

УДК 621.3.017:621.331

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІЗОЛЯЦІЇ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Канд. техн. наук Д.Л. Сушко, О.М. Хамевко

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Канд. техн. наук Д.Л. Сушко, О.Н. Хамевко

### ANALYSIS OF METHODS CONTROL AND DIAGNOSTIC PARAMETERS ISOLATION THE TRACTION ENGINE OF DIRECT CURRENT

Cand. of techn. sciences D.L. Sushko, O.N. Khamevko

*У статті розглянуто основні причини і дефекти ізоляційної конструкції, процеси, які протікають в ізоляції під дією електричного поля. Подано узагальнений аналіз методів контролю і діагностичних параметрів ізоляції тягових двигунів постійного струму.*

**Ключові слова:** тяговий двигун, ізоляція, неруйнівний контроль, діагностичні параметри.

*В статье рассмотрены основные причины и дефекты изоляционной конструкции, процессы, протекающие в изоляции под действием электрического поля. Представлен обобщенный анализ методов контроля и диагностических параметров изоляции тяговых двигателей постоянного тока.*

**Ключевые слова:** тяговый двигатель, изоляция, неразрушающий контроль, диагностические параметры.

*In article, are considered principal reasons and defects of isolating construction, processes are flowing in isolation under action of electric field. A generalized analysis of methods of control and diagnostic parameters of isolation the traction engine of direct current is presented.*

**Keywords:** the traction engine, insulation, nondestructive control, diagnostic parameter.

**Вступ.** Експлуатаційна надійність тягових двигунів залежить від якості виготовлення та ремонту останніх, від умов навколишнього середовища при експлуатації, від факторів, які впливають на тяговий двигун у процесі експлуатації.

Одним з найважливіших шляхів вирішення задачі поліпшення експлуатаційної надійності тягових електричних двигунів є впровадження ефективних і багатофункціональних засобів технічного діагностування у комплексі системи технічного обслуговування і планово-попереджувального ремонту [1,6].

**Постановка проблеми.** Аналіз статистичних даних відмов ТД показує, що 15 – 20 % ТД, які вийшли з ладу, припадають на перший період роботи ТД, так званий період припрацювання, а основним видом відмов є міжвиткове або коротке замикання обмотки якоря [1]. Основною причиною даних

пошкоджень є неякісна ізоляційна конструкція якоря.

У процесі експлуатації через зволоження, перегрів, динамічні навантаження і перенапруження відбувається загальне старіння ізоляції, тобто погіршення її фізико-хімічних властивостей. В ізоляції виникають розподілені і місцеві (зосереджені) дефекти, які зрештою призводять до її пробою [3]. Щоб своєчасно виявляти дефекти, що розвиваються, і не припускати раптових пробоев електричної ізоляції, властивості її в процесі експлуатації періодично перевіряють.

Ефективність випробовувань чи ймовірність правильного виявлення дефектної ізоляції при контролі не є 100 %-ю. Вона залежить від методик випробовувань, характеристик використовуваної апаратури, значень вимірювальних параметрів, періодичності проведення випробовувань [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сформованій практиці обслуговування і ремонту ТД застосовується параметричне діагностування, що базується на вимірі сукупності параметрів, фізична природа яких визначається природою контрольованого процесу [2,6].

**Визначення мети і задачі досліджень.** Одна з найважливіших задач, яка вирішується при розробці діагностичного забезпечення, – вибір необхідної і достатньої сукупності діагностичних параметрів і встановлення їх гранично допустимих значень.

**Основна частина дослідження.** Тягові двигуни можуть нормально працювати лише із справною ізоляцією. Під дією різного роду дестабілізуючих факторів (електричні, теплові, електрохімічні) відбуваються структурні зміни матеріалу ізоляції, що призводить до розвитку первинних дефектів і виникнення нових. Відмова електричної ізоляції проявляється у вигляді її пробою.

Основною задачею профілактичних випробувань є виявлення дефектів, що розвиваються. Оцінка стану електрообладнання проводиться на підставі зіставлення всіх результатів випробувань та аналізу поведінки об'єкта випробувань в експлуатації [2,6].

Методи, які використовуються при всіх видах випробувань, можна класифікувати таким чином: руйнівні і неруйнівні [2,4,6].

До першої групи методів належать так звані руйнівні, коли при випробуваннях використовується підвищена напруга, в порівнянні з робочою, і викликає прискорене руйнування ізоляції в дефектному місці. Суттєвим недоліком таких випробувань є те, що прикладання підвищеної напруги не виключає появи нового дефекту, якого не було до випробування.

Другу групу складають неруйнівні, при яких використовується мала напруга і різні непрямі способи оцінки характеристик ізоляції, які не заподіюють шкоди ізоляційній конструкції і не можуть її пошкодити.

