

Порівняльна характеристика швидкодіючих вимикачів тягових підстанцій системи електричної тяги постійного струму

Ключові слова: швидкодіючий вимикач, відключаюча здатність, коефіцієнт обмеження, коротке замикання, фідер, ампер-секунди.

Вступ

На тягових підстанціях електричної тяги постійної струму в якості основних захисних фідерних апаратів використовуються швидкодіючі вимикачі (ШВ) типу АБ-2/4, ВАБ-28 і ВАБ-43, які не задовольняють вимоги по якості й надійності роботи [1]. Тому Укрзалізниця у своїх планах [2] рекомендує службам електрифікації залізниць замінити існуючі ШВ на нові, зокрема на ШВ типу ВАБ-49 і ВАБ-206 (Росія); проходить також випробування вимикач типу VR-40-64S (фірми Sesheron,). У зв'язку з необхідністю вдосконалювання захисту електротягових мереж постійного струму доцільно мати дані по порівняльній характеристиці зазначених ШВ за результатами їхніх випробувань в умовах роботи залізниць України. З наукових публікацій по даному питанню відома лише робота [3], у якій виконано порівняння фідерних вимикачів постійного струму 2хВАБ-49 й GE Rapid для умов роботи залізниць Росії.

Параметри захисних властивостей ШВ

Як відомо [3, 4], захисні властивості ШВ характеризуються сукупністю наступних основних параметрів (величин): вимикаючою здатністю, коефіцієнтом обмеження струму короткого замикання (КЗ) і ампер-секундами вимикаючого струму. Вважаємо за доцільне додати до цих параметрів також повний термін час вимикання струмів КЗ вимикачем і енергію, яка виділяється в дугогасних камерах при його вимиканні. За цими параметрами, отриманими у ході експериментальних досліджень, і було виконано порівняння ШВ типу ВАБ-43, ВАБ-49, ВАБ-206 й VR-40-64S для ділянок ДП «Придніпровська залізниця» з тяговими підстанціями

Горяїнове, Верхньодніпровськ, Воскобійня, Нижньодніпровськ Вузол і Запоріжжя-Ліве.

1. *Вимикаюча здатність ШВ* є найважливішим параметром, залежить від багатьох факторів і визначається різними, у свою чергу, параметрами.

Згідно [4, с. 207], вимикаюча здатність оцінюється за найбільшою величиною усталеного струму $I_{kmax} = I_{\infty}$ у колі з заданою індуктивністю, при якому вимикач здатний обмежити струм КЗ і далі надійно вимкнути електричне коло. Тобто, значення I_{kmax} визначається в усталеному режимі кола, що вимикається, найпростіша схема якого представлена на рис. 1, де: U — фідерна напруга; R_{Σ}, L_{Σ} — сумарний активний опір й індуктивність, що еквівалентні опорі та індуктивності тягової підстанції і тягової мережі.

Для реальних вимикаючих пристроїв із запізнюванням, якими і є існуючі ШВ, з лінійним законом наростання напруги дуги ($u_g(t) = K_d \cdot t$), значення I_{kmax} , згідно схеми рис. 1, визначається за виразом [5]:

$$I_{kmax} = I_{\infty} = \frac{U}{R_{\Sigma}} + \frac{K_d \cdot L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}^2}, \quad (1)$$

де K_d — швидкість наростання напруги дуги (визначається за отриманими осцилограмами).

При деякому найбільшому значенні I_{kmax} вимикач не здатний у межах дугогасної камери розірвати коло. Найбільше значення I_{kmax} , при якому ШВ ще може розірвати дугу і визначає його вимикаючу здатність.

Практично I_{kmax} (рис. 2) — це найбільша величина струму КЗ, що він досяг би при відсутності вимикача. Для так званого ідеального вимикаючого пристрою постійного струму із запізнюванням [5, с. 125] ця величина рівна першому доданку виразу (1):

$$I_{kmax} = \frac{U}{R_{\Sigma}}. \quad (2)$$

Вимикаюча здатність ШВ також тим вище, чим менше величина обмеженого вимикачем струму вимикання КЗ $I_{\sigma max}$ (рис. 2) і чим менше повний термін час його вимикання ($t_{\sigma max}$) (рис. 2). Величини $I_{\sigma max}$ й $t_{\sigma max}$ можна визначити тільки по осцилограмам, отриманим експериментально в реальних умовах експлуатації досліджуваних фідерних ділянок і ШВ. Варто зазначити, що збільшення I_{kmax} супроводжується збільшенням $I_{\sigma max}$.

Згідно [3], вимикаюча здатність вимикача оцінюється так званою енергетичною напруженістю роботи дугогасної

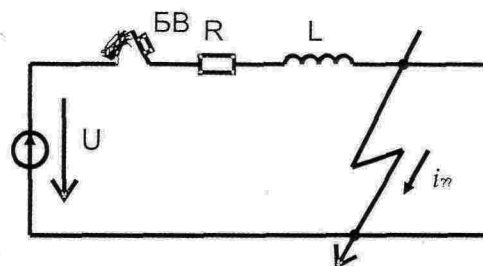


Рис. 1.

камери ШВ, що визначається кількістю енергії $W_{кам}$, яка виділяється в камері при вимиканні (рис. 2):

$$W_{кам} = \int_{t_y}^{t_{вим}} u_d(t) \cdot i_k(t) \cdot dt. \quad (3)$$

2. Коефіцієнт обмеження струму КЗ (обмежуюча здатність ШВ) $K_{обм}$ різними дослідниками визначається по різному. В [4, с. 207] величина $K_{обм}$ — це відношення струмів (рис. 2):

$$K_{обм} = \frac{I_{к\max}}{I_{в\max}}, \quad (4)$$

а в [3, 5] коефіцієнт $K_{обм}$ визначається як відношення максимального струму $I_{в\max}$ до струму уставки I_y

$$K_{обм} = \frac{I_{в\max}}{I_y}, \quad (5)$$

і в [5, с. 127] цей коефіцієнт називається найменшим коефіцієнтом обмеження струму. За інших рівних умов більше ефективним і надійним є той ШВ, у якого коефіцієнт обмеження має менше значення.

3. Ампер-секунди вимикаючого струму, (позначимо як Q_k), що пройшли через місце короткого замикання, визначаються як (рис. 2):

$$Q_k = \int_{t_y}^{t_{вим}} i_k(t) dt, \quad (6)$$

тобто, величина Q_k знаходиться також за осцилограмами зміни струму КЗ.

Величина Q_k є визначальною при оцінці імовірності перегорання проводів контактної мережі в місці КЗ дугою, що виникла. Згідно [6], для перегорання проводу ТФ100 при струмах понад 400 А необхідно лише близько 250 А·с, а для деформації й розриву проводів достатні струми в 150...200 А, струми ж у тяговій мережі, як відомо, значно перевищують зазначені величини.

Порівняння ШВ за параметрами

В ході експериментальних досліджень на діючих ділянках і при розрахунках за формулами (1—6)

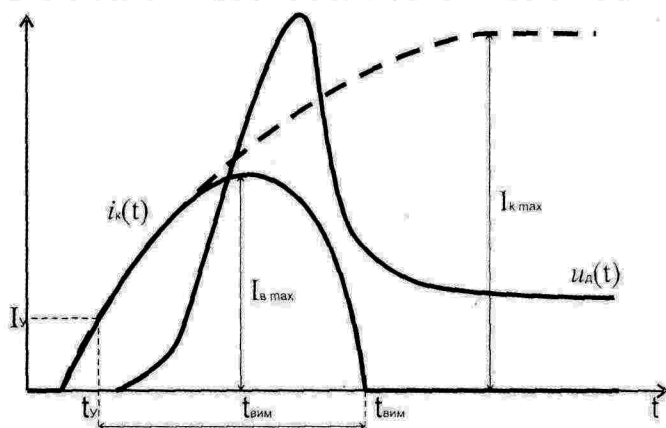


Рис. 2.

Таблиця 1

№ режиму КЗ	U, В	R, Ом	K _р , В/с	L, Гн
1	32145	0,364	18,57·105	6,53·10-3
2	3364	0,424	12,85·105	8,97·10-3
3	3250	0,306	11,76·105	13,55·10-3
4	3313	0,320	10,9·105	6,53·10-3
5	3349	0,743	4,55·105	10,78·10-3
6	3433	0,777	4,37·105	21,1·10-3
7	3250	0,267	8·105	6,53·10-3
8	3750	0,330	7,6·105	14,13·10-3

аналізувалися процеси в тяговій мережі й значення вищезрозглянутих параметрів у режимах близького, середнього і далекого (щодо досліджуваного ШВ) КЗ. Розрахункові дані для формули (1) наведено в таблиці 1, а остаточні результати за параметрами — у таблиці 2.

З аналізу даних таблиці 2 випливає, що однозначної відповіді відносно переваги певного ШВ, у порівнянні з іншими, у всіх режимах КЗ (близьке, середнє, далеке) дати не можна, тобто «універсально» не може працювати жоден вимикач.

Таблиця 2

Тип вимикача	Вид і № режиму КЗ	Струм уставки, I _y , А	Максимальне значення струму		Коефіцієнт обмеження струму КЗ, K _{обм}		Повний термін часу вимикання, t _{вим} , мс	Ампер-секунди вимикання КЗ, Q _k , А·с	Енергія, що виділена у камерах при вимиканні КЗ, W _{кам} , кДж
			I _{вmax} , А	I _{кmax} , А	$\frac{I_{вmax}}{I_y}$	$\frac{I_{кmax}}{I_{вmax}}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2хВАБ-43	1 Близьке	3500	7769	11432	2,22	1,47	16,2	90,6	231,6
	2 Середнє	3500	4550	16695	1,3	3,67	14,6	71,0	203,4
	3 Далеке	2550	4087	50739	1,60	12,41	18,3	68,60	197,8
2хВАБ-49	4 Близьке	3500	7547	12330	2,15	1,63	16,3	93,0	192,6
	5 Середнє	3500	3658	6160	1,05	1,68	20,9	72,8	201,2
	6 Далеке	2700	3188	9069	1,18	2,84	26,2	81,3	272,8
ВАБ-206	7 Близьке	4000	10600	14256	2,63	1,35	17,2	121,0	179,3
	8 Далеке	4000	6930	35391	1,73	5,11	26,3	127,0	232,0
VR-40-64S Sesheron	9 Близьке	4000	10138	-	2,53	-	44,6	280,6	211,30
	10 Далеке	2300	3333	-	1,45	-	42,6	132,6	273,8

У режимі далекого КЗ найбільш ефективно й надійно працює вимикач 2хВАБ-43. У порівнянні з іншими ШВ (у цьому режимі) він має: найбільш високу вимикаючу здатність, про що свідчить найбільше значення $I_{kmax} = 50739$ А; невелике значення $I_{amax} = 4087$ А; менший повний термін час вимикання струму КЗ $t_{вим} = 18,3$ мс і найменшу енергетичну напруженість роботи камер ($W_{кам} = 197,8$ кДж). Трохи, щоправда, завищений коефіцієнт обмеження струму КЗ $K_{обм}$, але зато ймовірність перегорання проводів невелика, тому що ампер-секунди незначні: $Q_k = 68,6$ А·с.

В режимі середнього КЗ ефективність роботи вимикачів 2хВАБ-43 й 2хВАБ-49 приблизно однакові. Вимикач 2хВАБ-49 має невеликий $I_{amax} = 3658$ А і найбільш низький коефіцієнт обмеження $K_{обм} = 1,05$, що свідчить про високу його вимикаючу здатність, але $t_{вим}$ в 1,43 рази більше, ніж в 2хВАБ-43. Останній має також більше значення I_{kmax} (16695 А проти 6160 А в 2хВАБ-49), що вказує на більше високу вимикаючу здатність. Енергетична напруженість роботи камер обох типів вимикачів практично однакова ($W_{кам} = 203,4$ і 201,2 кДж); це ж відноситься і до ймовірності перегорання проводів при вимиканні КЗ: ймовірність невелика, тому що Q_k становить 71,0 й 72,8 А·с.

У режимі близького КЗ надійність й ефективність роботи вимикачів типу 2хВАБ-43, 2хВАБ-49 і ВАБ-206 приблизно однакові: вони мають близькі значення струму I_{kmax} (~ від 11 до 14 кА); коефіцієнт обмеження струму $K_{обм}$ (від 2,15 до 2,63 і від 1,35 до 1,63), а також повний термін час вимикання $t_{вим}$ (від 16,2 до 17,2 мс). Однак ВАБ-206 обумовлює більш високу ймовірність перегорання проводів, тому що Q_k для нього досягає 121 А·с, (у порівнянні з двома іншими вимикачами, для яких $Q_k = 90...93$ А·с). Але камера ШВ типу ВАБ-206 менш енергетично напружена під час вимикання ($W_{кам} = 179,3$ кДж), чим в 2хВАБ-43 й 2хВАБ-49, для яких $W_{кам}$ відповідно дорівнює 231,6 й 192,6 кДж.

Вимикач типу VR-40-64S Sesheron помітно уступає за основними параметрами розглянутим вище трьом типам ШВ: він має високий коефіцієнт обмеження струму, а також найбільші значення повного терміну часу вимикання, значні ампер-секунди в місці КЗ і високу енергетичну напруженість роботи дугогасних камер (див. стовпці 6...10 табл. 2). Тому, на нашу думку, заміна вимикачів 2хВАБ-43 на ВАБ-206 без більш глибоких додаткових випробувань цього ШВ, пов'язана з ризиком зниження ефективності релейного захисту фідерів 3,3 кВ тягових підстанцій.

На закінчення зазначимо, що цей порівняльний аналіз дає лише наближену оцінку ефективності роботи досліджених ШВ, тому що він виконаний: при різних відстанях місця к.з. від випробуваної підстанції; при різних струмах уставки; на різних фідерних ділянках, а отже, при різних тягових умовах (навантаженнях) тощо. Ймовірно, для дотримання всіх умов випробування ШВ необхідно ці випробування провести методами моделювання, математичного або комп'ютерного (імітаційного), тому що натурні випробування, особливо з тяговим навантаженням,

дуже важко виконати і, до речі, не дозволяються керівництвом енергоділянок залізниць.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михаличенко П.Е. Характеристики видів і кількості вимикань швидкодіючої апаратури захисту фідерів 3,3 кВ тягових підстанцій постійного струму [Текст] / П. Е. Михаличенко, В.Г. Дзюман // Залізничний транспорт України. — 2007. — № 5 — С. 90—92.
2. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання у 2008 році — К.: Укрзалізниця, 2009; у 2009 році. — К.: Укрзалізниця, 2010.
3. Пупынин В.Н. Сравнение фидерных выключателей постоянного тока 2ЧВАБ-49-3200/3-Л и GERapid 4207 2Ч4 [Текст] / В.Н. Пупынин, С.Х. Дарчиев // Железные дороги мира. — 2006. — №5. — С. 64—71.
4. Радченко В.Д. Перенапряжения и токи короткого замыкания в устройствах электрифицированных железных дорог постоянного тока [Текст] / В.Д. Радченко, С.Д. Соколов, Н.Д. Сухопрудский. — М.: Трансжелдориздат, 1959. — 328 с.
5. Бей Ю.М. Тяговые подстанции [Текст] / Ю.М. Бей, Р.Р. Мамошин, В.Н. Пупынин, М.Г. Шалимов. — М.: Транспорт, 1986. — 319 с.
6. Векслер М.И. Защита тяговой сети постоянного тока от токов короткого замыкания [Текст] / М. И. Векслер. — М.: Транспорт, 1976. — 120 с.