуру, можуть бути розділені на три групи:

- матеріали кристалічні з щільним упакуванням іонів, що мають електронну й іонну поляризацію, ϵ цих діелектриків лежить у межах 5 — 8. До них відносяться слюда, кварц, алюмінооксид (Al_2O_3), а також рутил (Ti_2) і кераміки на його основі (тиконди), що мають підвищене значення ϵ (до 150);

- аморфні діелектрики з електронної, іонної і іонно-релаксаційної поляризаціями, що мають значення ϵ у межах 5 — 20 (неорганічні стекла, електрофарфор, радіофарфор, мікалекс);

- сегнетоелектрики з електронною, іонною, іонно-релаксаційною і спонтанною поляризаціями. Для них характерні найбільші значення $\epsilon \approx 500 - 2000$ і більш.

У високомолекулярних полімерних з'єднань ϵ у залежності від частоти може змінюватися східчасто, зниження ϵ при різних частотах f_{01} , f_{02} , f_{03} і т.д. обумовлено утрудненням орієнтації різних полярних груп, що мають різний час релаксація.

Другою найважливішою характеристикою діелектриків є тангенс кута діелектричних утрат $\text{tg } \delta$, що характеризує втрати енергії в електроізоляційних матеріалах.

Діелектричні втрати — це електрична потужність, що розсіюється в діелектрику, що знаходиться в електричному полі, і викликаюча його нагрівання.

У зв'язку з тим, що $\operatorname{tg} \delta$ не дає кількісного визначення величини розсіяної в діелектрику потужності для обчислення останньої, користаються формулою:

$$P = E^2 \cdot f \cdot \frac{\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta}{1,8 \cdot 10^{10}} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}, \quad (3.3)$$

де: E — напруга, В/м

f — частота струму, Гц

З формули видно, що за інших рівних умов діелектричні втрати тим більше, чим більше ε і $\operatorname{tg} \delta$ матеріалу.

Добуток $\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$ називають коефіцієнтом діелектричних утрат. Величина діелектричних утрат пропорційна квадрату прикладеної напруги і частоті струму.

Вплив агрегатного стану на величину $\operatorname{tg} \delta$. Діелектричні втрати в газах малі, оскільки втрати в них обумовлені тільки електропровідністю, а вона в газів мала ($\gamma = 10^{-8} \cdot 10^{-20} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$), орієнтація ж дипольних молекул полярних газів при їхній поляризації не супроводжується діелектричними втратами. Тому при напруженостях поля нижче значення, необхідного для розвитку ударної іонізації молекул газу, газ можна розглядати як ідеальний діелектрик з $\operatorname{tg} \delta = 10^{-4} \text{ — } 10^{-7}$.

Діелектричні втрати рідких діелектриків залежать як від ступеня забруднення, тобто від струму наскрізної провідності, так і від полярності, наприклад, у нейтральних очищених діелектриків $\operatorname{tg} \delta = 10^{-4}$, а в полярних $\operatorname{tg} \delta = 10^{-3} \text{ — } 10^{-1}$.

У твердих чистих нейтральних діелектриках (поліетилен, фторопласт-4 і ін.) спостерігається в основному електронна поляризація і $\text{tg } \delta$ мала (0,0001 — 0,0005). У полярних діелектриків (поліхлорвініл, поліметилметакрилат, фенолформальдегідні смоли й ін.), у яких електропровідність вище, ніж у нейтральних і, крім миттєвої, відбувається ще дипольно-релаксаційна поляризація, що супроводжується значними втратами енергії; $\text{tg } \delta$ вище і складає 0,001 — 0,01.

У неорганічних кристалічних діелектриків із щільним упакуванням іонів у відсутності домішок, що спотворюють ґрати, відбуваються в основному миттєві поляризації і $\text{tg } \delta$ малий, приблизно 0,0002. У кристалічних діелектриках з нещільним упакуванням іонів і в аморфних неорганічних матеріалах (наприклад, лужне скло) $\text{tg } \delta$ вище через великий струм наскрізної провідності і іонно-релаксаційної поляризації і складає приблизно 0,01 і більше.

У сегнетоелектриків $\text{tg } \delta$ великий, складає приблизно 0,01, унаслідок спонтанної поляризації. На величину діелектричних утрат діелектриків впливають умови експлуатації, зокрема, такі як частота струму, температура, вологість. Розглянемо частотні залежності різних типів діелектриків.

Для нейтральних діелектриків утрати не залежать від частоти прикладеної напруги; $\text{tg } \delta$ зменшується з частотою по гіперболічному закону.

При низьких частотах діелектричні втрати близькі до втрат при постійній нарузі. При підвищенні частоти вони ростуть доти, поки поляризація устигає впливати за зміною полючи. Коли частота стає настільки велика, що дипольні молекули вже не встигають цілком орієнтуватися в напрямку полючи, $\text{tg } \delta$ зменшується, а втрати стають постійними.

Порівнюючи залежність утрат від частоти для нейтральних і полярних діелектриків можна побачити, що втрати в нейтральних діелектриках менше ніж у полярних і не залежать від частоти, тоді як у полярних вони збільшуються з ростом частоти.

Мостові схеми, даючи більш точні результати вимірів, вимагають дуже ретельного екранування і попереднього зрівноважування моста з метою усу-

нення впливу паразитних ємностей і власних індуктивностей елементів моста, частотний діапазон можливих вимірів у них значно менше, ніж у резонансних схемах.

Тому на високих частотах частіше використовують резонансні методи, що більш прості і симетричні, і, отже, відрізняються меншою точністю. Розрізняють генераторні і контурні методи.

Контурні методи засновані на використанні одного генератора високої частоти. З його коливальним контуром, у який уводять випробуваний конденсатор, генератор працює в режимі незмінного струму.

Генераторні методи пропонують або наявність двох генераторів (однією зразкового з фіксованою частотою і другого робітника), або наявність одного генератора, струм якого змінюється в залежності від параметрів випробовуваного зразка.

При використанні контурних резонансних методів визначення C_x і $\text{tg } \delta$ роблять шляхом варіації чи частоти шляхом варіації реактивної провідності.

Метод варіації (зміни) частоти вимагає наявності генератора високої частоти і точного чи частотоміра хвилеміра. Джерело живлення, постачений хвилеміром, приєднують до рівнобіжного коливального контуру, що містить індуктивність і постійну ємність. Змінюючи частоту, набудовують контур у резонанс, якому відповідає максимум показань вольтметра. Приєднуючи до контуру зразок, знову набудовують контур у резонанс шляхом зміни частоти.

Метод варіації реактивної провідності має та перевага, що у формули для розрахунку C_x і $\text{tg } \delta$ не входить частота, і, отже, не потрібно її зміна чи стабілізація. Зміна (варіація) реактивної провідності здійснюється звичайно виміром ємності коливального контуру. У схемі використовується високочастотний генератор з фіксованою частотою. З ним слабо зв'язаний вимірювальний коливальний контур, що містить індуктивність і перемінний конденсатор, паралельно якому приєднується випробовуваний зразок.

Щоб тягові електродвигуни (ТЕД), як і інше електроустаткування електровозів, працювали безаварійно, їхня ізоляція повинна бути надійною. У про-

цесі експлуатації вона, природно, старіє, погіршуються її властивості, електрична міцність знижується. У деяких випадках зміна властивостей ізоляції носить необоротний характер і завершується пробоем. Однак у більшості випадків наслідку старіння можна усунути відбудовним ремонтом ізоляції.

У зв'язку з цим, щоб уникнути раптових пробоеів і підтримки надійності електроустаткування, стан ізоляції періодично необхідно контролювати, а погіршення її властивостей компенсувати періодичними планово-попереджувальними ремонтами на основі відповідного циклу з призначеним міжремонтним ресурсом. На жаль, при цьому не враховуються реальні умови експлуатації, профілактика і ремонт ведуться за часом напрацювання.

Так, відповідно до правил ремонту електричних машин електрорухомого складу тягові двигуни електровозів періодично в плановому порядку проходять поточний (ПР-3), середній (СР) і капітальний (КР) ремонти. Правила встановлюють наступну послідовність видів ремонту електричних машин в одному циклі від початку експлуатації (ПЕ) (капітального ремонту) до наступного капітального ремонту:

ПЕ -> ПР-3 -> СР -> ПР-3 -> КР.

У середньому по мережі доріг для електричних машин електровозів норма пробігу між видами ремонту встановлюється рівної 350 тис. км \pm 20 %.

Поточний ремонт ізоляції містить у собі її чищення, а іноді і просочення. Середній — чищення, просочення і сушіння. Капітальний ремонт ізоляції передбачає повну її заміну.

Оскільки обсяг робіт при капітальному ремонті значно більше, ніж при середньому, то його вартість, як правило, на порядок вище. Умови експлуатації ТЕД не однакові, отже, не однаково відбувається старіння ізоляції і не всякий електродвигун із пробігом 1400 тис. км обов'язково має потребу в заміні обмотки. У деяких випадках виявляється достатнім більш дешевий середній ремонт ТЕД, тобто чищення, просочення і сушіння ізоляції обмотки. Особливо актуальної стає така постановка питання в сучасних умовах, коли відчувається гостра недостача міді й ізоляційного матеріалу.

Для того щоб перейти від системи обслуговування по пробігу до альтернативного — по реальному технічному стані, потрібні його об'єктивні оцінки.

Для цього необхідно розробити нові методи контролю й оцінки стану ізоляції електроустаткування. Передові фірми світу в останні роки активно впроваджують у практику нові методи діагностики з мінімальним розбиранням електроустаткування, одержуючи при цьому більше інформації, чим при повному розбиранні.

Наявні в розпорядженні експлуатаційного персоналу технічні засоби діагностики не задовольняють цілком перерахованим вимогам. На сьогодні немає порівняно просто реалізованих на практиці надійних критеріїв для висновку про стан ізоляції. Придатність корпусної ізоляції обмотки якоря ТЕД до подальшої експлуатації визначається мегомметром по величині її опору. Це звичайно, ненадійний критерій. Вимір опору дозволяє виявити лише грубі дефекти. Крім того, на точність виміру впливають багато факторів, у тому числі зволоження, забруднення і т.д.

Ефективність діагностики може забезпечуватися тільки комплексним характером результатів контролю. Головна мета при цьому — виявлення найбільш ймовірних видів і причин виявлених і прогнозованих несправностей електроустаткування.

Як показали дослідження, проведені нижегородськими вченими Рготупса і працівниками Московського електромеханічного ремонтного заводу (МЕМ-РЗ), середня величина однохвилинного значення опір ізоляції, тому що якорів тягових двигунів типу НБ-406, що прийшли в ремонт, складає 336 Мом. Після середнього ремонту воно досягає 383 Мом, а після капітального — 260 Мом. Таким чином, приведені результати наочно підтверджують: судити про стан ізоляції тільки по величині опору не можна.

