

КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 621.317

УДК 621.313.316.001.41(075.3)

ДІАГНОСТИКА ПРИВОДУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ

Рубаненко О. Є., Антонюк Ю. В., ВДТУ, м. Вінниця, Україна

Експериментально встановлено, що під час вимірювання часових характеристик вимикачів мікропроцесорними приладами осцилографування, можна додатково відслідковувати вплив опору кіл живлення котушок управління вимикачем. По формі кривої зміни струму через котушку можна отримати додаткову інформацію про стан вимикача та його кіл живлення.

Вступ

Швидке зростання кількості зношеного та застарілого устаткування енергопідприємств веде до ускладнення і подорожчання його експлуатації і збільшує імовірність аварій. Тому особлива увага приділяється діагностиці стану енергетичного устаткування. Необхідно своєчасно і оперативно контролювати його характеристики за допомогою різних вимірювальних приладів. Так, наприклад, для контролю швидкісних і часових характеристик високовольтного комутаційного устаткування в різних країнах світу застосовують мікропроцесорні прилади, що розрізняються по складності, своїм можливостям і вартості [1, 2, 3]. Маючи значні можливості, вони, у більшості випадків, контролюють лише параметри у відповідності до [4, 5]. Проблемою є автоматичне визначення причин та конкретних вузлів, які призводять до порушення вимог норм випробовувань.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз сучасних приладів контролю характеристик високовольтних вимикачів свідчить, що на основі існуючих мікропроцесорних приладів контролю створюються експертні системи діагностики [6]. Їх база даних зберігає інформацію не лише про можливі види пошкоджень, а і враховує особливості експлуатації та попередні порушення в роботі конкретного об'єкта випробовувань. Ця база постійно вдосконалюється та поповнюється.

Всебічний аналіз літературних джерел показує, що питання діагностики приводу високовольтних вимикачів за допомогою мікропроцесорних систем шляхом контролю часових характеристик спрацювання електромагнітів вимикачів, таких як час початку руху якоря або ширина імпульсу форсування, з метою визначення стану кіл живлення в Україні на даний час не вирішене.

Постановка завдання

Робота виконувалась з метою пошуку додаткових параметрів, які характеризують працездатність повітряних вимикачів. Це дозволить поліпшити надійнісні характеристики високовольтних вимикачів, що призведе до їх більш дешевої експлуатації та збільшення часу роботи. А дане питання на сьогодні є одним з найважливіших напрямків в енергетичній галузі.

Опір кіл живлення та часові характеристики вимикачів

Серед багатьох вузлів і механізмів повітряних вимикачів 110-750 кВ, які впливають на ці характеристики чинне місце належить котушкам вимикання та увімкнення. Вони отримують живлення від джерела оперативної постійної напруги електричних станцій та підстанцій.

Схема живлення котушок передбачає послідовне підключення між котушкою і акумуляторною батареєю кабелів, клемників, блок-контактів, ключів управління. Згідно до вимог норм випробувань електрообладнання [1] опір кіл управління вимкнення і увімкнення вимикачів серій ВВБ, ВВД і ВВБК на напругу 330 кВ і вище повинен бути таким, щоб значення піку оперативного струму складало $22 \pm 0,5$ А. Наприклад опір електромагнітів заводу "Електроапарат" – $0,39 \pm 0,03$ Ом.

Враховуючи, що для надійного і швидкого спрацьовування вимикача через котушку спочатку протікає струм форсування, тривалістю 10-50 мс, бажано контролювати зміну опору кіл живлення або зміну напруги на котушках під час роботи вимикача.

Для спрацьовування вимикача необхідно, щоб вчасно втягнулось осердя електромагніту. У соленоїдів електромагнітна сила, яка буде втягувати шток

$$F_e = k\Phi^2 = k \frac{w_p^2}{R_m^2} I_p^2 = \frac{1}{2} w_p^2 I_p^2 \frac{dG_m}{d\delta}, \quad (1)$$

де k – поправочний коефіцієнт, який залежить від магнітного опору; Φ – магнітний потік; R_m – магнітний опір; I_k – струм котушки; w_p – кількість витків котушки; G_m – магнітна провідність; δ – повітряний проміжок, який зменшується при втягуванні штоку (якоря) в електромагніт.

В перший момент подачі імпульсу на котушку електромагнітна сила повинна здолати суму протидіючих сил пружини і тертя. По мірі втягування якоря повітряний проміжок δ зменшується від початкового значення δ_1 до кінцевого δ_2 , але протидіюча пружина розтягується і її момент $M_{\text{п}}$ зростає за прямолінійним законом. Електромагнітний момент M_e теж зростає, але за квадратичним законом.

