

УДК 621.316.933

DEFINITION OF PROTECTIVE DISTANCES FROM SURGE ARRESTERS TO ELECTRIC EQUIPMENTS OF SUBSTATIONS 110-750 KV

V. Brzhezitsky, I. Masluchenko, D. Krysenko

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

Key words:

*Nonlinear surge arrester
Protective distances
Lightning overvoltages
Level of electric equipments insulation*

ABSTRACT

In the article the questions of the definition of protective distances from the nonlinear surge arresters to protected electrical installations at lightning overvoltages are observed, and dependences of protective distances from the level of electric equipments insulation are analyzed.

Article history:

Received 14.02.2014

Received in revised form

28.02.2014

Accepted 15.03.2014

Corresponding author:

V. Brzhezitsky

Email:

npnuht@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАХИСНИХ ВІДСТАНЕЙ ВІД ОБМЕЖУВАЧІВ ПЕРЕНАПРУГ ДО ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ ПІДСТАНЦІЙ 110-750 КВ

В.О. Бржезицький, І.М. Маслюченко, Д.С. Крисенко

Національний технічний університет "Київський політехнічний інститут"

У статті розглянуто питання визначення захисних відстаней від обмежувачів перенапруг нелінійних до електроустаткування, яке захищається, при грозових перенапругах і виконано аналіз захисних відстаней з урахуванням рівня ізоляції електроустаткування.

Ключові слова: обмежувач перенапруг нелінійний, захисні відстані, грозові перенапруги, рівень ізоляції електроустаткування.

Захист підстанцій від хвиль грозових перенапруг, що набігають з повітряних ліній електропередавання (ПЛ), базується на виборі відповідних захисних апаратів (обмежувачів перенапруг нелінійних), кількості та місць їх встановлення на підстанції для того, щоб забезпечити таке зниження впливу хвиль грозових перенапруг, при яких протягом нормованого строку експлуа-

тації не будуть перевищені допустимі значення перенапруг для електроустаткування (трансформаторів, автотрансформаторів, шунтувальних реакторів, трансформаторів напруги, вимикачів) [1]. Причиною виникнення на підстанціях 110—750 кВ небезпечних перенапруг від хвиль, що набігають на підстанцію, є грозові ураження ПЛ. При ураженні блискавкою в лінію на проводах ПЛ утворюється хвиля напруги, яка рухається у напрямку підстанції.

Прихід хвилі перенапруги на підстанцію призводить до виникнення хвильового перехідного процесу, в результаті якого на ізоляції електроустаткування можуть виникнути небезпечні перенапруги [1, 2]. Для захисту ізоляції електроустаткування застосовують обмежувачі перенапруг нелінійні (ОПН), які замінили вентиляльні розрядники (РВ).

Якщо б ОПН розташовувався безпосередньо біля електроустаткування, яке він захищає, то напруга на ізоляції електроустаткування не перевищувала б рівня залишкової напруги захисного апарата (тобто ОПН). На практиці захисні апарати встановлюють біля силових трансформаторів та автотрансформаторів, тому частина електроустаткування віддалена від захисного апарата на відстані, які досягають декількох десятків метрів і більше. Прихід хвилі грозової перенапруги на підстанцію призводить до виникнення перехідного процесу, який супроводжується високочастотними коливаннями навколо рівня залишкової напруги ОПН.

Питання визначення місць встановлення ОПН на підстанціях, захисних відстаней частково розглядається в [3, 4]. У пропонованій статті розвинуто деякі положення доробку авторів з питань захисту електроустаткування за допомогою ОПН, узагальнених у нормативному документі СОУ-Н ЕЕ 40.12-00100227-47:2011 Обмежувачі перенапруг нелінійні напругою 110-750 кВ. Нас-танова щодо вибору та застосування. Розроблено кафедрою техніки та електрофізики високих напруг НТУУ «КПІ» / В.О. Бржезицький, Д.С. Крисенко.