Діагностування ізоляційної конструкції ТД у процесі технічного обслуговування проводиться в основному неруйнівними непрямыми методами, які базуються на двох основних явищах, що виникають у діелектриках під дією слабких електричних полів: електропровідності та електричної поляризації.

В ізоляційній конструкції тягових двигунів виникає міжшарова поляризація, обумовлена неоднорідністю структури ізоляції. Припустимо, що в основну речовину діелектрика вкраплені включення підвищеної провідності. Тоді струм зміщення в ізоляції протікає частково по провідних включеннях (рис. 1). Тому при вмиканні діелектрика на постійну напругу в струмі виникає складова, обумовлена зарядом ємностей  $C$  через опір  $r$ . Стала часу міжшарової поляризації лежить у широких межах – від мілісекунд до десятків секунд і більше [4].

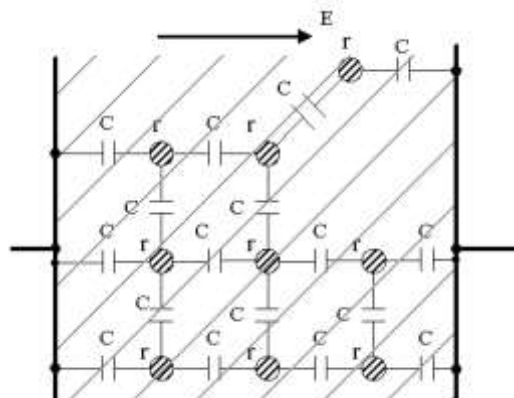


Рис. 1. Схема виникнення міжшарової поляризації

Для виявлення дефектів, які виникають в ізоляції, розроблені і застосовуються такі методи неруйнівного контролю ізоляції: вимірювання опору ізоляції; вимірювання кута діелектричних втрат; вимірювання ємності; вимірювання часткових розрядів в ізоляції.

Найпоширенішим методом контролю стану ізоляції є вимірювання її опору. Метод призначений для виявлення грубих дефектів, значного забруднення і зволоження ізоляції. Перевага методу полягає у великій чутливості до деяких місцевих дефектів і в простоті проведення вимірювань.

Абсорбційні характеристики виникають у діелектриках під дією електричного поля [5].

При підключенні діелектриків до постійної напруги, окрім постійного струму витоку, спостерігається в перебігу нетривалого часу так званий струм абсорбції, що спадає з часом до нуля за експоненціальним законом. Після закінчення перехідного процесу в схемі буде протікати лише крізний струм витоку. Вимірювання в певні моменти струму, що

проходить через ізоляцію, дає інформацію про ступінь її неоднорідності. В процесі старіння струм абсорбції зменшується. Отже, за струмом абсорбції можна судити про стан ізоляції і ступінь її старіння.

Вимірювання опору ізоляції визначається за наслідками вимірювань через 15 і 60 с після прикладання напруги на об'єкт. При цьому контролюється коефіцієнт абсорбції:

$$K_a = \frac{R_{60}}{R_{15}}$$

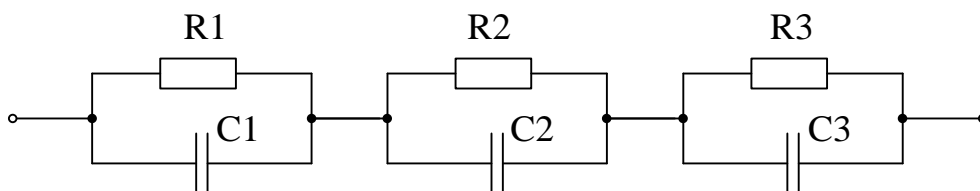


Рис. 2. Багатошарова схема заміщення корпусної ізоляції тягових електродвигунів

Математична модель багатошарової ізоляції для процесу саморозряду можна зобразити у вигляді суми затухаючих експонент з різними постійними часу:

$$u_c = \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{-\frac{t}{T_i}}, \quad (2.1)$$

де  $n$  - кількість шарів ізоляції;

$A_i$  - постійна величина для  $i$ -го шару; дорівнює напрузі на  $i$ -му шарі в початковий момент часу процесу саморозряду;

$T_i = R_i C_i$  - постійна часу  $i$ -го шару,

$t$  - поточний час.

Знаючи параметри математичної моделі, можна знайти і параметри схеми заміщення, використовуючи такі співвідношення:

$$R_i = \frac{R_{60}}{\sum_{i=1}^n A_i} \cdot A_i,$$

$$C_i = \frac{T_i}{R_i}.$$

Чим більше ізоляція містить побічних включень, зокрема чим більше зволожена ізоляція, тим менше коефіцієнт абсорбції.

Для визначення діагностичних параметрів ізоляційної конструкції ТД, останню можна зобразити у вигляді тришарової схеми заміщення, яка зображена на рис. 2.

Найбільшу інформацію про стан ізоляції можна отримати, аналізуючи процеси абсорбції в ній [5]. Про характер процесів абсорбції можна судити за зміною струму абсорбції. Проте більш зручно судити про них за залежностями опору ізоляції, напруги саморозряду і зворотної напруги від часу.

Протікання через діелектрик поляризаційних струмів веде до розігріву ізоляції. Пов'язані з цим втрати енергії називаються діелектричними. Діелектричні втрати при промисловій частоті виникають в основному за рахунок явищ швидкої поляризації.

Старіння ізоляції призводить до збільшення діелектричних втрат за рахунок збільшення активної складової струму, яка протікає в ній, і оцінюється тангенсом кута діелектричних втрат:

$$\frac{I_a}{I_r} = \operatorname{tg} \delta.$$

Вимірювання  $\operatorname{tg} \delta$  дає уявлення про якість ізоляції, а характер зміни при періодичних вимірюваннях дає можливість судити про погіршення властивостей ізоляції.

Метод ємність-частота базується на тому, що ізоляція містить сторонні включення, зокрема чим більше ізоляція зволожена, тим вище значення ємності  $C$ . Отже, вимірювання ємності об'єкта при двох частотах  $f_1$  і  $f_2$  дають змогу робити висновок про наявність в ізоляції сторонніх включень. Звичайно вимірювання

ємності ведеться на частотах  $f_1 = 2$  Гц і  $f_2 = 50$  Гц. Показником якості ізоляції служить відношення  $C_2/C_{50}$ . Чим це відношення менше, тим ізоляція доброякісніша. Для сухої ізоляції відношення  $C_2/C_{50} = 1.2 \div 1.3$ . В міру зволоження відношення  $C_2/C_{50}$  зростає.

Також основними дефектами ізоляційної конструкції є велика кількість повітряних включень, які виникають або через порушення структури ізоляції (розшарування, розриви), або через трапляння в конструкцію повітряних включень [3]. Електрична міцність таких дефектів нижча, ніж міцність іншої частини ізоляції, і при накладанні напруги створюються умови для виникнення пробою.

При накладанні напруги, особливо змінної, розряди відбуваються дуже часто, і в ланцюгу наявні безперервні високочастотні несинусоїдальні коливання струму. Амплітуда і інтенсивність цих коливань зростають по мірі

зростання числа повітряних включень унаслідок старіння і розшарування ізоляції [4,6].

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Таким чином, як діагностичні параметри для оцінки стану ізоляції ТД можна використовувати такі:  $R_{60}$  омичний опір ізоляції, замірний через 60 с після підключення напруги; коефіцієнт абсорбції  $K_a$ ;  $C_{50}$  електрична ємність ізоляції, заміряна на частоті 50 Гц; ємнісний коефіцієнт;  $\text{tg}\delta$  тангенс кута діелектричних втрат.

За інтенсивністю спаду струму абсорбції на початковому інтервалі часу розряду ізоляції можна судити про її внутрішній стан, дістаючи інформацію про зміну таких основних властивостей, як електропровідність і діелектрична проникність окремих шарів.

### Список використаних джерел

1. Сушко, Д.Л. До оцінки експлуатаційної надійності тягових двигунів постійного струму [Текст] / Д.Л. Сушко, О.В. Устенко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2009. – № 4. – С. 88-92.
2. Сей, П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения [Текст] / П.М. Сей. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
3. Вайда, Д. Исследование поврежденных изоляции [Текст] / Д. Вайда. – М.: Энергия, 1968. – 400 с.
4. Акімов, О.І. Техніка високих напруг. Ізоляція та перенапруги в пристроях електропостачання і електричної тяги залізничного транспорту [Текст]: навч. посібник / О.І. Акімов, Д.Л. Сушко. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 217 с.
5. Борисова, М.Э. Анализ абсорбционных и частотных характеристик диэлектриков на основе модельных эквивалентных схем [Текст] / М.Э. Борисова, С.П. Койков // Электричество. – 1988. - № 4. – С. 66-70.
6. Гуменюк, В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.М. Гуменюк. – Владивосток: Дальневост. гос. техн. ун-т, 2010. – 218 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.С. Крашенінін

---

Хамевко Олег Миколайович, слухач кафедри автоматизованих систем електричного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 098-403-78-46.

Сушко Дмитро Леонідович, канд. техн. наук, кафедра автоматизованих систем електричного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 066-121-60-10.

Khamevko Oleg Mykolayovych, student of the department «ASET». Tel.mob. 098-403-78-46.

Sushko Dmitriy Leonidovich, associate professor of the department «ASET». Tel.mob. 066-121-60-10.