Вимір часткових розрядів, що є основною причиною електричного старіння внутрішньої ізоляції, дає більш об'єктивну інформацію. Однак воно дуже складно і має малу перешкодозахищеність і тому в основному застосоване лише в лабораторіях, тобто мало придатно для промислових умов.

Більш об'єктивні критерії оцінки стану можна одержати, використовуючи явище абсорбції, тобто поглинання заряду усередині ізоляції при її підживленні від джерела постійної напруги. По величині поглиненого заряду, названого зарядом абсорбції, судять про ступінь старіння ізоляції і ресурсі, що залишився, її роботи. Величину поглиненого заряду можна визначити по струму абсорбції. Він спостерігається нетривалий час після підключення діелектрика до джерела постійної напруги. Тік абсорбції спадає згодом до нуля по експонентному законі, після чого залишається постійний струм наскрізного витоку.

Зі старінням ізоляції струм абсорбції зменшується. Отже, по ньому можна судити про стан ізоляції і ступеня її старіння. Для кількісної оцінки струму абсорбції вимірюють коефіцієнт останньої K_a дорівнює відношенню R_{60}/R_{15} . Зі зменшенням струму абсорбції її коефіцієнт також знижується.

Як показали дослідження, у нових тягових двигунів типу НБ-406 (минулих капітальний ремонт із повною заміною обмотки), середнє значення коефіцієнта абсорбції склало 3,35. Після середнього ремонту промивання, (просочення і сушіння ізоляції) коефіцієнт зменшується до 2,74. У двигунів, що прийшли в ремонт: (до ремонту і незволожених), K_a склав 1,46.

Таким чином, даний коефіцієнт дає більш об'єктивну оцінку стану ізоляції в порівнянні з величиною її опору, тому що він враховує заряд абсорбції. Однак контроль останнього по струму абсорбції незручний тим, що цей струм малий, і промислові перешкоди сильно його спотворюють. Виміри здійснюються з великою погрішністю. Крім того, приходится захищати вимірювальні прилади від сильного кидка струму заряду геометричних емностей ізоляції. Перед виміром струмів витоку ізоляція повинна бути добре виряджена, тому що наявний у ній внутрішній заряд може спотворити результати виміру. Тому зручніше користатися іншими методами виявлення явища абсорбції, наприклад, методом виміру зворотної напруги.

Досвід, у якому воно спостерігається, полягає в наступному. Протягом однієї хвилини ізоляція заряджається при постійній напрузі, щоб у ній нагромадився заряд абсорбції. Потім джерело постійної напруги відключається, і електро-

ди ізоляції замикаються на дуже малий проміжок часу Dt , після чого знову розмикаються. За час Dt геометрична ємність цілком розряджається, а заряд абсорбції, накопичений усередині ізоляції, залишається практично незмінним. За рахунок даного заряду на ізоляції повільно починає зростати напруга, яку і називають зворотною. Вона спочатку зростає, досягаючи максимуму, а потім поступово зменшується. По величині і формі зворотної напруги можна судити про стан ізоляції.

Як показали дослідження, про старіння ізоляції без її руйнування можна судити по характері процесів поляризації, а саме по величині зворотної напруги, як по жодному іншому параметру. Це доводиться наступними положеннями. Зі збільшенням пробігу ізоляція зношується, її електрична міцність знижується. З ростом пробігу зменшується і зворотна напруга, що може характеризувати стан ізоляції навіть краще, ніж пробивна напруга.

Справа в тому, що пробивна напруга характеризує лише короточасну міцність ізоляції й у ряді випадків може бути досить високої. Однак електрична міцність при тривалому впливі напруги виявляється недостатньою через електричні характеристики ізоляції, що погіршилися. Зокрема, у процесі старіння матеріалу збільшуються діелектричні втрати, що можуть привести до теплового пробою діелектрика при тривалому додатку напруги.

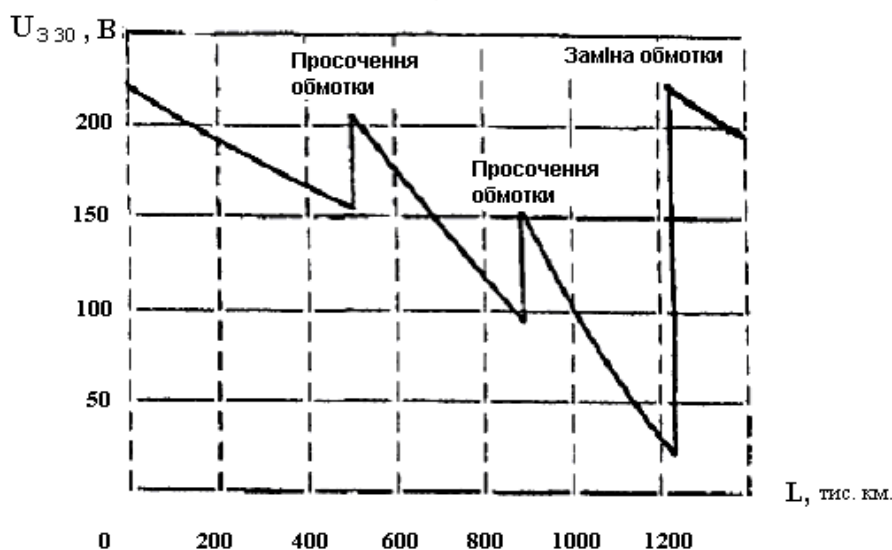


Рисунок 3.1- Залежність зворотної напруги U_3 двигунів від пробігу з урахуванням ремонтів

З рис. 3.1. видно, що зі збільшенням пробігу ізоляція старіє, і зворотна напруга знижується. Середній ремонт відновлює властивості ізоляції і підвищує зворотну напругу. Після середніх ремонтів виконується капітальний ремонт, що цілком відновлює якість ізоляції.

Для кожного виду ізоляції існує внутрішній ресурс, що характеризується її здатністю протягом визначеного часу витримувати прикладену напругу і протистояти впливу процесів, що руйнує, що протікають при цьому. Внутрішній ресурс визначається кількістю речовини, що повинна бути зруйнована для того, щоб привести до різкого зниження електричних параметрів при наступному пробігу. Внутрішній ресурс у кожного виду нової ізоляції — величина постійна і, природно, він поступово зменшується з ростом пробігу. Знижується і зворотна напруга. Отже, величина останньої краще, ніж який-небудь інший параметр, характеризує старіння ізоляції. [1]

3.2 ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ. ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ

Для об'єктивної оцінки параметрів з використанням явищ абсорбції служить пристрій, принципова схема якого приведена на мал. 3.2. Устаткування містить у собі: високовольтне стабілізоване джерело живлення (ВДЖ) з вихідною напругою 700 В, стабілізоване джерело живлення 12 В (ДЖ), дільник напруги на резисторах R_{d1} і R_{d2} , аналого-цифровий перетворювач (АЦП), індикатор (І), знімну пам'ять (ЗП), реле часу (РЧ), а також два високовольтних реле $P1$ і $P2$, якими керують операційні підсилювачі $DA1$ і $DA2$. Схема заміщення неоднорідної ізоляції тягового двигуна представлена конденсатором C_x , зашунтованим резистором R_x .

ВДЖ виробляє напругу 700 В, необхідну для створення зворотної напруги в обмотках тягових електродвигунів електровозів. ДЖ служить для живлення різних елементів схеми. АЦП використовується для перетворення миттєвого значення зворотної напруги в цифровий код для наступного запису останнього в знімну пам'ять. Знімна пам'ять необхідна для переносу отриманих результатів

вимірів у лабораторію для її наступного аналізу і збереження. У ході проведення іспитів можна спостерігати за зміною зворотної напруги. Для цього використовується індикатор (I). Реле часу виконує функцію керування відповідно до алгоритму виміру, а саме задає тимчасові інтервали підключення обмотки тягового електродвигуна до різних вузлів схеми. Операційні підсилювачі DA1 і DA2 використовується для створення напруги необхідного для спрацьовування реле P1 і P2.

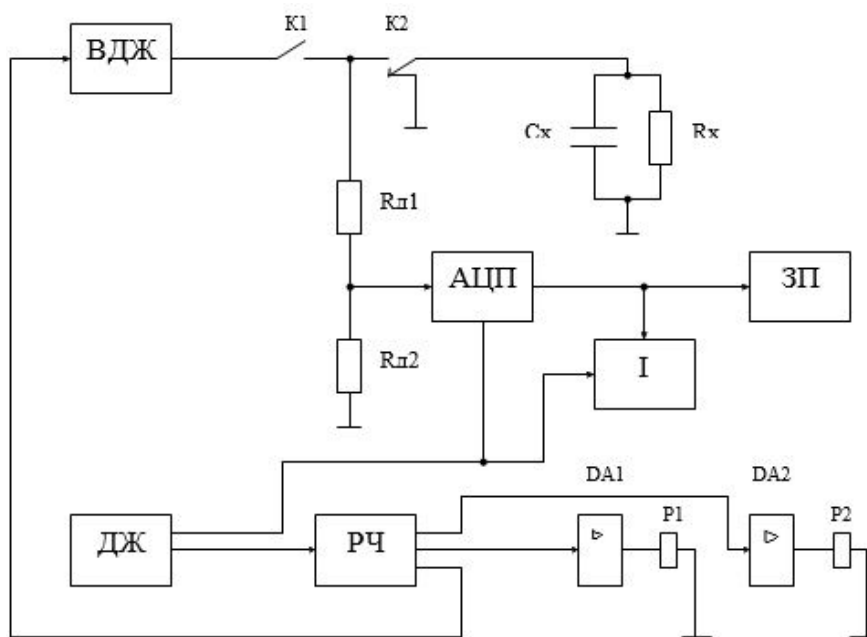


Рисунок 3.2- Пристрій контролю ізоляції

3.3 ОПИС РОБОТИ ПРИСТРОЮ

Процес контролю ізоляції складається з чотирьох циклів. У першому — оба реле знеструмлені, і ізоляція протягом однієї хвилини розряджається на «землю». В другому — вони спрацьовують, і ізоляція протягом однієї хвилини заряджається від джерела високої напруги. В міру заряду вимірюється її традиційний параметр — опір. У третьому циклі ізоляція короткочасно (протягом 5 с.) розряджається на «землю». У цей час обоє реле P1 і P2 знеструмлені. Протягом даного короткочасного розряду заряди, що нагромадилися на геометричній ємності, устигають стекти на «землю», а заряди абсорбції усередині ізоляції на границі роздгнула двох середовищ стекти на землю не встигають. За рахунок

цих зарядів у четвертому циклі після відключення ізоляції від «землі» на ній утвориться напруга, називана зворотною. Воно являє собою аперіодичну функцію часу, обумовлену параметрами R_x і C_x . Як показали дослідження, найбільш інформативною величиною є зворотна напруга, обмірювана через 30 с після відключення ізоляції від «землі». Вона позначається U_{30} .

