

## ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО З'ЄДНАННЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРІВ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У СУЧАСНИХ СТЕНДАХ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЛОКОМОТИВІВ

Показана доцільність з'єднання обмоток трансформаторів у статичних пристроях стендів для випробування тягових двигунів локомотивів у трикутник.

Показана цілесобразність соединения обмоток трансформаторов в статических устройствах стендов для испытания тяговых двигателей локомотивов в треугольник.

In this article the expediency of delta connection of transformer windings in the static devices of test desk for locomotive traction engine is demonstrated.

### Вступ

Сучасний стан напівпровідникової перетворювальної техніки дозволяє замінити електро-механічні перетворювачі у схемах стендів взаємного навантаження, які використовуються для випробування тягових машин локомотивів, статичними, що сприяє покращенню енергетичних показників стендів. У склад статичного перетворювача входить трифазний трансформатор, первинні обмотки якого отримують живлення від мережі  $\sim 380$  В підприємства по ремонту машин, а на вторинну сторону підключається напівпровідниковий перетворювач змінного струму у постійний з регульованою напругою. Такі статичні перетворювачі доцільно застосовувати замість традиційних вольто-додаткових машин (ВДМ) та лінійних генераторів (ЛГ).

ВДМ здійснюють компенсацію електричних втрат у системі двигун-генератор, а ЛГ компенсують втрати холостого ходу (магнітні і механічні). Але поки що відсутні рекомендації по вибору раціональних параметрів цих статичних перетворювачів, зокрема по схемах з'єднань обмоток трансформаторів.

### Матеріали та результати досліджень

У теперішній час в Україні на заводах та депо, де проводяться ремонти тягових двигунів локомотивів, до складу випробувальних станцій входять випробувальні стенди взаємного навантаження, виконані на електромеханічних (електромашинних) перетворювачах. Ці стенди використовуються вже більше 30-ти років і потребують модернізації. Крім того, у ряді депо з різних причин взагалі відсутні стенди для ви-

пробувань тягових машин після поточного ремонту третього.

При розробці нових стендів та модернізації існуючих потрібно враховувати ряд особливостей роботи підприємств у теперішній час. Зокрема, відсутність спеціальних окремих приміщень для розташування усього комплексу випробувальної станції, обмеження виробничих площ. Крім того, у багатьох депо експлуатуються по декілька видів локомотивів (електровози, тепловози, електросекції, дизельні секції).

У цих умовах доцільно розглянути питання про уніфікацію стендів, на яких можна було б проводити випробування тягових машин декількох видів локомотивів.

Наприклад, в депо Мелітополь Придніпровської залізниці знаходяться в експлуатації електровози ЧС2, ЧС7, тепловози 2ТЕ116. Потужність електровозних двигунів типу AL4846dT складає 700 кВт, напруга – 1500 В; тепловозних типу ЭД 118 – 305 кВт, 700 В. Вважається за доцільне розробити уніфікований стенд для випробувань двигунів як електровозів, так і тепловозів. Потрібне значення напруги на вторинному боці трансформатора досягається за рахунок регулювання кількості витків у фазах на первинному боці. Статичні перетворювачі позначимо ВДМ і ЛГ, як і в стендах з електромашинними перетворювачами. Розрахунки, проведені у відповідності з методикою, наведеною в [1], показують, що параметри статичного перетворювача ВДМ повинні бути: напруга  $U_{ВДМ} = 220$  В, струм  $I_{ВДМ} = 1450$  А, потужність  $P_{ВДМ} = 340$  кВт. Для статичного перетворювача ЛГ:  $U_{ЛГ} = 2000$  В,  $I_{ЛГ} = 30$  А,  $P_{ЛГ} = 60$  кВт.

Як бачимо, потужність ВДМ та ЛГ, особливо ВДМ, суттєва. Тому з метою зменшення габаритів трифазних стрижневих з плескатою магнітною системою трансформаторів вказаних перетворювачів пропонується масляне охолодження, тобто трансформатор матиме бак та деталі кріплення активної частини трансформатора у баці.

Відомо, що при насиченні сталі, при синусоїдній напрузі живлення і відповідно синусоїдному магнітному потоці у стрижнях струм неробочого ходу  $I_0$  трансформатора несинусоїдний. Із вищих гармонік цього струму найбільш сильна третя гармоніка. Залежність  $\frac{I_{03}}{I_{01}} = f(B)$  показана на рис. 1 [2], де  $B$  – індукція в стрижнях трансформаторів.

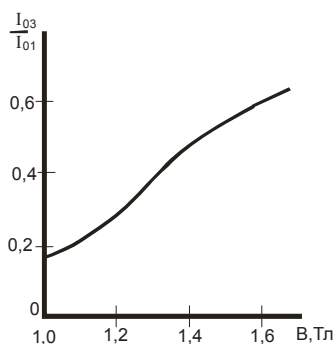


Рис. 1. Залежність  $\frac{I_{03}}{I_{01}} = f(B)$

В тристрижневому трансформаторі магнітопровід являє собою зв'язану систему. Потоки третіх гармонік у всіх трьох фазах, так як і струми, збігаються у часі. Це значить, що потоки третіх гармонік у кожний момент часу однакові по значенню і в стрижнях трансформатора направлені усі в одну сторону, наприклад уверх, як показано на рис. 2.

