

СПОСІБ ПЕРЕВІРКИ СИЛОВИХ ДРОСЕЛІВ ІМПУЛЬСНИХ ПРИСТРОЇВ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Запропоновано спосіб перевірки силових дроселів імпульсних пристроїв перетворювальної техніки, що базується на дослідженні перехідного процесу включення котушки з феромагнітним осердям на постійну напругу.

Ключові слова: дросель, індуктивність, перехідний процес, силовий перетворювач, насичення магнітопроводу, феромагнітне осердя.

Abstract

The method of checking the power inductor of pulse devices of converting technology, based on the study of the transitional process of inclusion of the coil with ferromagnetic core at constant voltage is proposed.

Keywords: inductor, inductance, transitional process, power converter, saturation of the magnetic circuit, ferromagnetic core.

Вступ

В сучасній електроенергетиці відбувається швидкий розвиток пристроїв силової перетворювальної техніки. Зокрема це стосується різних типів імпульсних перетворювачів, які знайшли широке застосування у різних сферах техніки у сонячній електроенергетиці, системах накопичення енергії, автомобільній техніці, керованому приводі, стабілізованих джерел живлення різної напруги та потужності тощо [1-3].

Цьому сприяє бурхливий розвиток силових напівпровідникових компонентів, що спостерігається у сьогоднішній, який дозволяє постійно збільшувати робочі струми та частоти нових електронних пристроїв. Дроселі є невід'ємною складовою практично всіх імпульсних пристроїв силової електроніки. Їх параметри разом з параметрами електронного ключа визначають експлуатаційні та енергоефективнісні показники пристрою.

Від надійної роботи дроселів залежить роботоздатність усієї схеми, оскільки вони є обмежувачами струму через напівпровідникові ключі, тому вони повинні відповідати вибраним параметрам. Серед яких основними є індуктивність, втрати в осерді та обмотках, міжвиткова ізоляція, струм, за якого настає насичення осердя. Крім того вказані параметри суттєво залежать від температури і мають відповідати вимогам у всьому експлуатаційному діапазоні температур. На стадії розробки та проектуванні пристроїв силової електроніки надзвичайно важливою є перевірка дроселів на відповідність розрахунковим параметрам та відсутність браку. Існуючі засоби вимірювання індуктивності (мультиметри) не завжди дають змогу виявити дефекти, тому що вимірювання, які здійснюються за їх допомогою, проводяться за значень напруг та струмів значно нижчих за номінальні, а випробування на реальних пристроях обходиться дуже дорого.

Метою пропонованої роботи є розробка простого й зручного способу перевірки основних параметрів силових дроселів імпульсних пристроїв перетворювальної техніки.

Результати дослідження

Силовий дросель імпульсного пристрою перетворювальної техніки являє собою обмотку намотану на феромагнітне осердя з повітряним зазором. Його індуктивність визначається кількістю витків, матеріалом та геометричними розмірами осердя, величиною повітряного зазору, а також залежить від температури та струму, що протікає через обмотку. Останнє визначається залежністю магнітної

індукції від напруженості магнітного поля в середині феромагнітного осердя (кривою намагнічення). В запроєктованому діапазоні робочих струмів дроселя його індуктивність має змінюватись не суттєво і її можна прийняти за постійну величину. При досягненні струмом певного значення виникає явище насичення осердя й індуктивність різко зменшується й залишається на рівні індуктивності розсіювання.

Опис і дослідження цих явищ виходить за межі пропонованої роботи і досить докладно викладений в теоретичних працях [3,4].

Метою перевірки силового дроселя таким чином є визначення його індуктивності у робочому діапазоні струмів, визначенні струму, за якого виникає явище насичення осердя, тобто падіння його індуктивності. При цьому ізоляція між витками обмотки повинна витримувати дію напруги, яку призначений комутувати напівпровідниковий ключ відповідного пристрою.