Згідно з ПУЕ [5], нормуються найбільші захисні відстані при ошинуванні від ОПН до електроустаткування, які були перераховані з найбільших захисних відстаней від РВ до електроустаткування за формулою:

$$L_x = L_0 \frac{U_{\text{вип}} - U_x}{U_{\text{вип}} - U_0}, \quad (1)$$

де L_x — відстань від ОПН до електроустаткування, м; L_0 — найбільша захисна відстань від РВ до електроустаткування, м; $U_{\text{вип}}$ — випробувальна напруга електроустаткування з рівнем ізоляції δ згідно з [6], кВ; U_x — базова залишкова напруга на ОПН за грозового імпульсу за [5], кВ; U_0 — залишкова напруга на РВ, кВ.

Однак у [5] не розглядається питання захисних відстаней при застосуванні електроустаткування із зменшеним рівнем ізоляції α згідно з [6], яке з обов'язковою заміною вентиляльних розрядників на ОПН стає актуальним.

Для розрахунків грозових перенапруг на електроустаткуванні підстанцій 110—750 кВ був використаний відомий комплекс ЕМТР (Electromagnetic Transients Program) [7], який дозволяє проводити розрахунки грозових перенапруг на підстанціях при детальному моделюванні процесів у відкритому розподільчому устаткуванні (ВРУ).

Перехід від реальної схеми ВРУ до розрахункової моделі виконаний з урахуванням загальноприйнятих припущень [1, 4]:

1. Втрати в проводах і землі вважаються настільки незначними, що ними можна знехтувати. Також нехтуємо впливом сусідніх фаз та ефектом корони на ошинуванні підстанції (ВРУ змодельовано в однофазній постановці).

2. Ділянки ошинування, які з'єднують електроустаткування, прийняті однопровідними лініями без втрат заданої довжини і моделюються хвильовими параметрами [1] (хвильовим опором Z і швидкістю розповсюдження електромагнітної хвилі, яка дорівнює 300 м/мкс). Хвильовий опір Z ошинування задається за [1] залежно від класу номінальної напруги ВРУ.

3. Трансформатори та інше високовольтне обладнання замінюється їх вхідними ємностями, усереднені значення яких наведені в [1].

4. Нелінійний обмежувач перенапруг обирається за [8] і моделюється нелінійним опором, вольт-амперна характеристика якого задається виразом $U = A \cdot I^\alpha$. Коефіцієнт нелінійності α для аналізу грозових перенапруг дорівнює 0,09 [1, 9], а коефіцієнт A визначається за відомою точкою вольт-амперної характеристики вибраного ОПН (використовувались значення залишкової напруги на ОПН при імпульсі струму 8/20 мкс з амплітудою 10 кА).

З'єднувальний шлейф між ОПН та ошинуванням ВРУ моделюється зосередженою індуктивністю, величина якої визначається довжиною шлейфа та його погонною індуктивністю (дорівнює 1 мкГн/м) [1].

Для розрахунків захисту підстанції від хвиль грозових перенапруг допустима напруга для внутрішньої ізоляції електроустаткування $U_{\text{доп}}$ визначалися за формулою [9]:

$$U_{\text{доп}} = 1,1(U_{\text{вип}} - 0,5U_{\text{ном}}), \quad (2)$$

де $U_{\text{вип}}$ — випробувальна напруга повного грозового імпульсу електроустаткування згідно з [6], кВ; $U_{\text{ном}}$ — номінальна напруга електроустаткування, кВ.

Оскільки на підходах до підстанції грозові хвилі виникають при проривах блискавки на провід або перекритті лінійної ізоляції при ураженнях блискавкою опори (грозозахисного троса), то амплітуда грозових хвиль у місці ураження блискавкою обмежується імпульсною міцністю лінійної ізоляції. У пропонованому дослідженні приймається, що ізоляція підходу ПЛ до підстанції виконана на 16 ізоляторах типу ПС30-А, 50-ввідсокова імпульсна розрядна напруга якої з урахуванням захисної арматури на стандартному грозовому імпульсі 1,2/50 мкс становить 2000 кВ [1]. Хвиля перенапруги, яка рухається по ПЛ, деформується за рахунок імпульсної корони і втрат у землі та проводах таким чином, що час фронту збільшується приблизно пропорційно довжині пробігу. Зважаючи на це, в даному дослідженні хвиля грозової перенапруги, виходячи з проведених розрахунків [8], моделюється хвилею напруги з амплітудою 2000 кВ та тривалістю фронту 2 мкс.