Тому найтяжчим є початковий момент. Він визначається моментом появи, тривалістю та величиною імпульсу форсування. Якщо до котушки прикласти напругу U_k , то в її колі протече струм

$$I_K = \frac{U_K}{Z}, \quad (2)$$

де $Z = r_{\text{контактів}} + Z_K + r_{\text{проводів}}$; $Z_K = r_K + jX_K = r_K + j2\pi f L_K$

Z_K, r_K, X_K, L_K – повний, активний, індуктивний опори та індуктивність котушки в усталеному режимі. Тому струм

$$I_K = \frac{U_K}{r_{\text{конт}} + r_K + r_{\text{проводів}}} = \frac{U_K}{r_{\Sigma}}. \quad (3)$$

Наявність опору r_{Σ} та індуктивність L_K уповільнюють зростання імпульсу форсувального струму. З урахуванням L_K струм котушки буде зростати

$$I_K = \frac{U_K}{r_{\Sigma}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (4)$$

де $T = \frac{L_K}{r_{\Sigma}}$ – постійна часу кола обмотки реле.

Рух якоря починається не одразу після подачі напруги на котушку, а через деякий проміжок часу $t_{\text{поч}}$, коли струм в реле досягне значення $I_{\text{рух}}$.

Переміщення якоря соленоїда від початкового положення в кінцеве, коли відкриваються відповідні клапани (місцевого пневматичного вимкнення, пусковий, увімкнення, дуттєвий тощо) потребує деякого часу $t_{\text{рух}}$. Таким чином, час спрацьовування електромагніта вимикача $t_{\text{спЕМ}}$ складається із часу зростання струму в котушці до значення $I_{\text{сппрац.}}$ і часу руху якоря

$$t_{\text{спЕМ}} = t_{\text{поч}} + t_{\text{рух}}. \quad (5)$$

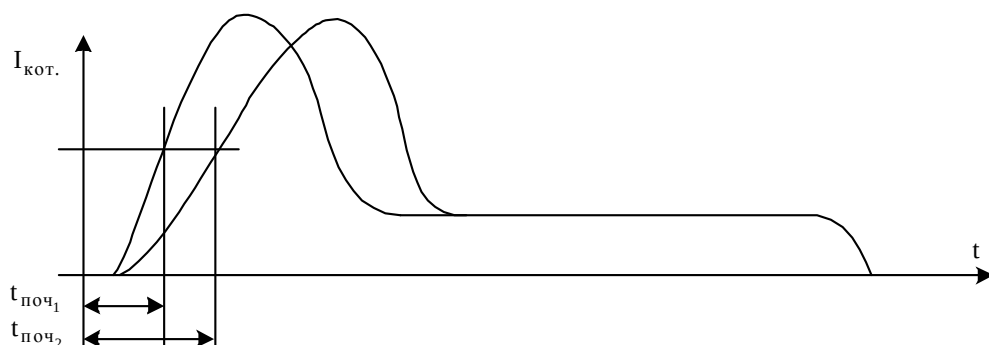


Рисунок 1 – Осцилограма зміни струму через котушку

На рисунку 1 показана осцилограма зміни струму через котушку вимикача. Як бачимо, $t_{\text{поч}}$ залежить від швидкості зростання струму I_K , який визначається силою протидіючої пружини та величиною усталеного струму

$$I_{\text{кот}} = \frac{U_{\text{кот}}}{r_{\Sigma}}. \quad (6)$$

Складова $t_{\text{рух}}$ залежить від величини руху якоря та швидкості його переміщення і для електромагніту вимикача ВВД-330 складає 3-5 мс. Тому у електромагнітів повітряних вимикачів час дії практично визначається $t_{\text{поч}}$.

Під час експлуатації якість контактних з'єднань в колах живлення котушок може погіршитись. При спрацьовуванні вимикача, в наслідок вібрації, опір цих з'єднань короткочасно може зростати. Це особливо впливатиме на характеристики імпульсу форсування, а саме на $t_{\text{поч}}$.

Результати осцилографування впливу опору сил живлення

На рисунку 2 показані осцилограми струмів котушок вимикача ВВД-330 при зростанні додаткового опору кола живлення ($r_{\text{дод}}$) котушок до 8 Ом.

Як бачимо, має місце не лише зростання часу $t_{\text{поч}}$, а і одного з головних параметрів – власного часу спрацювання.

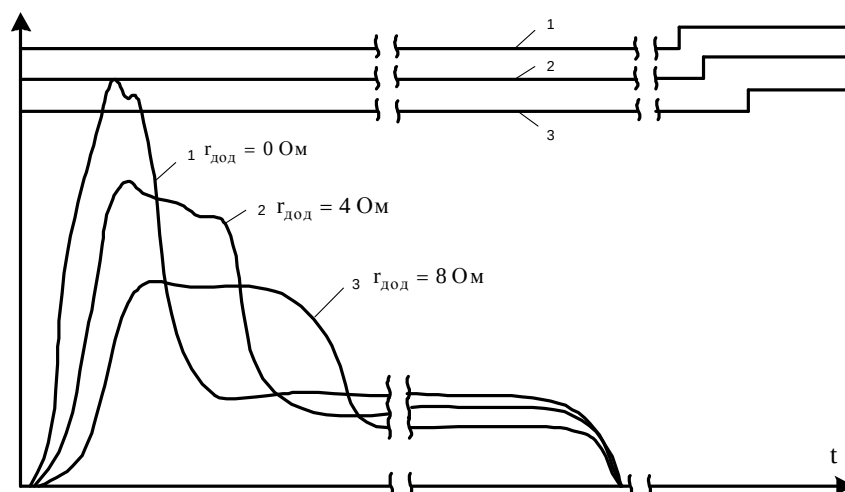


Рисунок 2 – Осцилограми струмів котушок повітряного вимикача та спрацьовування контактів при зростанні опору в колах живлення до 8 Ом

В таблиці 1 наведені результати випробувань вимикача ВВД-330 (підстанції "Вінницька-330").

Аналіз даних таблиці 1 дозволяє отримати регресійні рівняння, що встановлюють зв'язок між тривалістю імпульсу форсування $t_{\text{імп.форс.}}$ та зростанням опору кіл живлення $r_{\text{дод}}$, а також між власним часом спрацьовування вимикача тривалістю імпульсу форсування та $r_{\text{дод}}$. Ці поліноміальні залежності з коефіцієнтами регресії R^2 :

власний час спрацювання вимикача при вмиканні

$$t_{\text{в.с.в}} = -0,0035r_{\text{дод}}^5 + 0,0474r_{\text{дод}}^4 - 0,1454r_{\text{дод}}^3 + 0,1327r_{\text{дод}}^2 - 0,0152r_{\text{дод}} + 62,995, \text{ при } R^2 = 1;$$

власний час спрацювання вимикача при вимиканні

$$t_{В.С.В} = -0,0017r_{дод}^5 + 0,0086r_{дод}^4 + 0,1359r_{дод}^3 - 0,5992r_{дод}^2 + 0,16693r_{дод} + 241,48, \text{ при } R^2 = 1;$$

тривалість форсувального імпульсу при вмиканні

$$t_{і.м.п.форс} = -0,0112r_{дод}^5 + 0,248r_{дод}^4 - 2,0001r_{дод}^3 + 6,9911r_{дод}^2 + 7,8195r_{дод} + 22,962, \text{ при } R^2 = 1;$$

тривалість форсувального імпульсу при вимиканні

$$t_{і.м.п.форс} = -0,0018r_{дод}^5 + 0,0388r_{дод}^4 - 0,2814r_{дод}^3 + 0,7319r_{дод}^2 + 1,3155r_{дод} + 19,461$$

тривалість імпульсу вимикання

$$t_{і.м.п.вим} = -0,0048r_{дод}^5 + 0,1036r_{дод}^4 - 0,8058r_{дод}^3 + 2,6768r_{дод}^2 + 2,9236r_{дод} + 60,728 \text{ при } R^2 = 1;$$

тривалість імпульсу вмикання

$$t_{і.м.п.вмик} = r_{дод} + 90,65 \text{ при } R^2 = 1 \text{ свідчать про те, що зростання опору кіл}$$

живлення призводить до зростання часу спрацювання, ширини імпульсу форсування та часу початку руху якоря електромагніту. Зростання додаткового опору кіл живлення, порівняно до опору котушки до 8 Ом збільшило час вимикання на 20,6%. При опорі в колах живлення $r_{дод}=8$ Ом час спрацювання вимикача ВВД-330 зріс на 13 мс і він перестав задовольняти вимогам норм випробувань.

Таблиця 1. Результати дослідження вимикача ВВД-330

п/п	Операція	$r_{дод}$, Ом	$t_{ім.п.ф}$, мс	Тривалість вимикаючого імпульсу, мс	Тривалість вмикаючого імпульсу, мс	$t_{в.с}$, мс	$r_{пров} + r_{кот}$, Ом
	Вимикання	0	21	60	-	⁶ ₃	0,35
	Вмикання	0	20	-	91	² ₄₂	0,35
	Вимикання	1	21	60	-	⁶ ₃	1,35
	Вмикання	1	22	-	92	² ₄₃	1,35
	Вимикання	2	24	61	-	⁶ ₃	2,35
	Вмикання	2	24	-	93	² ₄₄	2,35
	Вимикання	4	28	62	-	⁶ ₅	4,35
	Вмикання	4	27	-	95	² ₄₉	4,35
	Вимикання	6	31	63	-	⁷ ₂	6,35
	Вмикання	6	30	-	97	² ₅₉	6,35
	Вимикання	8	33	64	-	⁷ ₆	8,35
	Вмикання	8	34	-	99	² ₆₅	8,35

При аналізі осцилограм за початок координат приймається момент початку протікання струму в електромагнітах управління. Тому власний час розмикання – це час від початку координат до моменту першого розриву. Якщо зростає тривалість імпульсу форсування, зменшується крутизна переднього фронту цього імпульсу, та уповільнюється зростання електромагнітної сили, яка втягує шток соленоїда. Потрібен більший час, щоб електромагніт здолав протидіючі його рухові сили пружини і тертя. Помітне (з точки зору аварійного зростання часу спрацювання) зростання опору призведе до зменшення рівня напруги на електромагнітах. Це можливо помітити, якщо здійснювати осцилографування напруги на котушках під час роботи вимикача. Так, якщо опір електромагніту вимикача ВНВ-750 дорівнює 0,4 Ом, а обмежувальний резистор має опір 8 Ом, то при опорі кіл живлення 1 Ом зменшення напруги на електромагніті становитиме до 5-10 В. Якщо напругу контролювати між додатнім та від'ємним полюсами шинок оперативного постійного струму шафи управління, то при зростанні опору зовнішніх кіл живлення до 2 Ом напруга короточасно зменшуватиметься до 200 В, що також помітно під час осцилографування.

Якщо цей опір з'являється лише під час роботи вимикача (в контактних з'єднаннях кіл живлення), то складається помилкове враження про необхідність додаткового зменшення часу спрацювання звичайними заходами. При цьому не усувається причина пошкодження. Після введення вимикача в експлуатацію це може призвести до подальшого розвитку пошкодження.

В наш час енергосистеми України використовують мікрокомп'ютерні системи осцилографування часових характеристик вимикачів "Регіна", "Рекон", "АРВВН". Вони дозволяють не лише отримувати осцилограму роботи контактів вимикача, але і зберігати базу даних випробувань. Введення в бази даних таких пристроїв отриманих регресійних рівнянь дозволить автоматизувати процес визначення технічного стану вимикача з урахуванням стану кіл живлення електромагнітів управління.

Під час осцилографування вимагається записувати лише стан контактів та струм соленоїдів. Додаткову інформацію про стан кіл живлення та умови проведення випробувань можна отримати, якщо зафіксувати осцилограму напруги, поданої на котушку.

Висновки

Проведенні дослідження свідчать про необхідність контролю часових характеристик спрацювання електромагнітів вимикачів, таких як час початку руху якоря або ширина імпульсу форсування, з метою визначення стану кіл живлення.

Необхідно, шляхом осцилографування, контролювати величину зменшення напруги живлення котушок під час імпульсу форсування для забезпечення необхідних умов випробувань вимикачів.

Перспективами подальших випробувань є створення експертної системи на основі мікропроцесорних приладів, що дозволить зменшити імовірність аварійної роботи та збільшити термін експлуатації високовольтних вимикачів.

Література

1. Обзор современных приборов контроля временных и скоростных характеристик высоковольтных выключателей. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН). Иркутск. 2000. – 178 с.
2. CBA-32P. Circuit Breaker Analyzer. Zensol Automation Inc. // Transmission & Distribution World, September 1998, p.30 – pp. 139.
3. TR-3000. Digital Circuit Breaker Test System // Doble Engineering Company, 1991, 20 p.
4. Объем и нормы испытаний электрооборудования. – 6-е изд. перераб. и доп. РД 34.45-51.300-97.– М.: НЦ ЭНАС, 2001. – 256 с.
5. Норми випробовування електрообладнання. ГКД 34.20.302-2002.-К.:КВІЦ, 2002. -216 с.
6. Marks J. Непрерывный контроль оборудования и диагностика на подстанции // Electrical World. –1999. – Vol.213. – № 6. – P.16–21.

Рубаненко О. Е., Антонюк Ю. В. Диагностика привода высоковольтных выключателей. В статье экспериментально установлено, что во время измерения временных характеристик выключателей микропроцессорными приборами осцилографирования, можно дополнительно отслеживать влияние сопротивления цепей питания катушек управления выключателем. По форме кривой изменения тока через катушку можно получить дополнительную информацию про состояние выключателя и его цепей питания.	Rubanenko O., Antonyuk Y. Driver diagnostics of high voltage switchers. The paper considers that it was experimentally established we can additionally determine the influence of resistance of supplying circuits of controlling coils of the switcher while measuring of time characteristics of High Voltage Switchers by microprocessor oscilographing devices. We can obtain the additional information about the condition of the switcher and its supplying circuits according to the sharp of current change through the coil.
--	---

*Надійшла до редакції
24 квітня 2003 року*