3.4 НОВИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

Структурна схема пропонованого пристрою для контролю якості електричної ізоляції представлена на рис. 1. Пристрій містить джерело випробувальної напруги 1 з керуючим входом 2, по якому встановлюється значення вихідної напруги джерела випробувальної напруги, і входом 3 для швидкодіючого відключення джерела, безконтактне струмове реле 4, еталонний резистор 5, обмежувач напруги 6, зарядний ключ 7, масштабний перетворювач напруги 8, додатковий резистор 9, додатковий ключ 10, розрядний ключ 11, розрядний резистор 12, індуктивну котушку 13, вихідні висновки 14 і 15 пристрою. До вихідних висновків пристрою підключають «землю» і об'єкт випробування, що представляє собою паралельне з'єднання конденсатора, ємність якого дорівнює ємності випробуваного об'єкта, і резистора, що представляє собою опір витoku ізоляції випробуваного об'єкта.

Крім того, пристрій містить двухходових керований комутатор 16 з перших 17 і другим 18 інформаційними входами і керуючим входом, аналого-цифровий перетворювач 19, пристрій ручного введення інформації від органів управління (клавіатура) 20, програмований контролер (комплексний цифровий елемент вищого функціонального рівня) з двома каналами введення інформації 22 та 23 і двома каналами 24 і 25 виведення інформації.

Канал 22 служить для введення діагностичної інформації, а канал 23 - для введення інформації від органів ручного управління - клавіатури), канал виведення 24 служить для виведення керуючих команд, а канал 25 - для виведення діагностичної інформації. Аналоговий вихідний канал 26 служить для управ-

ління напругою джерела живлення, а дискретний вихідний канал 27 - для управління двухходових комутатором. Пристрій сполучення 28 з об'єктом управління служить для включення обмоток високовольтних реле. Пристрій відображення інформації 29 призначений для зчитування результатів вимірювань.

Головна ізоляція високовольтного електроустановки, як правило, виконується з декількох діелектриків з різними фізичними властивостями і електротехнічними характеристиками, що робить ізоляцію неоднорідною і дозволяє отримати найбільш сприятливі властивості ізоляційної конструкції. У такій комбінованій ізоляції спостерігається специфічне явище, яке полягає в тому, що на кордоні розділу діелектриків накопичуються заряди, звані зарядами абсорбції. Це явище називається структурної або міграційної поляризацією. Про процес структурної поляризації можна судити за коефіцієнтом абсорбції, напрузі саморозряда і поворотного напрузі [3].

Для вимірювання напруги саморозряда ізоляцію необхідно зарядити від високовольтного джерела живлення. Після цього заряджену ізоляцію відключають від джерела харчування і підключають до вимірювального приладу. Напруга на ізоляції U_c при розряді її на власний опір витoku називають напругою саморозряда. Ще одну напругу U_b вимірюють на ізоляції після відключення зарядженої ізоляції від джерела напруги і короткочасного її розряду на землю [3].

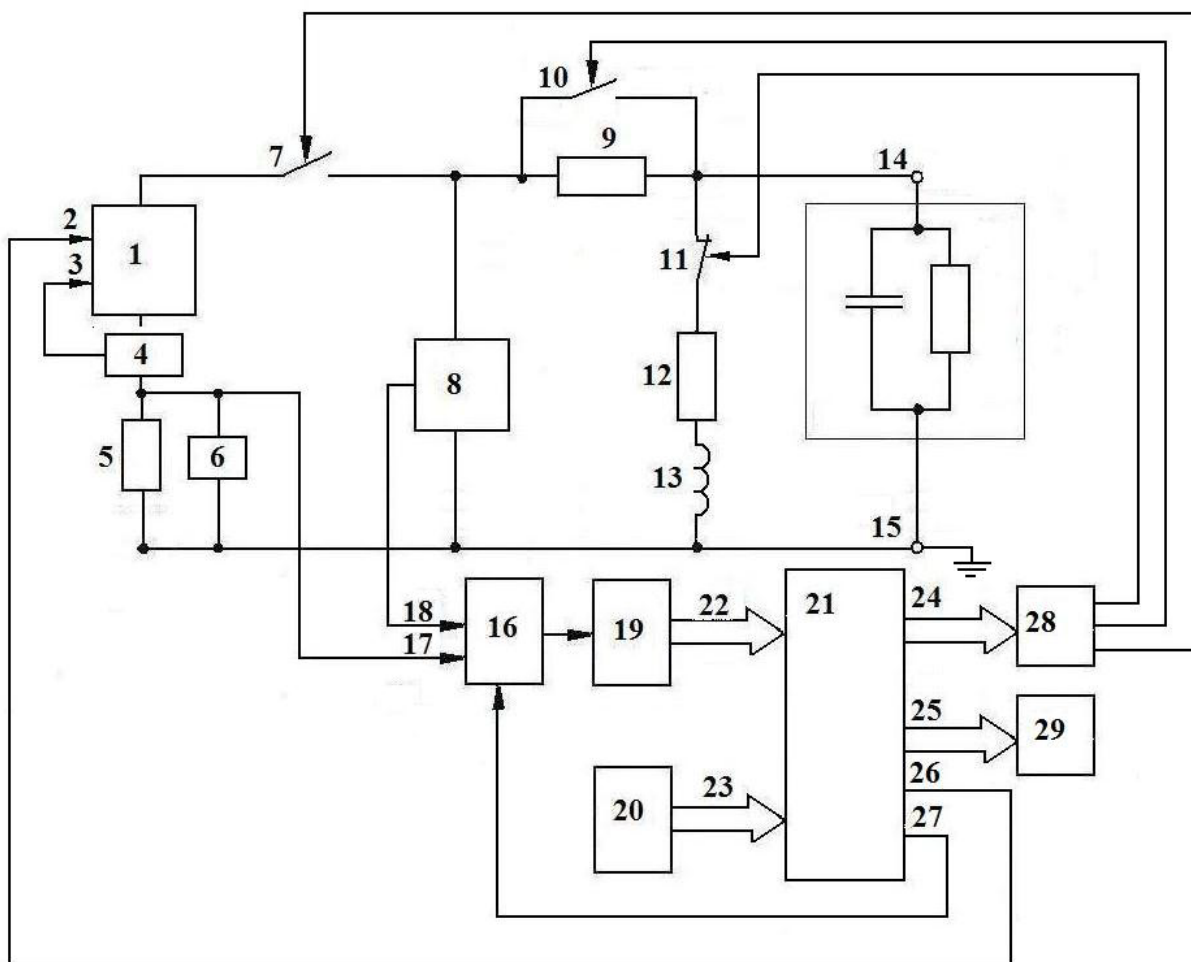


Рис.3.4 Структурная схема нового устройства для контроля качества электрической изоляции

3.5 РОЗРАХУНОК ТРАНЗИСТОРНОГО СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ

Завдання: Розрахувати транзисторний стабілізатор напруги компенсаційного типу по наступним вихідним даним:

- 1) номінальна вихідна напруга стабілізатора $U_{\text{вих}}=12 \text{ В}$ з плавним регулюванням у межах $\pm 2 \text{ В}$;
- 2) номінальний струм навантаження $I_{\text{вих}}= 0,2 \text{ А}$;
- 3) припустимі відхилення напруги на вході стабілізатора від номінального значення у бік збільшення ($a_{\text{вх}}$) і у бік зменшення ($b_{\text{вх}}$) складають $a_{\text{вх}}= b_{\text{вх}}= 10\%$;

4) припустимі відхилення вихідної напруги від номінального $a_{\text{вих}} = b_{\text{вих}} = 0,2 \%$.

У результаті розрахунку необхідно визначити тип транзисторів і стабілітрона, величини всіх деталей, що входять у схему стабілізатора і забезпечують заданий режим його роботи, необхідну величину вхідної напруги, коефіцієнт стабілізації схеми по напрузі і к. п. д. Стабілізатора. [11]

ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ.

1. Визначаємо необхідне значення коефіцієнта стабілізації по формулі:

$$K_{\text{ст}(u)\text{необх}} = \frac{a_{\text{вх}} + b_{\text{вх}}}{a_{\text{вих}} + b_{\text{вих}}} = \frac{10 + 10}{0,2 + 0,2} = 50. \quad (3.4)$$

2. Знаходимо величину мінімальної напруги на вході стабілізатора:

$$U_{\text{вх.мін}} = U_{\text{вих}} + U_{\text{к.е1мін}} + \Delta U_{\text{вих}}, \quad (3.5)$$

де $U_{\text{к.е1мін}}$ — мінімально допустиме напруження між емітером і колектором регулюючого транзистора, при якому робота ще відбувається на лінійній ділянці вихідної характеристики $I_{\text{к}} = f(U_{\text{к.е}})$ при $I_{\text{б}} = \text{const}$; $\Delta U_{\text{вих}}$ — відхилення напруги на виході стабілізатора від номінального.