Розрахунок грозових перенапруг виконувався для великої кількості ВРУ 110—750 кВ на прикладі ВРУ 330 кВ за схемою "Чотирикутник", яка є типовою у своєму класі. Схема ВРУ 330 кВ показана на рис.1. На ВРУ встановлені 2 комплекти захисних апаратів (біля автотрансформаторів АТ-1,2). Складена з урахуванням вказаних вище припущень розрахункова ЕМТР-модель для схеми ВРУ 330 кВ представлена на рис.2

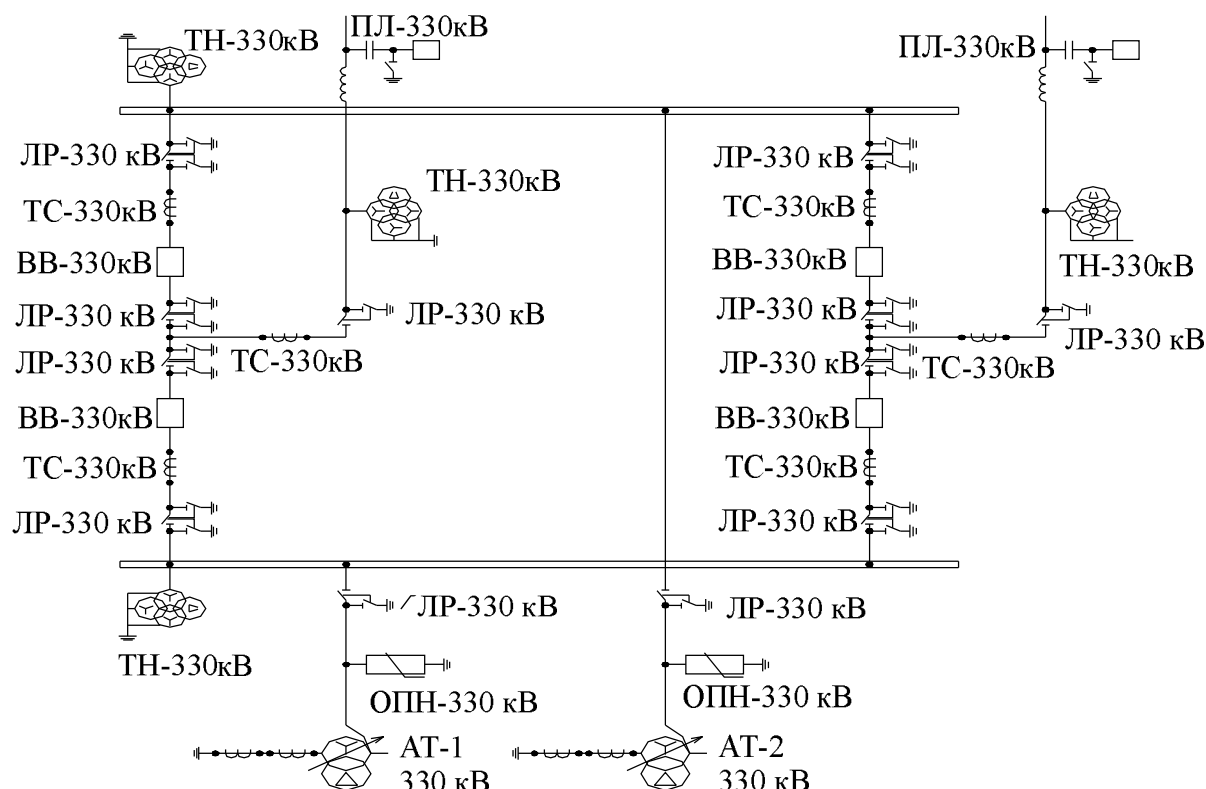


Рис.1. Схема ВРУ 330 кВ "Чотирикутник"

Дослідження на прикладі схеми 330 кВ "Чотирикутник" проводилися у такій послідовності:

1. За формулою (2) розраховувалися допустимі напруги для внутрішньої ізоляції електроустаткування $U_{дон}$ (розглядалися автотрансформатори й електромагнітні трансформатори напруги).

