

## ПОРІВНЯННЯ СТАНУ ЗВОЛОЖЕННЯ ЗІСТАРЕНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН З ВСИПНИМИ ОБМОТКАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Чумак В.В., к.т.н., доц., Котлярова В.В., асистент, Стулішенко А.С.,  
Ігнатюк Є.С., магістранти

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки*

**Вступ.** Робота електричної машини зі зволоженою зістареною ізоляцією призводить до її швидкого руйнування і є небезпечною через більшу вірогідність аварійної відмови, тому проблема оцінки стану зволоження зістареної ізоляції є актуальною та потребує створення нових способів визначення ступеню можливості її подальшої експлуатації. Значний вплив на стан ізоляційної конструкції має зволоження ізоляції при змінах кліматичних умов. Для нової ізоляції ця проблема стоїть не так гостро, порівняно зі зволоженням зістареної ізоляції [1].

**Мета роботи** полягає в порівняльній оцінці впливу зволоження зістареної ізоляції методом зняття частотних характеристик і оцінці характеру зміни вхідного опору в резонансній зоні.

**Матеріали та результати досліджень.** Для оцінки зволоження зістареної ізоляції електричних машин були розглянуті вхідні опори обмоток в широкому частотному діапазоні – від низьких частот до сотень кілогерц.

Вхідні опори в режимі холостого ходу  $Z_0$  і режимі короткого замикання  $Z_k$  вимірювались для тих же схем, при яких визначались параметри  $R_{із}$ ,  $C$ ,  $tg \alpha$  і  $k_y$ . Частотні характеристики вхідних опорів є узагальненими параметрами конструкції.

Якщо розглянути опори холостого ходу конструкції, то при  $f = 0$ ,  $Z_0 = R_{із}$ , тобто вхідні опори представляються одним зосередженим опором, хоча і складного характеру. При низьких частотах провідності  $\gamma_0 = \frac{1}{Z_0} =$

$= j\omega c + G$ , де  $c$  і  $G$  – поперечна ємність і провідність ізоляційної конструкції відповідно, тобто проявляється вплив ємнісних зв'язків конструкції. В діапазоні частот  $1 \text{ кГц} (1 \text{ кГц} < f < \omega_1$ , де  $\omega_1$  – перша резонансна частота) проявляється вплив всіх параметрів обмотки і вона аналогічна ланцюговій схемі, в якій в найпростішому випадку можна розглядати одну ланку.

При подальшому збільшенні частоти сильніше впливає розподіл параметрів, бо починає позначатись вплив позовжньої ємності. Можна сказати, що з підвищенням частоти проявляються все більш приховані властивості конструкції, однак одночасно на стільки ж зростає складність математичних моделей, що практичне використання цих результатів ускладняється [2].

Аналогічна картина спостерігається при вимірі вхідного опору короткого замикання  $Z_k$ . На частоті  $f = 0$ ,  $Z_k = R_0$ , де  $R_0$  – омичний опір обмотки. На низьких частотах  $Z_k = j\omega L + R$ , де  $R$  – активний опір обмотки. Потрібно

відзначити, що індуктивність в зоні низьких частот змінюється суттєво, так як по мірі зростання частоти магнітний потік витісняється на шляху розсіювання [3].

При подальшому підвищенні частоти починають впливати ємнісні зв'язки.

Частотні залежності вхідних опорів показані на рис. 1 і рис. 2.

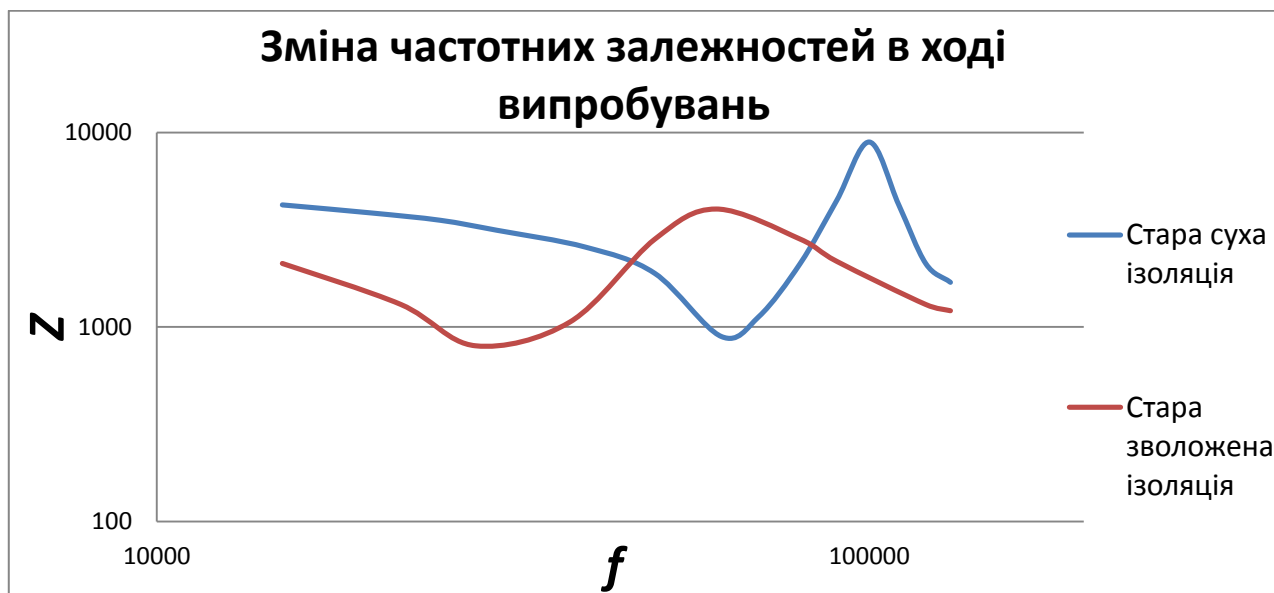


Рисунок 1 – Частотні залежності вхідних опорів (схема підключення на холостий хід)