Для виконання поставленої задачі можна скористатись аналізом перехідного процесу включення котушки з феромагнітним осердем на постійну напругу U за нульових початкових умов (рис.1). Оскільки у більшості випадків для силових дроселів резистивний опір значно менший за індуктивну складову на частоті перемикання ключа імпульсного пристрою перетворювальної техніки, то при дослідженні перехідного процесу нею можна знехтувати.

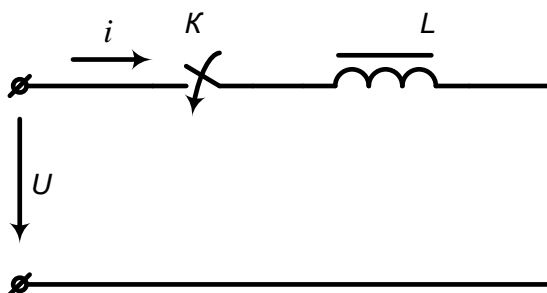


Рис. 1. Схема включення дроселя на постійну напругу

У такому разі у післякомутаційному стані схеми перехідний процес описується диференціальним рівнянням [3-6]:

$$U = L \frac{di}{dt} . \quad (1)$$

Його розв'язком для перехідного струму i за нульових початкових умов буде рівняння:

$$i = \frac{U}{L} t , \quad (2)$$

де L – індуктивність дроселя, залежність якої від струму можна спрощено у вигляді:

$$L = \begin{cases} L_0 + L_s, & \text{для } i < I_{нас} \\ L_s, & \text{для } i > I_{нас} \end{cases} ,$$

де L_0 - основна індуктивність, L_s - індуктивність розсіювання, $I_{нас}$ - струм, за якого відбувається насичення осердя. При чому $L_0 \gg L_s$.

Графік такого процесу при включенні на постійну напругу $U = 300V$ дроселя виконаного з 30 витків на потрібному осерді E71-3C90 з повітряним зазором $\delta = 8,9mm$ та наступними розрахунковими параметрами параметрами: $L_s = 55 \mu H$, $L_0 = 360 \mu H$, $I_{нас} = 75A$, що отриманий теоретичним шляхом, зображено на рис. 2.

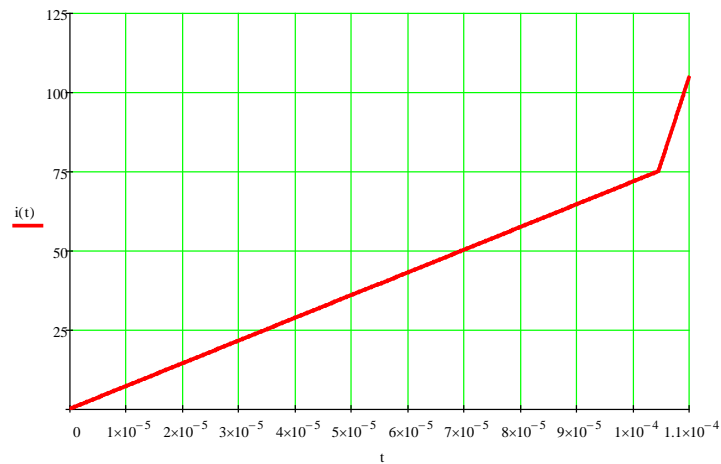


Рис. 2. Теоретичний перехідний струм дроселя

Отже, струм після замкнення ключа К буде лінійно зростати з нахилом кривої $\frac{U}{(L_0 + L_s)}$ до деякої точки, в якій досягне значення $I_{нас}$, та після якої буде змінюватись також лінійно, але з нахилом $\frac{U}{L_s}$, тобто зростання струму буде відбуватись швидше.

Таким чином запропонований спосіб перевірки дроселів полягає в отриманні осцилограми перехідного струму при включенні дроселя на постійну напругу з подальшим її аналізом. За нахилом кривої на обох ділянках обраховується індуктивність при ненасиченому й насиченому осерді на робочих струмах, а також визначається значення струму насичення. Оскільки випробування відбувається при напрузі комутації реальних пристроїв відбувається перевірка міжвиткової ізоляції і в разі виникнення міжвиткового замикання осердя розмагнічується й струм відразу після комутації зростає з нахилом близьким до $\frac{U}{L_s}$.