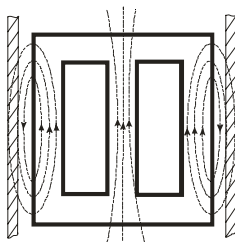


Рис. 2. Треті гармоніки потоку в тристрижневому трансформаторі

Із рис. 2 видно, що потік третьої гармоніки в якому-небудь стрижні, наприклад у першому, не може замкнутися ні через другий, ні через третій стрижні, оскільки у кожному з них він зустрічає зустрічний потік третьої гармоніки.

Це приводить до того, що лінії третьої гармоніки потоку у всіх трьох фазах виходять із магнітопроводу і замикаються від ярма через повітря, пульсуючи з частотою  $3f$ , де  $f$  – частота мережі живлення. Ці потоки намагаються йти по шляхах найменшого магнітного опору, використовуючи стінки бака, стяжні болти тощо. У результаті у цих елементах виникають вихрові струми і відповідно зростають втрати потужності, що знижують коефіцієнт корисної дії трансформатора. У ряді номінальних потужностей силових трансформаторів (ГОСТ 9680-77) найближче значення до розрахункової потужності трансформатора ВДМ (320 кВт) – 400 кВА, для трансформатора ЛГ (60кВт) – 100 кВА.

Дослідження показують, що при індукції в стрижнях порядку 1,65 Тл втрати у баці досягають 50...65 % від втрат у магнітопроводі [2]. Згідно ГОСТ 12022-76, втрати неробочого ходу складають 950 Вт для трансформаторів потужністю 400 кВА, та 330 Вт для трансформаторів потужністю 100 кВА.

Втрати короткого замикання відповідно 5500 Вт та 1970 Вт. Орієнтовано ККД трансформаторів

$$\eta_{ВДМ} = \frac{400 \cdot 0,8 - (950 + 5500)10^{-3}}{400 \cdot 0,8} 100\% = 97,98\%;$$

$$\eta_{ЛГ} = \frac{100 \cdot 0,8 - (330 + 1970)10^{-3}}{100 \cdot 0,8} 100\% = 97,12\%.$$

З урахуванням збільшення втрат неробочого ходу із-за дії вихрових струмів у баці викликаних третьою гармонікою потоку

$$\eta_{ВДМ} = \frac{400 \cdot 0,8 - [(950 + 5500)1,65]10^{-3}}{400 \cdot 0,8} 100\% = 96,67\%;$$

$$\eta_{ЛГ} = \frac{100 \cdot 0,8 - [(330 + 1970)1,65]10^{-3}}{100 \cdot 0,8} 100\% = 95,25\%.$$

Тобто дія вихрових струмів, викликаних у баці третьою гармонікою потоку, зменшує ККД на

$$\eta_{ВДМ} = 97,98\% - 96,67\% = 1,31\%;$$

$$\eta_{ЛГ} = 97,12\% - 95,25\% = 1,87\%.$$

Такий же вплив на значення ККД мають треті гармоніки і при навантаженні трансформатора. З метою усунення впливу третіх гармо-

нік рекомендуємо з'єднувати первинну обмотку у трикутник. У цьому випадку первинний трикутник являє собою контур, по якому усі три струми, що викликані третьою гармонікою потоку, замикаються усередині трикутника.

Втрати у баці в результаті дії вихрових струмів, викликаних потоками третьої гармоніки, при цьому відсутні. Той же ефект отримуємо і при з'єднанні у трикутник і вторинної обмотки. В уніфікованих стендах для випробування двигунів AL4846dT та ЭД118 доцільно застосовувати з'єднання у трикутник на первинному боці трансформатора, що спрощує схему статичного перетворювача.

### **Висновки**

З'єднання у трикутник первинних обмоток трифазних трансформаторів статичних перетворювачів ВДМ та ЛГ уніфікованого стенда для випробування тягових двигунів електровозів ЧС2, ЧС7 та тепловозів 2ТЕ116 збільшує ККД трансформаторів орієнтовно відповідно на

1,31 % та 1,87 % в порівнянні з варіантом, коли і первинні, і вторинні обмотки з'єднані по схемі «зірка». Таке збільшення значення ККД є суттєвим, особливо з урахуванням того, що при цьому не потрібні додаткові витрати.

### **БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Безрученко, В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу: навч. посібник [Текст] / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2003. – 252 с.
2. Пиотровский, Л. М. Электрические машины: учебник [Текст] / Л. М. Пиотровский. – Л.-М.: Госэнергоиздат, 1949. – 528 с.
3. ГОСТ 9680-70. Ряды номинальных мощностей силовых трансформаторов [Текст].
4. ГОСТ 12022-76. Параметры холостого хода и короткого замыкания трёхфазных масляных силовых трансформаторов общего назначения [Текст].

Надійшла до редколегії 28.07.2008.