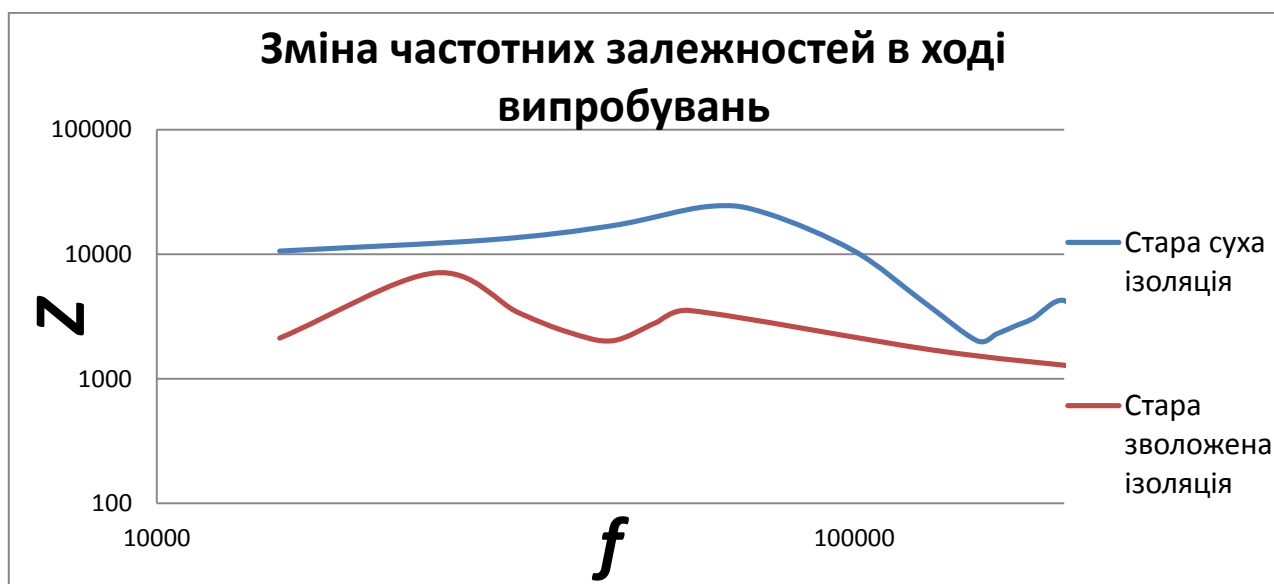


Рисунок 2 – Частотні залежності вхідних опорів (схема підключення на коротке замикання)

Очевидно, що окрім вимірів в області низьких частот, інтерес представляють загальний вигляд частотної характеристики і її характерні точки – резонансні частоти і резонансні опори.

Отже, спостерігається певна закономірність в зміні частотних

характеристик в процесі старіння, однак будь-які кількісні оцінки ускладнені. Більш наглядно ці залежності проявляються при розгляді хвильових опорів  $Z_x = \sqrt{Z_0 \cdot Z_k}$ , а особливо в зоні підвищених резонансних частот [4].

Хвильові параметри можуть бути знайдені не тільки шляхом зняття статичних частотних характеристик, але і при дослідженні перехідних процесів в обмотці.

**Висновки:** 1. Вхідні опори машин є узагальненими параметрами. Всі величини, що використовуються при регламентних випробуваннях і діагностиці, є частковими випадками вхідного опору.

2. Вхідні опори можуть визначатись за допомогою простих вимірювальних схем, використовуючи просту вимірювальну техніку.

3. Ступінь старіння ізоляції впливає на всі параметри, що використовуються для діагностики, однак для сухої ізоляції ця залежність в більшості випадків виражена слабо, а для деяких параметрів і не однозначна. Крім того, найменші зволоження можуть суттєво змінити величину параметрів, що використовуються.

4. Зволоження ізоляції перш за все впливає на збільшення ємності обмотки, що суттєво зменшує резонансну частоту у порівнянні з сухою ізоляцією і є діагностичною ознакою при періодичному контролі стану електричної машини.

#### Перелік посилань

1. З. Г. Каганов. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. Москва энергоатомиздат 1990. – С 123–128.

2. A. BOGLIETTI, E. CARPANETO (2001). An Accurate Induction Motor High-Frequency Model for Electromagnetic Compatibility Analysis. Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Elettrica Industriale, C.so Duca degli Abruzzi, 24 10129 Torino, Italy. – С 192–195

3. Ю. К. Горбунов. Высокочастотная диагностика изоляции обмоток электрических машин : автореферат – Новосибирск, 199. – С 21–25.

4. A. Boglietti; Cavagnino A.; M. Lazzari (2007). Experimental High-Frequency Parameter Identification of AC Electrical Motors. Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Elettrica Industriale, C.so Duca degli Abruzzi, 24 10129 Torino, Italy. – С 23–29