Напруга $U_{\text{к.е1мін}}$ для більшості транзисторів не перевищує 1—3 В. При розрахунку $U_{\text{к.е1мін}}$ можна приймати рівним 3 В. Величина напруги $\Delta U_{\text{вих}}$ для нашого випадку визначається верхньою межею регулювання вихідної напруги, тобто $\Delta U_{\text{вих}} = 2$ В. Таким чином,

$$U_{\text{вх.мін}} = 12 + 3 + 2 = 17 \text{ В.}$$

Номінальна і максимальна напруги на вході стабілізатора з урахуванням припустимих відхилень вхідної напруги $U_{\text{вх}} = b_{\text{вх}} = 10\%$ відповідно рівні :

$$U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх.мін}}}{\left(1 - \frac{b_{\text{вх}}}{100}\right)} = \frac{17}{\left(1 - \frac{10}{100}\right)} = 18,9 \text{ В} \quad (3.6)$$

$$U_{\text{вх.макс}} = U_{\text{вх}} \left(1 + \frac{a_{\text{вх}}}{100}\right) = 18,9 \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 20,8 \text{ В} \quad (3.7)$$

3.Визначаємо максимальне спадання напруги на ділянці емітер — колектор регулюючого транзистора:

$$U_{\text{к.ел.макс}} = U_{\text{вх.макс}} - U_{\text{вих}} = 20,8 - 10 = 10,8 \quad (3.8)$$

4.Знаходимо максимальну потужність, що розсіюється на колекторі регулюючого транзистора:

$$P_{\text{к1макс}} = U_{\text{к.ел.макс}} \cdot I_{\text{вих.макс}}, \quad (3.9)$$

де $I_{\text{вих.макс}}$ — максимальне значення струму навантаження. Для нашого випадку (при незмінному струмі навантаження)

$$I_{\text{вих.макс}} = I_{\text{вих}} = 0,2 \text{ А}$$

Тому

$$P_{к1 \text{ макс}} = 10,8 \cdot 0,2 = 2,16 \text{ Вт.}$$

5. Вибираємо тип регулюючого транзистора. При виборі необхідно виконати умови:

$$I_{к1 \text{ макс}} \approx I_{\text{вих}} \leq I_{к1 \text{ макс. доп}} ; \quad (3.10)$$

$$U_{к.е1 \text{ макс}} \leq U_{к.е1 \text{ макс. доп}} ; \quad (3.11)$$

$$P_{к1 \text{ макс}} \leq P_{к1 \text{ макс. доп}} . \quad (3.12)$$

Користаючись довідником [12], вибираємо транзистор VT1 типу КТ816В с такими параметрами: коефіцієнт підсилення по струму $B_1 = 20$, припустиме напруга колектор — еміттер $U_{к.е1 \text{ макс. доп}} = 70 \text{ В}$, максимально припустимий струм колектора $I_{к.1 \text{ макс. доп}} = 3 \text{ А}$; максимально припустима потужність, що розсіюється на колекторі (без додаткового тепловіводу), $P_{к.1 \text{ макс. доп}} = 3 \text{ Вт}$.

Таким чином, для увібраного транзистора КТ816В умови (3.10) — (3.12) виконуються.

6. Вибираємо тип транзистора, що погодить, VT2. Транзистор VT2 призначений для узгодження великого вихідного, опору (порядку 101 кОм) підсилювача постійного струму, зібраного на транзисторі VT3, з малим вхідному опором (порядку 10 Ом) регулюючого транзистора VT1.

Крім того, транзистори VT1 і VT2, утворити складений транзистор, мають загальний коефіцієнт підсилення по струму:

$$B_{\text{сп}} = B_1 \cdot B_2 , \quad (3.13)$$

де B_1 і B_2 — коефіцієнти підсилення по струму транзисторів VT1 і VT2.

Великий коефіцієнт підсилення по струму $B_{сп}$ дозволяє значно підвищити коефіцієнт стабілізації схеми по напрузі.

$$\text{Приймаючи :} \quad I_{\kappa 2} \approx I_{e2} = I_{\delta 1}, \quad (3.14)$$

де $I_{\kappa 2}$ і I_{e2} - струми колектора і еміттера транзистора VT2; I_{δ} - струм бази транзистора VT1, і з огляду на, що :

$$I_{\delta 1} \approx \frac{I_{\kappa 1}}{B_1} \approx \frac{I_{вих}}{B_1} = \frac{200}{20} = 10 \text{ mA}, \quad (3.15)$$

одержимо $I_{\kappa 2} = 10 \text{ мА}$. Крім того

$$U_{\kappa.e2\text{макс}} \approx U_{\kappa.e1\text{макс}} = 10,8 \text{ В} \quad (3.16)$$

Таким чином, потужність, що розсіюється на колекторі транзистора VT2 дорівнює:

$$P_{\kappa 2\text{макс}} \approx U_{\kappa.e2\text{макс}} \cdot I_{\kappa 2} = 10,8 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,108 \text{ Вт} = 108 \text{ мВт}.$$

Користуючись довідником [12], вибираємо транзистор VT2 типу П201А з такими параметрами: коефіцієнт підсилення по струму $B_2 = 40$, максимальна напруга

між колектором і еміттером $U_{\kappa.e2\text{макс}} = 22 \text{ В}$, максимальний колектора $I_{\kappa.2\text{макс.доп}} = 1,5 \text{ А}$, максимально припустима потужність, що розсіюється на колекторі, $P_{\kappa.2\text{макс.доп}} = 1 \text{ Вт}$.

Оскільки $P_{к.2макс} = 0,108 \text{ Вт} < P_{к.2макс.доп} = 1 \text{ Вт}$, те транзистор VT2 обраний правильно.

7. Вибираємо тип кремнієвого стабілітрона. Як джерело еталонної напруги звичайно використовується кремнієвий стабілітрон, що повинний мати номінальну напругу стабілізації.

$$U_{ст} \approx (0,6 \div 0,7) \cdot U_{вих} = (0,6 \div 0,7) \cdot 12 = 7,2 \div 8,4 \text{ В} . \quad (3.17)$$

По довіднику вибираємо, стабілітрон типу Д808, у якого:

$$U_{ст} = U_{ет} = 8 \text{ В} ; I_{ст} = 5 \text{ ма} ; I_{ст.макс} = 33 \text{ мА} .$$

8. Знаходимо коефіцієнт розподілу напруги дільником R2, R3, R4:

$$\alpha = \frac{U_{2вих}}{U_{вих}} \approx \frac{U_{ет}}{U_{вих}} = \frac{8}{12} = 0,67 \quad (3.18)$$

9. Вибираємо тип керуючого (підсилювального) транзистора VT3. На транзисторі VT3 зібраний підсилювач, що повинний реагувати на самі незначні коливання вихідної напруги та підсилювати їх до величини достатньої для керування регулюючим транзистором. Тому керуючий транзистор повинний забезпечувати достатнє посилення сигналу по напрузі. При виборі транзистора необхідно звернути увага на величину колекторного струму $I_{кз}$. Цей струм повинний бути по можливості невеликим, але завжди перевищувати струм бази транзистора, що погодить, VT2. Звичайно величина струму $I_{кз}$ вибирається в межах $0,5 \sim 2 \text{ мА}$. Необхідне значення коефіцієнта підсилення по напрузі для керуючого транзистора можна знайти по формулі :

$$K_{z(u)вим} = \frac{\Delta U_{вх} \cdot 100}{U_{вих} \cdot (a_{вих} + b_{вих}) \cdot \alpha}, \quad (3.19)$$

де $\Delta U_{вх} = U_{вх.макс} - U_{вх.мін} = 20,8 - 17 = 3,8 \text{ В}$.

Підставляючи у формулу (2.19) чисельні значення, одержимо:

$$K_{z(u)вим} = \frac{3,8 \cdot 100}{12 \cdot 0,4 \cdot 0,67} = 119$$

Найбільше часто як керуючих використовуються малопотужні низькочастотні транзистори.

Попередньо виберемо транзистор типу КТ361А [12] з такими даними: коефіцієнт підсилення по струму $B_3 = 30$, максимально допустиме напруження колектор — еміттер $U_{к.е3макс.доп} = 20 \text{ В}$, максимальний струм колектора $I_{к.е3макс.доп} = 20 \text{ мА}$, максимально припустима потужність розсіювання на колекторі $P_{к3макс.доп} = 0,15 \text{ Вт}$.

Визначимо фактичний коефіцієнт підсилення каскаду на транзисторі КТ361А. Для цього можна скористатися формулою:

$$K_{z(u)роз} = \frac{\Delta I_{к3}}{\Delta U_{б.е3}} \cdot R1$$

де $\frac{\Delta I_{к3}}{\Delta U_{б.е3}} = S_3$ — крутість характеристики транзистора VT3

(число, що показує, на скількох міліамперів зміниться колекторний струм при зміні напруги між базою і еміттером транзистора на 1 В);

R_1 — опір навантаження в ланцюзі колектора транзистора VT3.

Для малопотужних низькочастотних транзисторів, використовуваних у схемах стабілізаторів напруги, значення крутості лежить у межах

$$S_3 = (20 \sim 40) \text{ мА/В.}$$

$$\text{Приймаємо } S_3 = 30 \text{ мА/В.} \quad (3.21)$$

Опір R_1 може бути знайдене по формулі:

$$R_1 = \frac{0,5 \cdot U_{к.е1\text{мін}} \cdot B_1 \cdot B_2}{I_{вих}} = \frac{0,5 \cdot 3 \cdot 20 \cdot 40}{0,2} = 6000 \text{ Ом} = 6 \text{ кОм} . \quad (3.22)$$

У відповідності з довідником приймаємо $R_1 = 6,2$ кому. Потужність, що розсіюється на резисторі R_1 , складає:

$$P_{R_1} \approx (I_{к3})^2 \cdot R_1 = (2 \cdot 10^{-3})^2 = 6,2 \cdot 10^3 = 0,025 \text{ Вт} .$$

Як опір можна використовувати резистор типу УЛМ-0,12.

Таким чином,

$$K_{3(i)гр} = 30 \cdot 10^{-3} \cdot 6,2 \cdot 10^3 = 186 > K_{3(i)вим} = 119.$$

Визначимо величину потужності, що розсіюється на колекторі транзистора VT3,

$$P_{к.3\text{макс}} = U_{к.е3\text{макс}} \cdot I_{к3} . \quad (3.23)$$

Приймаючи:

$$U_{к.е3\text{макс}} = U_{вих} + \square U_{ет} = 12 + 2 - 8 = 6 \text{ В} \text{ и } I_{к3} = 2 \cdot 10^{-3} ,$$

одержимо:

$$P_{к.3\text{макс}} = 6 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,012 \text{ Вт} < P_{к.3\text{макс.доп}} = 0,15 \text{ Вт.}$$

Отже, транзистор VT3 обраний правильно.