На рис. 3 подано фото осцилограми перехідного струму (жовта крива) реального дроселя з вказаними параметрами.

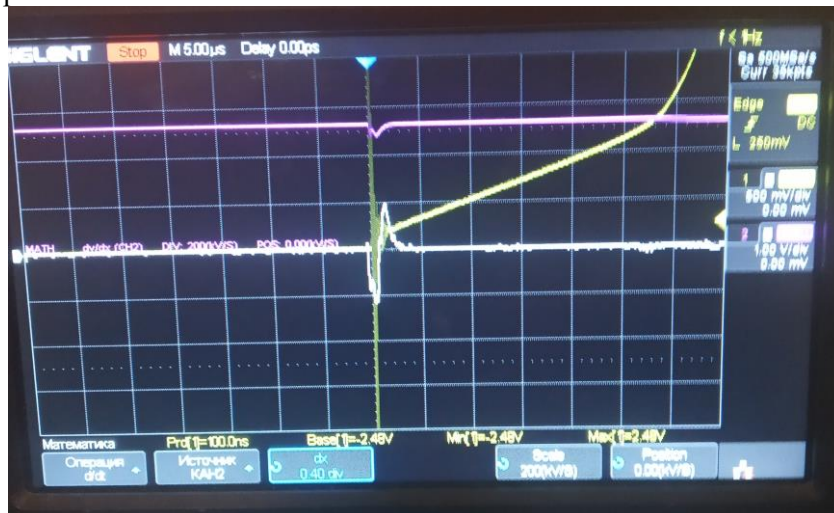


Рис. 3. Осцилограма перехідного струму

На рис. 3 масштаб по часу $Mt = 10$ мкс/под, масштаб по струму $Mi = 30$ А/под, масштаб по напрузі (фіолетова крива) $Mu = 100$ В/под. Аналізуючи осцилограму, можна обрахувати індуктивність при ненасиченому осерді: $L = \frac{U \Delta t}{\Delta i} \approx \frac{270V \cdot 100\mu\text{с}}{75A} = 360\mu\text{Гн}$ та визначити струм, за якого відбувається

насичення осердя, $I_{нас} \approx 75A$. Таким чином можна зробити висновок, що протестований дросель відповідає розрахунковим даним та не містить дефектів міжвиткової ізоляції.

Висновки

Отже, у роботі показано, що для перевірки силових дроселів імпульсних пристроїв перетворювальної техніки можна використати аналіз перехідного процесу включення котушки на феромагнітному осерді на постійну напругу. За нахилом перехідного струму визначають індуктивність а за точкою зміни нахилу – струм, за якого відбувається насичення осердя. Визначений теоретично закон зміни перехідного струму підтверджують отримані на реальному об'єкті осцилограми, які в цілому збігаються. Подальшого дослідження вимагає лише проміжок переходу осердя до насиченого стану, який відбувається не миттєво, як було прийнято у роботі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. М.: СОЛОН-Пресс, 2015. 416 с.
2. Keith Billings: Switch mode power supply handbook Mc Graw Hill, 1989, ISBN 0-07-005330-8
3. Schmidt-Walter H., Kories R. Electrical Engineering: A Pocket Reference 6th Edition. — Artech House Inc., 2007. — 688 p. — ISBN-13 978-1-59693-244-9.
4. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Изд. 6-е, перераб. и доп. Учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов. М.: Высш. школа, 1973. 752 с.
5. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.1. Л.: Энергоиздат, 1981.- 536с.
6. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.2.-Л.: Энергоиздат, 1981.- 416с.

Коваль Андрій Миколайович — кандидат технічних наук, асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: koval.a.m@vntu.edu.

Іскра Богдан Ігорович — студент групи ІЕМ-216 факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет.

Килавчук Олександр Валерійович студент групи ІЕМ-216 факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет.

Andriy M. Koval— Department of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measuring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: koval.a.m@vntu.edu.

Bohdan Iskra Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Oleksandr Kylvavchuk — Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia