

МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПРИВОДА ВАКУУМНОГО ВИМИКАЧА НА ОСНОВІ ВЕБЕР-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

¹Вінницький національний технічний університет

Запропоновано метод діагностування електромагнітного приводу вакуумного вимикача. Досліджено, що існує стійка тенденція до підвищення кількості порушень електропостачання відповідальних енергетичних об'єктів, що призводить до негативних наслідків. Більшість електроустаткування в електроенергетичних системах потребує ремонту або заміни. Застарілі масляні вимикачі масово замінюють на вакуумні. Вакуумні вимикачі мають низку переваг серед інших типів комутаційного обладнання. Більшість вакуумних вимикачів обладнані електромагнітними приводами. Некоректна робота електромагнітного приводу призводить до відмови вакуумного вимикача. Запропонований метод дозволяє визначити технічний стан електромагнітного приводу вакуумного вимикача. Суть методу полягає у вимірюванні «еталонної» кривої магнітної характеристики після введення нового вимикача в експлуатацію або після його капітального ремонту та порівняння цієї кривої з вимірними магнітними характеристиками в процесі його подальшої експлуатації. В процесі експлуатації змінюється форма вебер-амперних характеристик обмоток електромагнітного приводу вакуумного вимикача. Контроль відхилення від «еталонної» характеристики дозволяє оцінити поточний стан електромагніту та ступінь його зносу. Проведено експеримент з імітацією несправності вакуумного вимикача, за результатами якого за запропонованим методом можна визначати коефіцієнт відхилення вебер-амперних характеристик, за яким оцінюється технічний стан електромагніту та приводу вакуумного вимикача в цілому. Наведено результати вимірювання кривих струму, напруги та розрахованих вебер-амперних характеристик для обмоток увімкнення/вимкнення електромагніту вимикача. Визначено коефіцієнти відхилення для обмоток увімкнення/вимкнення, використовуючи імітацію несправності вакуумного вимикача.

Ключові слова: вакуумний вимикач, вебер-амперна характеристика, діагностування, електромагнітний привід, обмотка.

Вступ

Надійне електропостачання споживачів можливе лише у випадку стійкої роботи усього обладнання енергосистеми. При цьому особлива увага приділяється вимикачам, за допомогою яких здійснюється комутація в електричних мережах. В Україні експлуатуються вимикачі, більшість з яких вже майже або повністю відпрацювали свій ресурс [1].

На сьогодні здійснюється заміна морально та фізично застарілого обладнання на сучасне. Світова тенденція розвитку електротехнічного устаткування свідчить про заміну поширених у минулому масляних та маломасляних вимикачів напругою 6...35 кВ на вакуумні вимикачі [2].

Вакуумні комутаційні апарати мають найбільшу динаміку розвитку і є найперспективнішими в розподільчих установках середньої номінальної напруги. Вакуумні дугогасильні пристрої мають високу надійність і зносостійкість.

Для оцінки технічного стану вакуумного вимикача використовуються різні способи, але зручніше за все проводити діагностику вимикача за допомогою спеціально призначених приладів [3].

Однією з головних причин відмов надійної роботи вакуумного вимикача є некоректна робота приводу. Більша частина вакуумних вимикачів має електромагнітний привод. Електромагнітний привод здійснює увімкнення та вимкнення вимикача, фіксує вимикач у крайніх положеннях. Вихід

з ладу приводу спричиняє відмову роботи вакуумного вимикача, що призводить до повного припинення подачі електроенергії населенню, припинення роботи промислових і сільськогосподарських підприємств, транспорту тощо. Тому діагностування технічного стану електромагнітного приводу вакуумних вимикачів є задачею актуальною.

Для реалізації задач діагностування електромагнітного приводу проведено багато досліджень на основі аналізу вебер-амперних характеристик. У роботах [4]—[6] викладено низку доказів, що підтверджують вплив дефектів, які виникають в електромагнітному приводі на форму кривої вебер-амперної характеристики електромагніту. Форма нелінійної кривої змінюється протягом усього життєвого циклу приводу. На форму кривої вебер-амперної характеристики впливає: поява міжвиткових замикань в обмотці, що приводить до зниження її електричного опору і ефективного числа витків; зміна геометричних параметрів феромагнітних елементів електромагніту, що приводить до збільшення немагнітного зазору; забруднення дотичних робочих поверхонь, що підвищує коефіцієнт тертя і перешкоджає роботі приводу при заданих параметрах електричних сигналів. Авторами у роботах [7], [8] розроблена автоматична система MagHyst, яка дозволяє вимірювати квазістатичні характеристики магнітних матеріалів, проте ця система використовується на етапі виготовлення та перевірки якості електричних апаратів. У роботах [9], [10] авторами запропоновано метод вимірювання вебер-амперних характеристик, але він використовується для електромагнітів змінного струму, що не дозволяє його застосувати для отримання вебер-амперних характеристик електромагнітного приводу постійного струму.

Враховуючи аналіз попередніх досліджень, можна зробити висновок, що відомі методи та моделі діагностування вебер-амперних характеристик не дають можливості діагностування технічного стану електроприводу вакуумного вимикача. Вирішення цієї проблеми потребує застосування методів, які врахують ступінь відхилення між еталонною та вимірною вебер-амперною характеристикою обмоток електромагніту вимикача. Перспективним є аналіз вебер-амперних характеристик електромагніту вакуумного вимикача та встановлення їх взаємозв'язку з дефектами в електромагнітному приводі.

Метою роботи є розробка методу діагностування електромагнітного приводу, що дозволить підвищити надійність його роботи та довговічність експлуатації вакуумного вимикача.

Результати дослідження

Як приводний механізм вакуумного вимикача розглянуто електромагніт постійного струму. Електромагніти постійного струму є найекономічнішими, вони мають різні конструктивні виконання.

Розглянемо рівняння електричного кола обмотки електромагніта [11]:

$$u = i \cdot R_a + \frac{d\Psi}{dt}, \quad (1)$$

де u — напруга живлення обмотки електромагніта; i — миттєве значення струму в обмотці електромагніта; R_a — активний опір обмотки; Ψ — миттєве значення потокозчеплення обмотки; t — час.

Рівняння (1) дозволяє провести аналіз енергетичного перетворення в електромагнітному пристрої, коли електрична енергія, яка надходить від джерела живлення, перетворюється в енергію магнітного поля.

Відповідно до рівняння (1) можна отримати магнітну характеристику електромагнітного приводу

$$\Psi = \int (u(t) - i(t)R_a) dt. \quad (2)$$

У загальному випадку рівняння (2) враховує вплив вихрових струмів, що виникають під час перехідних процесів у магнітопроводі, суцільних конструктивних деталях і обмотках, зчеплених з магнітним потоком. Крива намагнічування магнітопроводу і її зміна при переміщенні якоря визначає ступінь перетворення магнітної енергії в механічну і характеризує величину діючої в певний момент електромагнітної сили.

Процес визначення вебер-амперної характеристики розпочинається з вимірювання активної складової опору обмотки R_a . Далі здійснюється вимірювання напруги живлення електромагніта та струму, який протікає через цей електромагніт. Розраховується значення вебер-амперної характеристики на кожному кроці вимірювання.

Для отримання магнітної характеристики розраховують диференціали потокозчеплення

$$d\Psi_i = (U_i - I_i \cdot R_a)(t_i - t_{i-1}), \quad (3)$$

де U_i — значення напруги живлення обмотки електромагніта; I_i — значення струму, який протікає через електромагніт; t_i — час, протягом якого здійснюється вимірювання напруги та струму; i — порядковий номер кроку вимірювання.

Відповідно значення потокозчеплення на i -му кроці вимірювання:

$$\Psi_i = \Psi_{i-1} + d\Psi_i. \quad (4)$$

Для розрахунку магнітної характеристики, на першому кроці (якщо $i = 1$) вважаємо величину потокозчеплення $\Psi_1 = 0$, у подальшому обчисленні використовуємо виміряні значення на кожному відповідному кроці вимірювання.

За розрахованими значеннями потокозчеплення та струму обмотки можна отримати характеристику $\Psi_i = f(I_i)$, в кожній точці i -го вимірювання.

Після введення нового вимикача в експлуатацію або після його капітального ремонту здійснюється вимірювання необхідних електричних величин для розрахунку його вебер-амперної характеристики. Отримана характеристика $\Psi_{ет} = f(I_{ет})$ є еталонною, яка порівнюється з виміряними магнітними характеристиками $\Psi_{г} = f(I_{г})$ в процесі подальшої експлуатації вимикача.

Для визначення поточного технічного стану електромагніту необхідно мати набір значень еталонної вебер-амперної характеристики $\Psi_{i,ет} = f(I_{i,ет})$ та поточної вебер-амперної характеристики $\Psi_{i,в} = f(I_{i,в})$. Кількість розрахованих значень для еталонної і поточної вебер-амперної характеристики мають бути рівними ($i.ет = i.в$).

Відносний квадрат відхилення між еталонними та поточними значеннями на кожному кроці вимірювання

$$\delta\Psi_i^2 = \left(\frac{(\Psi_{i,в} - \Psi_{i,ет})}{\Psi_{i,ет}} \right)^2, \quad (5)$$

де $\Psi_{i,в}$ — поточне значення потокозчеплення розраховане на i -му кроці вимірювання; $\Psi_{i,ет}$ — еталонне значення потокозчеплення розраховане на i -му кроці вимірювання.

Коефіцієнт відхилення враховує загальний ступінь відхилення між еталонними та поточними значеннями вебер-амперної характеристики:

$$K_B = \sum_{i=1}^N \delta\Psi_i^2. \quad (6)$$

Цей коефіцієнт відображає ступінь відхилення, що відповідає відхиленню кривої вебер-амперної характеристики електромагніта від її початкової форми.

Коефіцієнт відхилення може бути застосований у моделі прийняття діагностичного висновку про поточний стан електромагніта

$$\begin{cases} K_B \leq K_{ГР1} \rightarrow \text{справний стан,} \\ K_{ГР1} < K_B \leq K_{ГР2} \rightarrow \text{на межі несправності,} \\ K_B > K_{ГР2} \rightarrow \text{несправність,} \end{cases} \quad (7)$$

де $K_{ГР1}$, $K_{ГР2}$ — граничні коефіцієнти, які відповідають технічному стану електромагнітного привода вимикача.

Для отримання коефіцієнтів $K_{ГР1}$, $K_{ГР2}$ необхідно по осцилограмах увімкнення/вимкнення для різного технічного стану привода розрахувати вебер-амперні характеристики обмоток. Осцилограми, на яких зображено криві струму та напруги (виміряні для різних технічних станів електромагнітного привода) при увімкненні/вимкненні вимикача надаються заводом виробником вакуумного вимикача. По розрахованих вебер-амперних характеристиках для різних технічних станів розраховують коефіцієнти відхилення від еталонної кривої. Значення еталонної кривої для розрахунку коефіцієнтів відхилення надаються також заводом-виробником вакуумного обладнання. Отримані коефіцієнти можуть використовуватися в процесі отримання діагностичного висновку про технічний стан електромагніту вимикача.

Для перевірки запропонованого методу отримання діагностичного висновку проведено натурний експеримент на підприємстві СО "ВВЕМ" ПАТ «Вінницяобленерго». В якості досліджуваного об'єкта використано вакуумний вимикач типу ВР0-10-12,5/630 У2, виробник ТОВ «ВИСОКОВОЛЬТНИЙ СОЮЗ РЗВА».

Вакуумні вимикачі компанії серії ВР0 призначені для комутації електричних кіл за нормальних і аварійних режимів в мережах трифазного змінного струму частотою 50 (60) Гц з номінальною напругою 10 кВ для систем з ізольованою нейтраллю. Вимикачі використовуються для щойно спроектованих КРУ (комплектна розподільча установка), а також для реконструкції шаф КРУ, що уже перебувають в експлуатації [12].

В процесі роботи здійснено вимірювання струму та напруги обмоток увімкнення та вимкнення електромагніту під час комутації вакуумного вимикача. Активний опір обмотки увімкнення складає $R_a = 12,8$ Ом, а обмотки вимкнення $R_a = 8,3$ Ом.

Результати вимірювання струму та напруги обмоток електромагніту при комутації вакуумного вимикача показано на рис. 1.

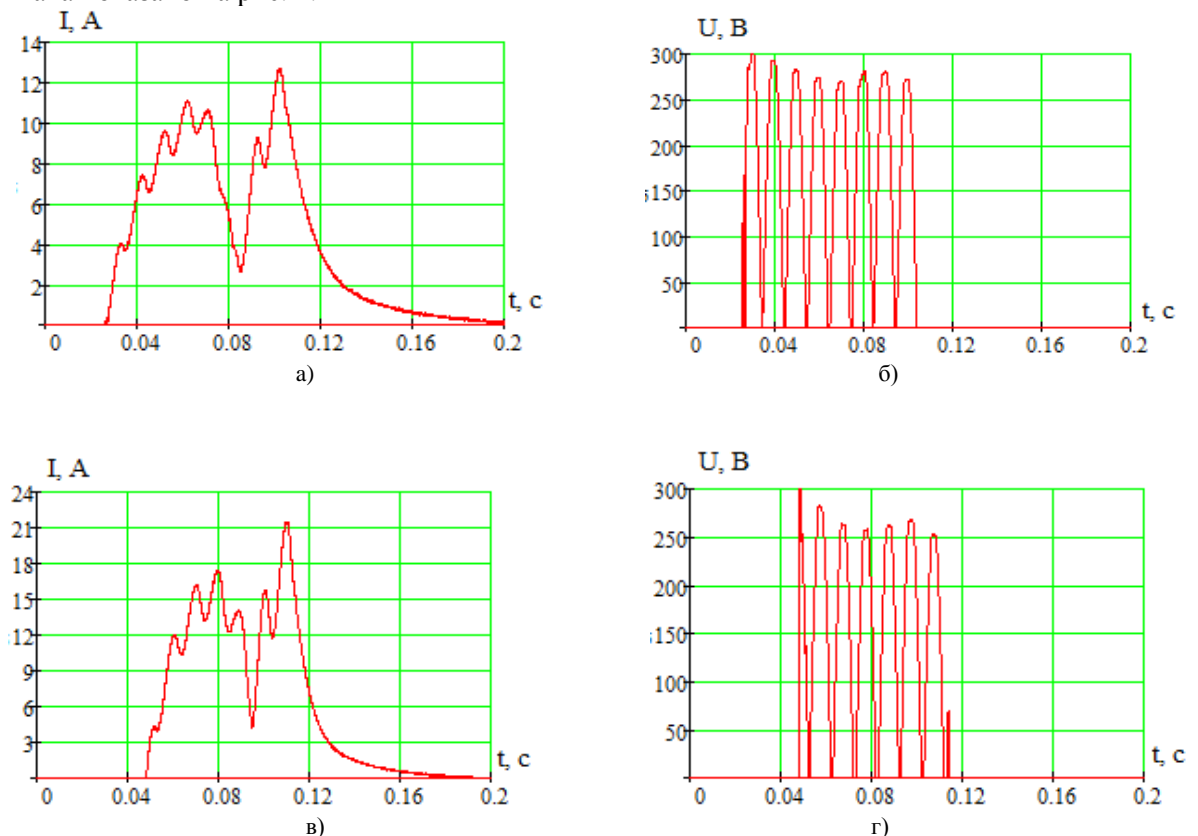


Рис. 1. Графіки струму та напруги, отримані під час вмикання та вимикання вимикача: а — струм обмотки увімкнення при вмиканні вимикача; б — напруга на обмотці увімкнення при вмиканні вимикача; в — струм обмотки вимкнення при вимиканні вимикача; г — напруга на обмотці вимкнення при вимиканні вимикача

Відповідно до формул (2)—(4) розраховано значення потокозчеплення на кожному кроці вимірювання для обмоток увімкнення та вимкнення при комутації вакуумного вимикача.

В результаті багаторазового вимірювання з'ясовано, що оптимальною кількістю точок для вимірювання електричних параметрів (з періодичністю вимірювання 0,00004 с) для обмотки увімкнення складає 2500 значень, для обмотки вимкнення — 2700 значень.

Для прикладу розрахуємо диференціал потокозчеплення для обмотки вимкнення. Для цього в довільній формі вибрано крок вимірювання $i = 1901$. Відповідно диференціал потокозчеплення, коли $i = 1901$, згідно з виміряними значеннями струму, напруги та активного опору становитиме

$$d\Psi_{1901} = (U_{1901} - I_{1901}R_a)(t_{1901} - t_{1900}) = (229,646 - 14,3 \cdot 8,3)(0,076 - 0,07596);$$

$$d\Psi_{1901} = 0,0044 \text{ Вб.}$$

Відповідно до формули (4) потокозчеплення

$$\Psi_{1901} = (\Psi_{1900} + d\Psi_{1901}) = 2,10225 + 0,0044 = 2,107 \text{ (Вб)}.$$

Результати розрахунку для інших значень потокозчеплення для обмотки вимкнення подані у табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунок потокозчеплення обмотки вимкнення

№ i	t_i, c	U_i, B	I_i, A	$d\Psi_i, Bб$	$\Psi_i, Bб$
1	0	0	0	0	0
2	0,00004	0	0	0	0
3	0,00008	0	0	0	0
.....					
1900	0,07596	227,313	14,264	0,00436	2,10225
1901	0,076	229,646	14,3	0,0044	2,107
1902	0,07604	232,3481	14,33	0,00453	2,1112
.....					
2748	0,10988	183,437	21,514	0,000195	4,0584
2749	0,10992	180,92	21,45	0,000115	4,0586
2750	0,10996	178,403	21,483	0,0000036	4,0585

Відповідно до розрахованих значень потокозчеплення побудовано вебер-амперну характеристику обмотки вимкнення електромагніту вакуумного вимикача. Результати розрахунку показано на рис. 2.

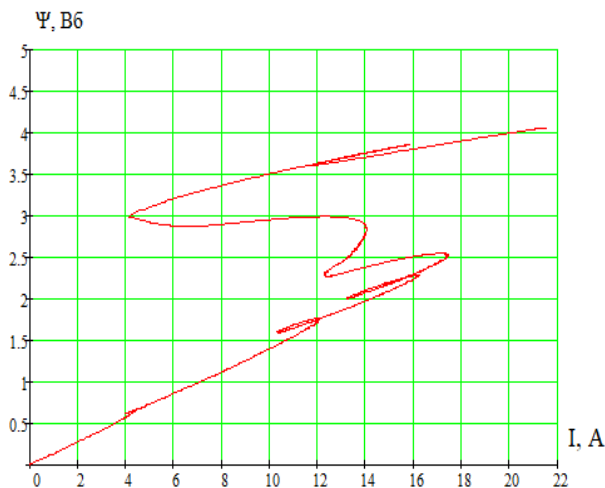


Рис. 2. Вебер-амперна характеристика обмотки вимкнення електромагніту вакуумного вимикача

Аналітично розраховано вебер-амперну характеристику для обмотки увімкнення. Результати розрахунку подані у табл. 2.

Таблиця 2

Розрахунок потокозчеплення обмотки увімкнення

№, i	t_i, c	U_i, B	I_i, A	$d\Psi_i, Bб$	$\Psi_i, Bб$
1	0	0	0	0	0
2	0,00004	0	0	0	0
3	0,00008	0	0	0	0
.....					
1020	0,04076	279,82	6,853	0,0077	2,313
1021	0,0408	278,37	6,82	0,00764	2,321
1022	0,04084	276,9	6,95	0,0075	2,328
.....					
2557	0,10224	170,31	12,71	0,000305	6,657
2558	0,10228	167,082	12,646	0,000208	6,659
2559	0,10232	163,65	12,615	0,000087	6,659

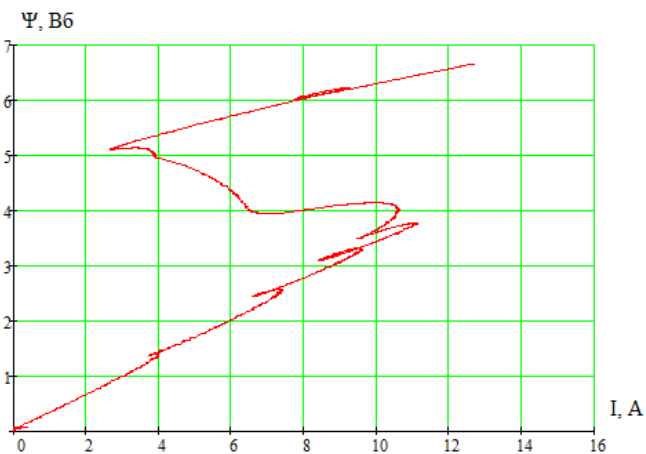


Рис. 3. Вебер-амперна характеристика обмотки увімкнення електромагніту вакуумного вимикача

Побудуємо вебер-амперну характеристику обмотки увімкнення при увімкненні електромагніту вакуумного вимикача. Результати розрахунку показано на рис. 3.

Зображені на рис. 2, 3 вебер-амперні характеристики для обмоток увімкнення та вимкнення електромагніту вакуумного вимикача при його комутації приймаємо еталонними, оскільки вимикач є справним і відповідає паспортним параметрам. Для перевірки адекватності роботи запропонованого методу діагностичного висновку зімітовано несправності при увімкненні та при вимкненні вакуумного вимикача. При увімкненні розрегульовано блок-контакти положення вимикача, що призвело до ранньо-

го відключення живлення від обмотки увімкнення. При вимкненні вакуумного вимикача зміщено напрямок руху осі приводної тяги, що призвело до додаткового навантаження при вимкненні вимикача.

На рис. 4 показано порівняння вебер-амперних характеристик для справного електромагнітного привода вимикача та привода з дефектом при увімкненні та вимкненні вимикача.

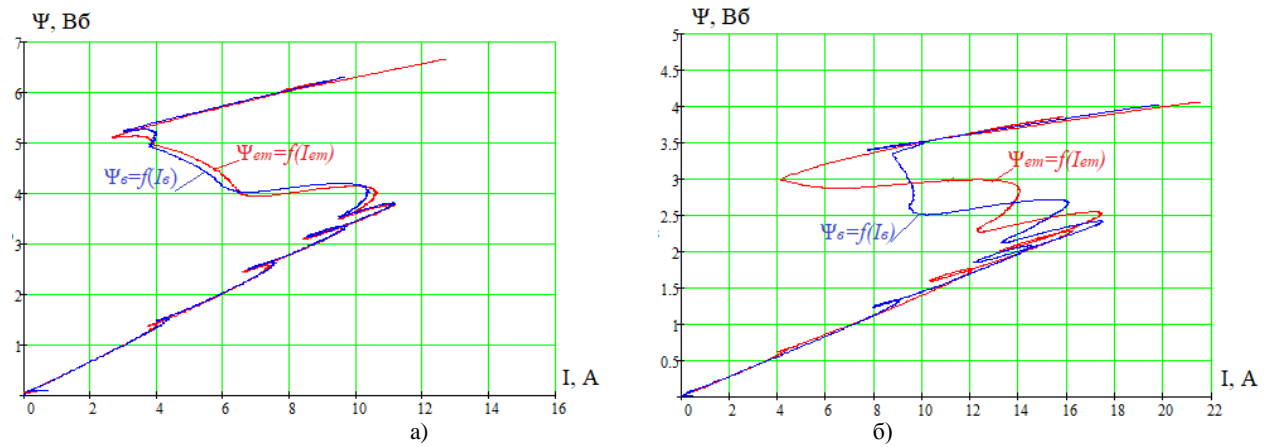


Рис. 4. Порівняння вебер-амперних характеристик справного електромагнітного привода вакуумного вимикача $\Psi_{ср} = f(I_{ср})$ та з дефектом $\Psi_{в} = f(I_{в})$: а — обмотки увімкнення; б — обмотки вимкнення

Знайдемо коефіцієнти відхилення для обмотки увімкнення та вимкнення електромагнітного привода вакуумного вимикача, використовуючи отримані значення.

Для прикладу розрахуємо відносний квадрат відхилення між еталонними та поточними значеннями для обмотки ввімкнення. Для цього в довільній формі вибрано крок вимірювання $i = 1021$. Відповідно відносний квадрат відхилення, коли $i = 1021$ для виміряних і еталонних значень за формулою (5)

$$\delta\Psi_{1021}^2 = \left(\frac{(\Psi_{1021.в} - \Psi_{1021.ет})}{\Psi_{1021.ет}} \right)^2 = \left(\frac{(2,39 - 2,32)}{2,32} \right)^2 = 0,011.$$

Результат розрахунку для інших значень квадрату відхилення обмотки ввімкнення електромагнітного привода подано в табл. 3.

Таблиця 3

Квадрати відхилення між еталонними та поточними значеннями вебер-амперної характеристики при ввімкненні вимикача

№, i	$\Psi_{i.ет}$, Вб	$\Psi_{i.в}$, Вб	$\delta\Psi_i^2$
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
.....			
1020	2,31	2,39	0,0011
1021	2,32	2,39	0,0011
1022	2,32	2,4	0,001
.....			
2557	6,65	0	1
2558	6,65	0	1
2559	6,65	0	1

Розрахуємо загальний коефіцієнт відхилення між еталонними та поточними значеннями вебер-амперної характеристики при увімкненні вакуумного вимикача за формулою (6)

$$K_B = 0_1 + \dots + 0,011_{1020} + \dots + 1_{2559} = 321,022.$$

В цьому випадку, технічний стан є на межі несправності оскільки подальша експлуатація вимикача з розрегульованими блок-контактами призвела до недовмикання вакуумного вимикача.

Для прикладу розрахуємо відносний квадрат відхилення між еталонними та поточними значеннями для обмотки вимкнення. Для цього в довільній формі вибрано крок вимірювання $i = 1901$. Відповідно відносний квадрат відхилення, коли $i = 1901$ для виміряних і еталонних значень за формулою (5)

$$\delta\Psi_{1901}^2 = \left(\frac{(\Psi_{1901.в} - \Psi_{1901.ет})}{\Psi_{1901.ет}} \right)^2 = \left(\frac{(2,38 - 2,1)}{2,1} \right)^2 = 0,017.$$

Результат розрахунку для інших значень квадрату відхилення обмотки вимкнення електромагнітного привода наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Квадрати відхилення між еталонними та поточними значеннями вебер-амперної характеристики при вимкненні вимикача

№, i	$\Psi_{i.ет}$, Вб	$\Psi_{i.в}$, Вб	$\delta\Psi_i^2$
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
.....			
1900	2,1	2,39	0,018
1901	2,1	2,38	0,017
1902	2,11	2,38	0,016
.....			
2748	4,05	0	1
2749	4,06	0	1
2750	4,06	0	1

Розрахуємо загальний коефіцієнт відхилення між еталонними та поточними значеннями вебер-амперної характеристики при вимкненні вакуумного вимикача за формулою (6)

$$K_B = 0_1 + \dots + 0,018_{1900} + \dots + 1_{2750} = 209,074.$$

В цьому випадку технічний стан є також на межі несправності, оскільки подальше тестування вимикача призвело до збільшення струму в обмотці вимкнення.

Отже, аналіз вебер-амперних характеристик в процесі експлуатації дозволяє визначити технічний стан електромагнітного привода вакуумного вимикача. Зміна форми кривої відображає ступінь зносу, розрегулювання рухомих частин або погіршення провідних властивостей електричних кіл електромагнітного привода.

Висновки

Однією з причин відмови надійної роботи вакуумного вимикача є некоректна робота електромагнітного привода.

Запропоновано метод діагностування технічного стану електромагнітного привода вакуумного вимикача. Метод побудований на порівнянні еталонної вебер-амперної характеристики з поточною та визначенні коефіцієнта відхилення. Коефіцієнт відхилення дозволяє оцінити поточний технічний стан електромагніту вимикача. Для перевірки адекватності запропонованого методу проведено натурний експеримент з імітацією несправності вимикача.

Застосування розробленого математичного методу дозволяє вчасно попереджувати оперативний персонал про критичний стан електромагнітного привода, необхідність виведення його в ремонт та для запобігання пошкодження вакуумного вимикача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. Є. Рубаненко, *Вдосконалення методів і засобів діагностування високовольтних вимикачів: монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2012.
- [2] К. А. Набатов, и В. В. Афонин, *Высоковольтные вакуумные выключатели распределительных устройств*. Тамбов, Россия: изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010.
- [3] Г. М. Михеев, *Цифровая диагностика высоковольтного оборудования*. Москва, Россия: Изд. дом «ДОДЭКА», 2009.
- [4] Д. В. Шайхутдинов, С. Г. Январев, К. М. Широков, и Р. И. Леухин, «Метод технической диагностики межвитковых замыканий электромагнитных устройствах на базе их вебер-амперных характеристик», *Современные наукоемкие технологии*, № 8, с. 69-71, 2014.

[5] Д. В. Шайхутдинов, С. Г. Январев, К. М. Широков, и Ш. В. Ахмедов, «Метод технической диагностики нарушений геометрических параметров магнитной системы электромагнитных устройств на базе их вебер-амперных характеристик,» *Международный журнал экспериментального образования*. № 8, с. 84-86, 2014.

[6] К. М. Широков, «Алгоритм определения магнитных характеристик электротехнических изделий,» *Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки*. № 1, с. 70-73, 2013.

[7] J. Baumbach, E. Kallenbach, U. Kucera, und K. Neumann, "MagHyst®-modular — ein universelles Gerät zur Messung magnetischer Größen und Kennlinien an Materialien, Halbzeugen und Magnetaktoren," *Messeartikel für die Sensor+Test*, 2009.

[8] U. Glet, "Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln von magnetischen Kenngrößen," *Patent DE 102005011227A1*, Br. 11, 2005.

[9] А. М. Ланкин, и М. В. Ланкин, «Метод измерения вебер-амперной характеристики электротехнических устройств,» *Современные проблемы науки и образования*, № 1, с. 246, 2014.

[10] А. М. Ланкин, М. В. Ланкин, В. В. Гречихин, и Д. В. Шайхутдинов, «Определение гистерезисных магнитных характеристик методом решения обратной задачи гармонического баланса,» *Фундаментальные исследования*, № 8 (часть 2), с. 303-306, 2015.

[11] А. В. Гордон, и А. Г. Сливинская, *Электромагниты постоянного тока*. Москва: Госэнергоиздат, 1960.