10. Визначаємо величини опорів резисторів і ємностей конденсаторів схеми. Як ми вже з'ясували, опір навантаження в ланцюзі колектора транзистора VT3 $R1=6,2 \text{ кОм}$. Знайдемо, опору вихідного дільника. Тік дільника I_d звичайно вибирають на один — два порядки вище струму бази керуючого транзистора VT3. Номінальний струм бази транзистора VT3 можна знайти по формулі:

$$I_{б3} = \frac{I_{к3}}{B_a} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{30} = 0,066 \text{ мА}$$

Вибираючи струм дільника $I_d = 5 \text{ ма}$, знайдемо загальний опір дільника

$$R_o = R2 + R3 + R4 = \frac{U_{вих}}{I_o} = \frac{12}{5 \cdot 10^{-3}} = 2,4 \text{ кОм}$$

Відповідно до завдання вихідна напруга стабілізатора повинна регулюватися в межах $\pm 2 \text{ В}$. З огляду на також, що напруга стабілізації стабілітрона Д808 може мінятися в межах $7 - 8,5 \text{ В}$, визначимо опір нижнього плеча дільника для крайніх значень $U_{зт}$ і $U_{вих}$:

$$(R_{\text{д.н}})_{\text{мін}} = R_{\text{д}} \frac{U_{\text{ем.мін}}}{U_{\text{вих}} + \Delta U_{\text{вих}}} = R_{\text{д}} = \frac{2,4 \cdot 10^3 \cdot 7}{12 + 2} = 1,2 \text{кОм}, \quad (3.26)$$

$$(R_{\text{д.н}})_{\text{макс}} = R_{\text{д}} \frac{U_{\text{ем.макс}}}{U_{\text{вих}} - \Delta U_{\text{вих}}} = \frac{2,4 \cdot 10^3 \cdot 8,5}{12 - 2} = 2,2 \text{кОм}. \quad (3.27)$$

Величини опорів R2 і R3 рівні :

$$R3 = (R_{\text{д.н}})_{\text{макс}} - (R_{\text{д.н}})_{\text{мін}} = 2,2 - 1,2 = 1 \text{кОм}, \quad (3.28)$$

$$R2 = R_{\text{д}} - (R_{\text{д.н}})_{\text{макс}} = 2,4 - 2,2 = 200 \text{Ом},$$

$$R5 = \frac{U_{\text{вих}} - U_{\text{ем}}}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{12 - 8}{5 \cdot 10^{-3}} = 800 \text{Ом}. \quad (3.29)$$

По довіднику вибираємо резистор з опором $R5 = 820$ ом (тип резистора — УЛМ-0,12).

Для збільшення швидкодії стабілізатора використовується ємнісний зв'язок між виходом стабілізатора і входом підсилювача, зібраного на транзисторі VT3. З цією метою в схему стабілізатора (рис. 2.3) включають конденсатор Сх. Величина ємності цього конденсатора вибирається порядку одиниць — десятків мікрофард. Наприклад, для схеми, що розраховується, можна використовувати електролітичний конденсатор типу ЕМ ємністю 3 мкФ із робочою напругою 20 В.

Конденсатор С2 служить для підвищення стійкості стабілізатора й одночасно дозволяє зменшити вихідний опір схеми. Ємність конденсатора С2 вибирається порядку 1000 — 2000 мкф. Для нашого приклада можливо ви-

користувати електролітичний конденсатор типу ЕТО-2 ємністю 1000 мкФ із робочою напругою 25 В.

11. Знаходимо коефіцієнт стабілізації розрахованого стабілізатора по формулі:

$$K_{ст(u)роз} = \alpha \cdot K_{з(u)роз} \cdot \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = 0,67 \cdot 186 \frac{12}{18,9} = 79. \quad (3.30)$$

Таким чином, коефіцієнт стабілізації розрахованого стабілізатора, виявився більше необхідного, тому що:

$$K_{ст(u)роз} = 79 > K_{ст(u)вим} = 50. \quad (3.31)$$

12. К. п. д. стабілізатора в номінальному режимі знаходимо по формулі:

$$\eta = \frac{U_{вих} \cdot I_{вх}}{U_{вх} \cdot I_{вх}}, \quad (3.32)$$

де $I_{вх} = I_{вих} + I_{ст} + I_{\partial} = 200 + 5 + 5 = 210 \text{ мА}.$

У такий спосіб:

$$\eta = \frac{12 \cdot 200 \cdot 10^{-3}}{18,9 \cdot 210 \cdot 10^{-3}} = 0,605 \quad (60,5\%).$$

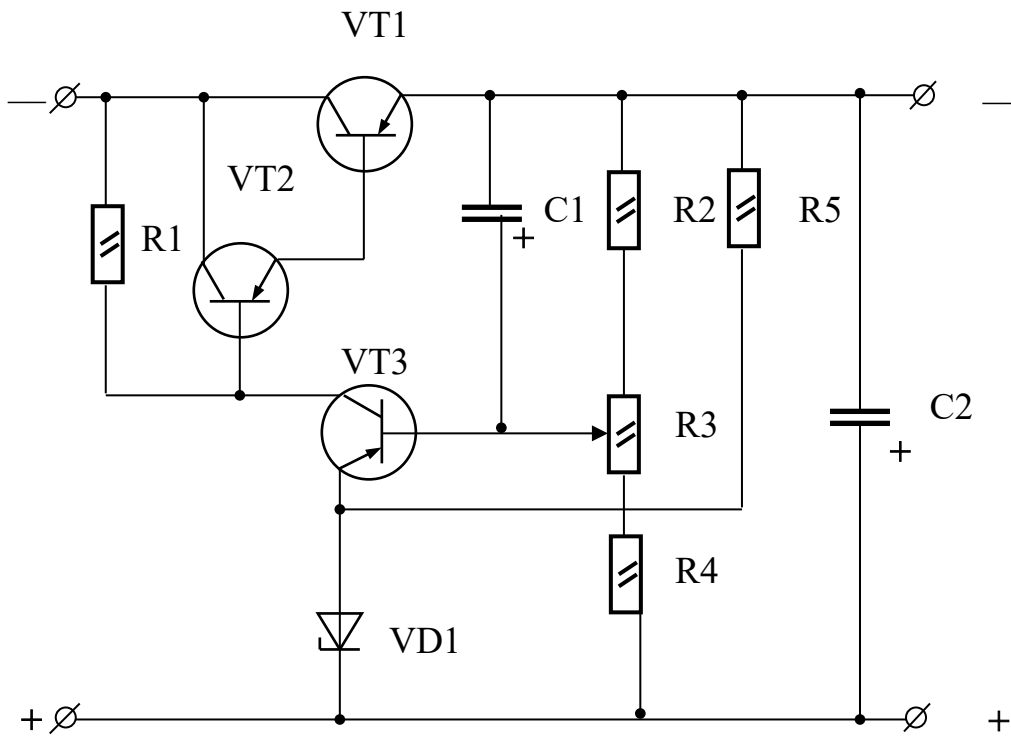


Рисунок 3.3- Схема розрахованого стабілізатора напруги

Розділ 4

4. ВСТАНОВЛЕННЯ ГРАНИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ТЕД

В цьому розділі обґрунтовується вибір характеристик (показників якості) для класифікації стану ізоляції катушок збудження ТЕД і визначення їх граничних значень.

4.1 ПОЧАТКОВІ ДАНІ І ВИДИ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ

Найбільш інформативним, на наш погляд, показником якості для визначення стану ізоляції ТЕД є зворотна напруга, яка наочно може ідентифікувати процес старіння. Тому вибір характеристик будемо здійснювати на основі інформації про зворотну напругу, що мається, по результатам випробувань. Ціллю класифікації є визначення груп кривих зворотної напруги, що відповідають різним стадіям стану ізоляції в процесі експлуатації. Введемо наступні стадії стану ізоляції: 1-а стадія – «початкова ступінь експлуатації»; 2-а стадія – «середня ступінь експлуатації»; 3-я стадія – «ступінь підвищеного ризику експлуатації». Введені стадії стану умовні і їх можна інтерпретувати наступним чином. Перша стадія відповідає стану новій ізоляції або ізоляції яка знаходиться в експлуатації незначний термін і її стан можна віднести до стану «нової». Така ізоляція, як правило, не потребує значних профілактичних заходів під час технічного огляду. Друга стадія відповідає стану ізоляції яка характеризується зносом приблизно половині напрацювання до першої відмови (якщо для даної катушки мається база попередніх вимірювань зворотної напруги, то ця стадія приблизно відповідає половині величини зворотної напруги моменту часу, коли ізоляція була нова і випробування проводили однаковою напругою). На цій стадії рекомендується планувати відновлення ізоляції. Третя стадія характеризується підвищеним ризиком відмов ізоляції (від підвищеної інтенсивності часткових розрядів до пробоя ізоляції). На цій стадії планують або останнє відновлення, або повне відновлення ізоляції (заміна катушки). В розділі не розглядається момент пов-

ного зносу. Рахуємо, що при досягненні зворотної напруги значення 30-50 вольт, ізоляція не відновлюється і котушка замінюється на нову. Подальша експлуатація такої котушки може привести до відмови ізоляції, коли локомотив знаходиться «під составом». Відповідно до введених стадій стану ізоляції сімейства кривих зворотної напруги, які можливо віднести до них, будемо називати кривими: 1-а група кривих, 2-а група кривих, 3-я група кривих.

Таблиця 4.1- Пересічна зворотна напруга відносно введених стадій експлуатації

Час вимірювання [секунда]	Пересічна зворотна напруга початкової ступені експлуатації ізоляції (1-а група кривих) [Вольт]	Пересічна зворотна напруга середньої ступені експлуатації ізоляції (2-а група кривих) [Вольт]	Пересічна зворотна напруга ступені підвищеного ризику експлуатації ізоляції (3-а група кривих) [Вольт]
0	0	0	0
1	180,23	11,279	3,2
2	1263,139	274,75	63,4
3	1066,406	342,055	84,5
4	943,821	350,164	81,1
5	845,952	341,613	72,7
6	764,915	325,395	63,8
7	696,662	310,208	56
8	638,139	295,244	49,2
9	579,474	281,163	43,6
10	535,866	267,968	37,9
11	497,088	255,73	33,9
12	462,571	244,378	30,4
13	431,747	232,288	27,7
14	403,906	222,631	25,3
15	374,574	213,858	23,1
16	352,202	205,528	21,2
17	331,534	197,787	19,2
18	312,855	190,563	17,8
19	295,597	182,749	16,6
20	279,688	176,63	15,5
21	262,642	170,659	14,3
22	249,361	165,204	13,4
23	237,003	159,97	12,5
24	225,639	155,178	11,6
25	214,844	149,796	11

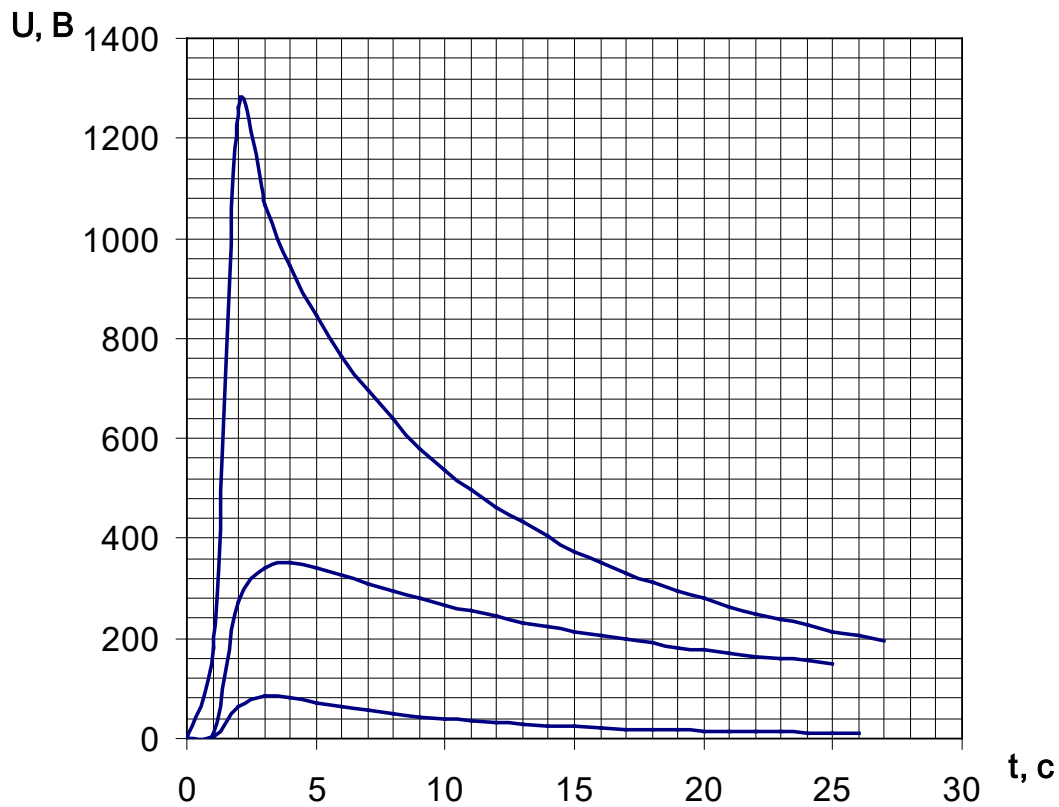


Рисунок.4.1. Пересічні криві стадій стану ізоляції.

Розробленим пристроєм проведено випробування ізоляції нових котушок і котушок, що знаходились в експлуатації. В таблиці 4.1, і відповідно на рисунку 4.1, наведено пересічні значення зворотної напруги U_3 для проведених спостережень. Верхня крива відповідає пересічним значенням зворотної напруги 1-ї групи кривих або початковій ступені експлуатації (1-а стадія), середня крива – пересічним значенням зворотної напруги 2-ї групи кривих або середній ступені експлуатації (2-а стадія), нижня крива відповідає пересічним значенням зворотної напруги 3-ї групи кривих або ступені підвищеного ризику експлуатації (3-а стадія).

Характеристики стану ізоляції поділимо на два типи: прямі і непрямі. До прямих характеристик віднесемо такі, які безпосередньо визначаються з графіку (вимірювань) зворотної напруги. До непрямих характеристик віднесе-

мо такі, які обчислюються за даними спостережень зворотної напруги, що отримані при випробуванні.

4.2 ПРЯМІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ

Криву зворотної напруги можна умовно розділити на дві частини: зона підвищення випробувальної напруги і зона спаду зворотної напруги. Для зазначених зон виділимо два загальних показника: t_H - час наростання випробувальної напруги, U_3^{\max} - максимальне значення зворотної напруги (рівнозначно випробувальної напруги) або значення зворотної напруги в момент часу t_H , $U_3^{\max} = U_3(t_H)$. Для зони наростання випробувальної напруги маємо $U_3 \leq U_3^{\max}$, для зони спаду - $U_3 \geq U_3^{\max}$. t_H - час наростання випробувальної напруги та U_3^{\max} - максимальне значення зворотної напруги є прямими характеристиками стану ізоляції.

Таблиця 4.2- Прямі характеристики стану ізоляції

Група кривих	Час наростання випробувальної напруги t_H [секунд]	Макс. зворотна напруга U_3^{\max} [Вольт]
1-а гр. кривих	2	1266
2-а гр. кривих	4	350
3-а гр. кривих	3	86

В якості граничних значень часу наростання випробувальної напруги і максимального значення зворотної напруги можуть бути вибрані:

$t_H = 2$ [секунди] – для кривих 1-ї групи;

$t_H = 4$ [секунди] – для кривих 2-ї групи;

$t_H = 3$ [секунди] – для кривих 3-ї групи;

$U_3^{\max} = 1266$ [Вольт] – для кривих 1-ї групи;

$U_3^{\max} = 350$ [Вольт] – для кривих 2-ї групи;

$U_3^{\max} = 86$ [Вольт] – для кривих 3-ї групи.

4.3 НЕПРЯМІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ

Криву наростання випробувальної напруги можна характеризувати швидкістю наростання

$$V_{+U} = \frac{dU_{\epsilon}}{dt}.$$

Даний коефіцієнт оцінимо наближено, апроксимуючи похідну по точкам виміру. Для цієї оцінки використовуємо U_3^1 -1-й вимір, U_3^2 -2-й вимір і U_3^3 -3-й вимір (вимір при $t = 0$ це нульовий вимір). При наближенні першої похідної рекомендується по можливості використовувати формули чисельного диференціювання з вузлами розташованими симетрично відносно тої точки в якій обчислюється похідна [1]

$$\frac{dU_{\epsilon}}{dt} = \frac{U_3^3 - U_3^1}{2\Delta t}, \quad \Delta t - \text{інтервал виміру зворотної напруги.}$$

Для оцінки похідної в третій точці (верхня частина зони наростання) слід використовувати вираз

$$\frac{dU_{\epsilon}}{dt} = \frac{3 \cdot U_3^3 - 4 \cdot U_3^2 - U_3^1}{2\Delta t}.$$

Для оцінки похідної в першій точці (нижня частина зони наростання) слід використовувється вираз

$$\frac{dU_{\epsilon}}{dt} = \frac{-U_3^3 + 4 \cdot U_3^2 - 3 \cdot U_3^1}{2\Delta t}.$$

Для зрівняння будемо апроксимувати похідну в трьох точках. Інтервал вимірювання складає 1 секунду для кривих 2-ї і 3-ї групи, для кривої 1-ї групи 0.5 секунди. Результати обчислень наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3- Швидкість наростання випробувальної напруги

Група Кривих	Випробувальна напруга [V]			Швидкість наростання випробув. напруги [V/s]		
	U_3^1	U_3^2	U_3^3	V_{+U}^1	V_{+U}^2	V_{+U}^3
1-а гр. Кривих	180.23	—	1263.14	1082.91	1082.91	—
2-а гр. Кривих	11.27	274.75	342.06	361.56	165.39	—
3-а гр. Кривих	3.2	63.4	84.5	79.75	40.65	1.16

В якості граничних значень швидкості наростання випробувальної напруги можуть бути вибрані:

$$V_{+U}^1 = 1083[\text{V/s}] \text{ – для кривих 1-ї групи;}$$

$$V_{+U}^2 = 165[\text{V/s}] \text{ – для кривих 2-ї групи;}$$

$$V_{+U}^3 = 41[\text{V/s}] \text{ – для кривих 3-ї групи.}$$

Наступною величиною, що характеризує стан ізоляції, може служити швидкість спада зворотної напруги. Евристично (з виду графіків вимірювань зворотної напруги) найбільш інформативними є 6, 7, 8, 9 секунди вимірювань. Швидкість спада зворотної напруги оціним наближено аналогічно визначенню швидкості наростання випробувальної напруги. Результати обчислень наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 -Швидкість спаду зворотної напруги

Група кривих	Зворотна напруга [V]			Швидкість спаду зворотн напр [V/s]	
	U_3^1 7 секунда	U_3^2 8 секунда	U_3^3 9 секунда	V_{-U}^7 7 секунда	V_{-U}^8 8 секунда
1-а гр. кривих	696.7	638.1	579.5	-63.4	-58.6
2-а гр. кривих	310.2	295.2	281.2	-15.1	-14.5
3-а гр. кривих	56	49.2	43.6	-7.3	-6.2

В якості граничних значень швидкості спаду зворотної напруги вибираємо значення, які відповідають 8-й секунді:

$$V_{-U}^8 = -58 \text{ [V/s]} \text{ – для кривих 1-ї групи;}$$

$$V_{-U}^8 = -14 \text{ [V/s]} \text{ – для кривих 2-ї групи;}$$

$$V_{-U}^8 = -6 \text{ [V/s]} \text{ – для кривих 3-ї групи.}$$

Введемо інтегральні характеристики стану. Інтегральний показник стану ізоляції S_3 засновується на оцінці роботи, яка проробляється диполями ізоляції під впливом постійного електричного поля. Великою, що характеризує роботу диполів може служити площа обмежена кривою зворотної напруги. Формально час спаду зворотної напруги прямує до нескінченності. В реальних умовах для оцінки роботи диполів при саморозрядженні інтервал часу оцінювання t_{ou} вибираємо так, щоб $U_3(t_{ou}) = U_3^{\max} / 2$. Тепер оцінка (площа), що нас цікавить може бути отримана з виразу:

$$S_3 = \int_0^{t_{ou}} U_3(t) dt .$$

Подібний спосіб оцінювання властивостей діелектриків розглядається при визначенні надійності конденсаторів. Час оцінки $t_{оц}$ формується з часу наростання випробувальної напруги t_H і часу саморозрядження t_{cp}

$$t_{оц} = t_H + t_{cp}.$$

Крім інтегральної оцінки можна ввести приведений інтегральний показник стану ізоляції S_3^y для кривої зворотної напруги. Приведений інтегральний показник стану визначається як відношення відповідної інтегральної оцінки до часу оцінювання $t_{оц}$

$$S_3^y = \frac{S_3}{t_{оц}}.$$

В таблиці 4.5 наведено чисельні значення інтегральної та приведенної інтегральної оцінок стану ізоляції для різних груп кривих.

Таблиця 4.5- Інтегральна та приведена інтегральна оцінки стану ізоляції

Група кривих	Час наростання t_H [s]	Час саморозрядження t_{cp} [s]	Час оцінювання $t_{оц}$ [s]	Інтегральна оцінка S_3 [V·s]	Приведена інт. Оцінка S_3^y [V]
1-а гр.	2	7	9	6979	776
2-а гр.	4	16	20	4922	244
3-а гр.	3	6	9	518	58

При визначенні інтегральної оцінки зручно користуватись методом прямокутників (наближений метод обчислення визначного інтегралу) [2]

$$S_3 = \sum_{i=1}^N U_3(t_i) \cdot \Delta t, \quad t_N = t_{оц},$$

Δt - інтервал виміру зворотної напруги.

В якості граничних значень інтегральних оцінок зворотної напруги вибираємо значення:

$S_3 = 6979 \text{ [V}\cdot\text{s]}$ – інтегральна оцінка для кривих 1-ї групи;

$S_3 = 4922 \text{ [V}\cdot\text{s]}$ – інтегральна оцінка для кривих 2-ї групи;

$S_3 = 518 \text{ [V}\cdot\text{s]}$ – інтегральна оцінка для кривих 3-ї групи;

$S_3^V = 776 \text{ [V]}$ – приведена інтегральна оцінка для кривих 1-ї групи;

$S_3^V = 244 \text{ [V]}$ – приведена інтегральна оцінка для кривих 2-ї групи;

$S_3^V = 58 \text{ [V]}$ – приведена інтегральна оцінка для кривих 3-ї групи.

4.4 УЗАГАЛЬНЕННЯ ЗАЗНАЧЕНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНУ

Узагальнюючи вище викладене відносно оцінок стану ізоляції можна стверджувати наступне. Стан ізоляції на основі вимірювань зворотної напруги визначається за такими введеними оцінками:

t_H – час наростання випробувальної напруги;

t_{cp} – час саморозрядження;

t_{ou} – час оцінювання зворотної напруги;

U_3^{\max} – максимальне значення зворотної напруги;

V_{+U} – швидкість наростання випробувальної напруги;

V_{-U} – швидкість спаду зворотної напруги;

S_3 – інтегральна оцінка стану ізоляції;

S_3^V – приведена інтегральна оцінка стану ізоляції.

В таблиці 4.6 наведено значення характеристик за якими оцінюється якість ізоляції в динаміці експлуатації.

Таблиця 4.6 - Граничні значення характеристик оцінювання стану ізоляції

Характеристики	1-а стадія (1-а група кривих) – по- чаткова ступінь експлуатації	2-а стадія (2-а група кривих) – се- редня ступінь експлуатації	3-я стадія (3-я група кривих) – ступінь підвищеного ри- зику експлуатації
t_H — час наро- стання випробу- вальної напруги [секунди]	2	4	3
t_{cp} — час само- розрядження [се- кунди]	7	16	6
t_{oc} — час оцінювання зво- ротної напруги [секунди]	9	20	9
U_3^{\max} — максима- льне значення зворотної напру- ги [Вольт]	1266	350	86
V_{+U} — швид- кість наростання випробувальної напруги [Вольт/секунда]	1083	165	41
V_{-U} — швид- кість спаду зво- ротної напруги [Вольт/секунда]	-59	-15	-6
S_3 — інтегра- льна оцінка [Вольт·секунда]	6979	4922	518
S_3^V — приведе- на інтегральна оцінка [Вольт]	776	244	58

Розділ 5

5. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ НЕРУЙНУЮЧОГО КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ КАТУШОК ЗБУДЖЕННЯ ТЕД

Для здійснення контролю ізоляції котушок збудження ТЕД необхідно виконати наступні операції (з розрахунком норми годин одного слюсаря 5-го розряду):

1. Демонтаж двигуна – 2,54 год.
2. Перевірка котушки на пробій – 0,11 год.
3. Монтаж двигуна – 3,76 год.

Разом на один двигун:

$$2,54+0,11+3,76=6,41\text{год.}$$

У середньому за один місяць в електро-механічному цеху локомотивного депо станції Ніжнеднепровськ Вузол необхідно здійснити перевірку 60-ти двигунів. За один рік кількість двигунів складе:

$$60*12=720$$

Щоб визначити суму матеріальних витрат необхідних для перевірки двигунів за один рік, візьмемо оплату одного слюсаря 5-го розряду помножимо на норму годин перевірки одного двигуна і на кількість двигунів за один рік.

Оплата одного слюсаря 5-го розряду складає: 56,25 грн/годину.

Сума витрат:

$$56,25 *6,41*720=259605 \text{ грн.}$$

Розрахуємо необхідну кількість робітників для перевірки стану ізоляції котушок збудження тягових електродвигунів.

Розрахуємо необхідну кількість годин на рік. Для цього помножимо норму годин перевірки одного двигуна на кількість двигунів за один рік:

$$6,41 \cdot 720 = 4615,2 \text{ год.}$$

Розрахуємо кількість робочих годин на рік. Для цього помножимо кількість робочих годин за тиждень на кількість тижнів за один рік:

$$40 \cdot 52 = 2080 \text{ год.}$$

Необхідна кількість робітників для перевірки стану ізоляції котушок збудження тягових електродвигунів:

$$4615,2 / 2080 = 2,2$$

Необхідна кількість робітників для перевірки стану ізоляції котушок збудження тягових електродвигунів складає 3.

Проте матеріальні витрати необхідні для перевірки стану ізоляції котушок збудження тягових електродвигунів можна істотно скоротити застосувавши систему розроблену у даному дипломному проєкті. Система не вимагає демонтажу двигуна.

Для здійснення контролю ізоляції котушок збудження ТЕД із застосуванням системи неруйнуючого контролю необхідно виконати наступні операції (з розрахунком норми годин одного слюсаря 5-го розряду):

1. Підготовчі операції – 0,4 год.
2. Поточний контроль стану ізоляції котушок збудження тягових електродвигунів в кабіні локомотива ВЛ-8 – 0,01 год.

3. Завершальні операції – 0,25 год.

Разом на один двигун:

$$0,4+0,01+0,25=0,66 \text{ год.}$$

Щоб визначити суму матеріальних витрат необхідних для перевірки двигунів за один рік, візьмемо оплату одного слюсаря 5-го розряду помножимо на норму годин перевірки одного двигуна і на кількість двигунів за один рік.

Сума витрат:

$$56,25 * 0,66 * 720 = 26730 \text{ грн.}$$

Вартість НДР.

У вартість НДР включимо роботу одного електромеханіка над створенням системи в перебігу одного року.

Оплата електромеханіка складає 12840 грн/місяць.

Разом: $12840 * 12 = 154080$ грн.

Сума витрат з урахуванням НДР:

$$26730 + 154080 = 180810 \text{ грн.}$$

Розрахуємо необхідну кількість робітників для перевірки стану ізоляції котушок збудження тягових електродвигунів із застосуванням системи неруйнуючого контролю.

Розрахуємо необхідну кількість годин на рік. Для цього помножимо норму годин перевірки одного двигуна із застосуванням системи неруйнуючого контролю на кількість двигунів за один рік:

$$0,66*720=475,2 \text{ год.}$$

Необхідна кількість робітників для перевірки стану ізоляції котушок збудження тягових електродвигунів із застосуванням системи неруйнуючого контролю:

$$475,2 / 2080=0,23$$

Необхідна кількість робітників для перевірки стану ізоляції котушок збудження тягових електродвигунів із застосуванням системи неруйнуючого контролю складає 1.

Система неруйнуючого контролю може скоротити двох робітників.

Визначаємо економічний ефект від упровадження системи неруйнуючого контролю стану ізоляції котушок збудження тягових електродвигунів за один рік:

$$259605-180810=78795 \text{ грн}$$

Висновки

На сьогодні у нас існує різні методи контролю : випробування змінною напругою, випробування потоком іскр постійного струму, випробування постій-

ним струмом, вимірювання провідності, вимірювання діелектричних втрат, контроль ізоляції по значенню електричної ємності.

У межах однієї ділянки звернення умови роботи локомотивів істотно різні. Це відноситься до швидкостей руху, маси поїздів, станом колії та ін. Тому напруження деталей до граничного стану є випадковою величиною. Очевидно, що визначення термінів ремонту деталей і вузлів локомотива вимагає використання методів теорії ймовірностей і математичної статистики. Такий підхід дозволить побудувати математичну модель процесу відмов, зносу або старіння деталей і вузлів, визначити числові характеристики закону розподілу ресурсу і з урахуванням технічних і економічних факторів встановити терміни планової їхньої заміни або ремонту.

Запобігання відмов рухомого складу в системі технічного обслуговування і ремонту найбільш результативно досягається тоді, коли вдається виявити втрату працездатності обладнання на самих ранніх її стадіях. Це можливо забезпечити шляхом використання технічної діагностики в якості складової частини системи обслуговування і ремонту локомотивів. Від того, наскільки система діагностування здатна виявляти ті елементи устаткування, які наближаються до свого граничного стану, залежить ефективність планово-запобіжної системи технічного обслуговування і ремонту локомотивів в цілому.

Вимір опору ізоляції способом пропонованим Правилами ремонту локомотивів є лише контроль цього параметра, щоб він не виходив за встановлені межі. А для отримання інформативного діагностичного параметра, за яким можна було б судити про стан ізоляції в даний момент часу і передбачити зміни її стану на майбутнє необхідна розробка нових методів і способів.

Неруйнуючий контроль є перспективним напрямком оцінки стану ізоляції, який вимагає створення спеціальних пристроїв. Стан корпусної ізоляції ТЄД правильно оцінювати завдяки зворотною напругою, тому що вимірювання опору ізоляції мегаомером, сьогодні є ненадійним методом.

Ефективність діагностики може забезпечуватися тільки комплексним характером результатів контролю. Головна мета при цьому — виявлення найбільш ймовірних видів і причин виявлених і прогнозованих несправностей електроустаткування.

Більш об'єктивні критерії оцінки стану можна одержати, використовуючи явище абсорбції, тобто поглинання заряду усередині ізоляції при її підживленні від джерела постійної напруги. По величині поглиненого заряду, названого зарядом абсорбції, судять про ступінь старіння ізоляції і ресурсі, що залишився, її роботи. Величину поглиненого заряду можна визначити по струму абсорбції. Він спостерігається нетривалий час після підключення діелектрика до джерела постійної напруги. Тік абсорбції спадає згодом до нуля по експонентному закону, після чого залишається постійний струм наскрізного витоку.

Як показали дослідження, про старіння ізоляції без її руйнування можна судити по характері процесів поляризації, а саме по величині зворотної напруги, як по жодному іншому параметру. Це доводиться наступними положеннями. Зі збільшенням пробігу ізоляція зношується, її електрична міцність знижується. З ростом пробігу зменшується і зворотна напруга, що може характеризувати стан ізоляції навіть краще, ніж пробивна напруга.

В роботі приведено принципову схему пристрою контролю ізоляції. Описано роботу цього пристрою розраховано та спроектовано транзисторний стабілізатор напруги.

Найбільш інформативними показниками стану ізоляції ТЕД за якими можна судити про знос ізоляції в процесі її експлуатації є такі, які відповідають динаміці старіння ізоляції. В якості основних показників для визначення стану ізоляції вибрано: — час наростання випробувальної напруги, — час саморозрядження, — час оцінювання зворотної напруги, — максимальне значення зворотної напруги, — швидкість наростання випробувальної напруги,

— швидкість спаду зворотної напруги, — інтегральна оцінка стану ізоляції, —
приведена інтегральна оцінка стану ізоляції.

Економічний ефект від упровадження системи неруйнуючого контролю
стану ізоляції котушок збудження тягових електродвигунів за один рік складає:
78795 грн.

Література

1. Notingher, PV & Plopeanu, M 2009, "Accelerated Development of Electrical Trees. Part I: Initiation of Trees", *EEA - Electrical Engineering, Electronics, Automatics*, Vol. 57, No. 4, pp. 11-19.
2. Crine, J-P & Vijn, AK 1985, "Molecular Approach to the Physico-Chemical Factors in the Electric Breakdown of Polymers", *Applied Physics Communications*, Vol 5, No. 3, pp. 139-63.
3. Lewis, TJ 2001, Ageing - A Perspective, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 17, No. 4, pp. 6-16.
4. Junhao Li, Yanming Li, Influencing Factors Investigation of Polarization and Depolarization Current Measurements on Assessment Aging Condition of Power Transformer, *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 5 n. 6, December 2010, pp. 2637-2643.
5. A. A. Shayegani, E. Gockenbach, H. Borsi, H. Mohseni, Investigation on the Transformation of Time Domain Spectroscopy data to frequency domain data for impregnated pressboard to reduce measurement time, *Electrical Engineering*, vol. 89 n. 1, June 2005, pp. 11-20.
6. T. K. Saha, M. Darveniza, D. J. T. Hill, T. T. Ie, Electrical and chemical diagnostics of transformer insulation part A: Aged transformer samples, *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol.12, pp. 1547–1554, October 1997.
7. U. Gäfvert, G. Frimpong, J. Fuhr, Modeling of dielectric measurements on power transformers, *Proc. Cigre*, 1998, pp. 15-103.
8. Jones, JP, Llewellyn, JP & Lewis, TJ 2005, "The contribution of field-induced morphological change to the electrical aging and breakdown of polyethylene", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 12, No. 5, pp. 951- 966.
9. Lewis, TJ 2002, "Polyethylene under Electrical Stress", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 9, No. 5, pp. 717-29.

10. Rowe, SW 2007, "Electrical Ageing of Composites: An Industrial Perspective", *Proceedings of International Conference on Solid Dielectrics*, Winchester, UK, July 8-13, pp. 401-406.
11. Dissado, LA, Mazzanti, G & Montanari, GC 2001, "Elemental strain and trapped space charge in thermoelectrical aging of insulating materials. Life modelling", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 8, No.6, p 966- 971.
12. Mazzanti, G & Montanari, GC 2005, "Electrical aging and life models: the role of space charge", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 12, No. 5, pp. 876-890.
13. LS. Skrupskaya, A.O. Oliinyk, A.A. Sakhno, 2014, "Model building for current transformer paper-oil insulation state diagnostics", *ISSN 2074-272X. Elektrotexnika i elektromexanika*, No 2, pp. 48-51.
14. Ю.Б. Гук, 1990, "Теория надежности в электроэнергетике": Учеб. пособие для вузов, Leningrad: Энергоатомиздат, pp. 53.
Ю.А. Фокин, В.А. Туфанов, 1981, "Оценка надежности систем энергоснабжения", Moscow: Энергоатомиздат, pp. 57.
15. O.A. Sakhno, 2012, «The continuous monitoring and remaining life prediction system for high-voltage current transformers». – Manuscript. The thesis for Ph.D. degree obtaining in the specialty 05.14.02 – Electric Power Stations, Grids and Systems. National University "Lviv Polytechnics", Lviv, pp. 7-14.
16. Cox D.R., 1972, "Regression Models and Life-TablesM", *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, Vol. 34, No 2, pp. 187-220.
17. Серебряков А.С. Оценка состояния корпусной изоляции тяговых двигателей. *Железнодорожный транспорт*. -№12, 1999. –С. 25-27.
18. Войнов К.Н. Опыт оценки надежности механических систем. ЛДНТП. – 1975. –37с.
19. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность. - М.: «Энергия». –1966. -232с.
20. Бугров Я.С., Никольский С.М. Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. - М: «Наука» –1988. -224с.

21. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. -М.: «Наука». –1965. –524с.
22. Пугачев В.С. Введение в теорию вероятностей. - М.: Наука, 1968. –368с.
23. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. - Т.1. –М.: «Наука». –1966. –С. 242-247.
24. Говорухин В.Н., Цибулин В.Г. Введение в Maple V. Математический пакет для всех. - М.: Мир. –1997.
25. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. - М.: Мир, 1975. -536с.
26. Бажанов С.А., Воскресенский В.Ф. Профилактические испытания изоляции оборудования высокого напряжения. - М.: Энергия –1977.
27. Гершунский Б.С. Расчет основных электронных и полупроводниковых схем в примерах. – Изд. Киевского университета. –1968.
28. Терещук Р.М., Терещук К.М. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства. К.: Наукова думка. –1987.
29. Князевский Б.А., Куречук С.М. Охрана труда в энергетике. М.: Энергоатомиздат. –1985.
30. Волков Е.А. Численные методы: Учебное пособие. - М.: -Наука. -1982. -С56-60.
31. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы: Учебное пособие. - М.: -Наука. -1987. –С83-86.

**Програмне забезпечення визначення коефіцієнтів Н-характеристики
(функції відмов) як кубічного поліному**

Модуль Coefa.m
(Головний модуль)

```

clear all;

%-----
%load koef -ascii;
% a1=koef(:,1);
% b1=koef(:,2);
% t1=koef(:,3);
% b2=koef(:,4);
% t2=koef(:,5);
% a3=koef(:,6);
% b3=koef(:,7);
%-----

% global Tn;
% global C;

global xx yy;

%-----

disp( ' ' );
disp( ' ' );
disp( ' ' );

NameFile=input('Name of the H-data file: ','s');
if isempty(NameFile)
    disp('Name is empty');
else
    f1=fopen(NameFile,'r+t');
    if f1==-1
        disp('--Error of open file');
    else
        %disp(NameFile );
        disp( ' ' );
        disp( ' ' );
        disp('... W A I T' );
        disp('IT IS CALCULATE ...' );
        disp( ' ' );
        disp( ' ' );
        disp( ' ' );
    end
end

```

```

    k=1;
    while feof(f1)~=1
        x=fscanf(f1,'%f',1);
        xx(k)=x;
        y=fscanf(f1,'%f',1);
        yy(k)=y;
        endf=fgetl(f1);
        k=k+1;
    end;
end;

%-----

OPT=[];
opt0=zeros(1,18);
opt0(2)=10^(-15);
opt0(3)=10^(-15);
opt0(14)=3000;
n=3;
m=length(xx);

a0=zeros(1,n); a=zeros(1,n);
xmin=zeros(1,n);
g=zeros(1,m);

%-----

% Begining point for VAR
for i=1:n a0(i)=0.0; end;

%n
%m
%a0
%xx
%yy

[a,OPT]=CONSTR('S2',a0,opt0);
%, [], [], []);
%a(3)
%a(2)
%a(1)
% for i=1:n g(i)=xmin(i); end;

% OPT
[fun,ogr]=S2(a);
fun
%ogr

s1='=====
===';
s2=' H(t)-data model:';
s3=' H(t) = a(3)*t^3 + a(2)*t^2 + a(1)*t';

```

```

fprintf(f1, '\n\n%s\n%s\n%s\n\n', s1,s2,s3);
fprintf(f1, '   %s%E%s%E%s\n', 'H(t) =
',a(3), '*t^3',a(2), '*t^2',a(1), '*t');

fprintf(   '\n\n%s\n%s\n%s\n\n', s1,s2,s3);
fprintf(   '   %s%E%s%E%s\n', 'H(t) =
',a(3), '*t^3',a(2), '*t^2',a(1), '*t');

fclose(f1);

s=[]; y=[]; z=[];
dt=1;
s=0:dt:xx(m);

k=length(s);
for i=1:k
    y(i)=Ht3(a(1),a(2),a(3),s(i));
    z(i)=Lamt2(a(1),a(2),a(3),s(i));
end;

subplot(1,2,1); plot(s,y,'b-',xx,yy,'r. ');
subplot(1,2,2); plot(s,z);
end;

```

Модуль S2.m

(Визначення функції цілі та обмежень)

```
function [f,g] = S2(a);
% with constraint

%global Tn;
%global C;
global xx yy;

m=length(xx);

g = zeros(1,m);
ogr = zeros(1,m);

s=0;
for i=1:m
    x1=xx(i);
    x2=x1*x1;
    x3=x2*x1;
    s = s + (yy(i) - (a(3)*x3+a(2)*x2+a(1)*x1))^2;
    ogr(i) = -(3*a(3)*x2+2*a(2)*x1+a(1));
end;

f = s;
for i=1:m
    g(i)=ogr(i);
end;
g(m+1)=6*a(3)*xx(2)+2*a(2);
g(m+2)=-(6*a(3)*xx(m-1)+2*a(2));
```

Модуль Ht3.m

(Визначення H-характеристики при напрацюванні t)

```
function h=Ht3(a1,a2,a3,t);
%
%
%
x1 = t; x2 = t*t; x3 =x2*t;
h = a1*x1+a2*x2+a3*x3;
```

Модуль Lamt2.m

(Визначення значення функції інтенсивності відмов при напрацюванні t)

```
function lam=Lamt2(a1,a2,a3,t);
%H - характкристика - кубическая парабола :
% a3*x^3+a2*x^2+a1*x
%
lam = 3*a3*t*t+t+2*a2*t+a1;
```

**Приклад розрахунку коефіцієнтів Н-характеристики по приведенному
програмному забезпеченню по експериментальним даним непланових
ремонтів одного ТЕД**

В першому стовпчику записані напрацювання в другому – відмови.

000	0
008	0.0909
009	0.2814
011	0.3814
014	0.4814
015	0.5814
019	0.6814
020	0.7814
023	0.9814
024	1.0814
029	1.1814
034	1.2814
045	1.3814
046	1.4814
049	1.5925
055	1.7036
067	1.8147
069	2.0369
070	2.1481
071	2.2592
079	2.3703
086	2.4953
089	2.6203
094	2.7453
102	2.8703
107	2.9953
114	3.2453
121	3.3881
123	3.5310
125	3.6738
126	3.9596
127	4.1024
150	4.2691
160	4.4509
165	4.8509
169	5.1009
180	5.4342
194	5.9342
214	6.4342

=====
H(t)-data model:

$$H(t) = a(3)*t^3 + a(2)*t^2 + a(1)*t$$

$$H(t) = 4.129904E-009*t^3-2.403604E-006*t^2+3.000861E-002*t$$