[12] Высоковольтный союз РЗВА, *Выключатели вакуумные серии ВР Техническая информация НКВИ.670049.011*. Ровно, Украина: Высоковольтный союз РЗВА, 2013.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 14.12.2018

Гробо Володимир Віталійович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті;

Дідушок Олег Васильович — аспірант кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, e-mail: didushkov@gmail.com

V. V. Hrabko¹
O. V. Didushok¹

Method of Diagnostation of Electromagnetic Actuator of Vacuum Circuit Breaker on the Basis of Weber-Ampere Characteristics

¹Vinnitsia National Technical University

The method of diagnosing the electromagnetic actuator of a vacuum circuit breaker is proposed. It was investigated that there is a steady tendency to increase the number of electrical supply violations of responsible energy objects, which leads to negative consequences. Most electric equipment in power systems needs repair or replacement. Outdated oil switches are massively replaced by vacuum. Vacuum switches have several advantages over other types of switching equipment. Most vacuum switches are equipped with electromagnetic actuators. Improper operation of the electromagnetic actuator leads to the failure of the vacuum circuit breaker. The proposed method allows determining the technical state of the electromagnetic actuator of a vacuum circuit breaker. The essence of the method is to measure the "reference" curve of a magnetic characteristic after the introduction of a new switch into operation or after its overhaul and comparison of this curve with the following measured magnetic characteristics in the course of its further operation. During the operation, the shape of the weber-ampere characteristics of the windings of the electromagnetic actuator of the vacuum circuit-breaker changes. Deviation control from the "reference" characteristic allows us to estimate the current state of the electromagnet and its degree of wear. An experiment was carried out to simulate the failure of the vacuum circuit breaker, as a result of which the proposed method can determine the deflection factor of weber-ampere characteristics, which evaluates the technical state of the electromagnet and the actuator of the vacuum circuit breaker as a whole. The results of measurement of curves of current, voltage and calculated weber-ampere characteristics for windings of switching on / off switch electromagnet are given. The deflection factors for switching on / off windings are determined when the vacuum circuit breaker malfunctions.

Keywords: vacuum circuit breaker, weber-ampere characteristic, diagnostics, electromagnetic actuator, winding.

Grabko Volodymyr V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transport;

Didushok Oleh V. — Post-Graduate Student of the Chair of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transport, e-mail: didushkov@gmail.com

В. В. Грабко¹
О. В. Дидушок¹

Метод диагностирования электромагнитного привода вакуумного выключателя на основе вебер-амперных характеристик

¹Вінницький національний технічний університет

Предложен метод диагностирования электромагнитного привода вакуумного выключателя. Доказано, что существует устойчивая тенденция к увеличению количества нарушений электроснабжения ответственных энергетических объектов, что приводит к негативным последствиям. Большинство электрооборудования в электроэнергетических системах требует ремонта или замены. Устаревшие масляные выключатели массово заменяют на вакуумные. Вакуумные выключатели имеют ряд преимуществ перед другими типами коммутационного оборудования. Большинство вакуумных выключателей оборудовано электромагнитными приводами. Некорректная работа электромагнитного привода приводит к отказу вакуумного выключателя. Предложенный метод позволяет определить техническое состояние электромагнитного привода вакуумного выключателя. Суть метода заключается в измерении «эталонной» кривой магнитной характеристики после введения нового выключателя в эксплуатацию или после его капитального ремонта и сравнения этой кривой с измеренными магнитными характеристиками в процессе его дальнейшей эксплуатации. В процессе эксплуатации изменяется форма вебер-амперных характеристик обмоток электромагнитного привода вакуумного выключателя. Контроль отклонения от «эталонной» характеристики позволяет оценить текущее состояние электромагнита и степень его износа. Проведен эксперимент с имитацией неисправности вакуумного выключателя, в результате которого по предложенному методу можно определять коэффициент отклонения вебер-амперных характеристик, по которому оценивается техническое состояние электромагнита и привода вакуумного выключателя в целом. Приведены результаты измерения кривых тока, напряжения и рассчитанных вебер-амперных характеристик для обмоток включения/выключения электромагнита выключателя. Определены коэффициенты отклонения для обмоток включения/выключения, используя имитацию неисправности вакуумного выключателя.

Ключевые слова: вакуумный выключатель, вебер-амперная характеристика, диагностирование, электромагнитный привод, обмотка.

Грабко Владимир Витальевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте;

Дидушок Олег Васильевич — аспирант кафедры электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте, e-mail: didushokov@gmail.com