2. За схемою (рис.1) визначалися відстані по ошинуванню від ОПН до електроустаткування.

3. На одну з приєднаних ПЛ за допомогою джерела імпульсної напруги в моделі ЕМТР подавався грозовий імпульс амплітудою 2000 кВ форми 2/50 мкс і визначалися амплітуди (рівні) перенапруг на електроустаткуванні.

4. Визначені за п.3 рівні перенапруг порівнювалися з допустимими напругами для внутрішньої ізоляції електроустаткування $U_{дон}$ за формулою (2) і таким чином визначалися найбільші захисні відстані від ОПН до електроустаткування та досліджувалась залежність впливу ОПН на обмеження перенапруг на електроустаткуванні від відстані до електроустаткування.

У табл. 1, 2 представлені результати розрахунку перенапруг для випадку встановлення трьох типів ОПН, вибраних за [8], та для базового ОПН з характеристиками за [5]: вибраний за [8] ОПН з тривало допустимою робочою напругою — 220 кВ; номінальною напругою — 276 кВ та залишковою напругою $U_{зал1}$ за грозового імпульсу струму амплітудою 10 кА — 662 кВ; вибраний за [8] ОПН з тривало допустимою робочою напругою — 220 кВ; номінальною напругою — 276 кВ та залишковою напругою $U_{зал2}$ за грозового імпульсу струму амплітудою 10 кА — 610 кВ; базовий ОПН з тривало допустимою робочою напругою — 220 кВ; номінальною напругою — 276 кВ та залишковою напругою $U_{зал3}$ за грозового імпульсу струму амплітудою 10 кА згідно з [5] — 650 кВ.

- більші значення перенапруг діють на найбільш віддаленому від захисних апаратів електроустановки ВРУ (наприклад, трансформаторі напруги).

Таблиця 2. Числові характеристики розрахунку за ЕМТР амплітуди перенапруг на трансформаторі напруги залежно від довжини захисної відстані і залишкової напруги ОПН

Захисна відстань, м	Рівень перенапруги (кВ) при $U_{зал2}=610$ кВ	Рівень перенапруги (кВ) при $U_{зал3}=650$ кВ	Рівень перенапруги (кВ) при $U_{зал1}=662$ кВ
280	882	917	928
300	907	936	949
320	930	958	971
340	957	986	995
360	982	1012	1023
380	1016	1040	1048
400	1044	1065	1074
420	1069	1090	1098
440	1095	1115	1123

Згідно з результатами розрахунків (табл. 1), рівень перенапруг при залишковій напрузі на ОПН $U_{зал}=650$ кВ, встановленому на відстані 130 м від автотрансформатора, становить 976 кВ, що відповідає допустимій напрузі $U_{дон}$ розрахованій за формулою (2) для внутрішньої ізоляції автотрансформаторів 330 кВ з рівнем ізоляції **б** (згідно з [6]). У випадку встановлення на підстанції автотрансформатора з рівнем ізоляції **а** [6] допустима напруга $U_{дон}$ для внутрішньої ізоляції автотрансформатора зменшиться (за формулою (2) $U_{дон}$ для рівня ізоляції **а** автотрансформатора 330 кВ становитиме 864 кВ), тому необхідно зменшувати допустиму захисну відстань. Для ОПН із залишковою напругою за грозового імпульсу струму з $U_{зал}=650$ кВ ця відстань становитиме близько 95 м (табл. 1). Аналогічні висновки можна зробити і при встановленні на підстанції трансформатора напруги з рівнем ізоляції **а** (згідно з [6]).

При встановленні електроустановки з рівнем ізоляції **а** (згідно з ГОСТ 1516.3-96 [6]) захисні відстані від захисних апаратів необхідно зменшувати порівняно з електроустановкою з рівнем ізоляції **б**. Розрахунок захисних відстаней в цьому випадку доцільно проводити за вперше запропонованою [8] формулою:

$$L_x = L_0 \frac{U'_{вин} - U_x}{U_{вин} - U_0}, \quad (3)$$

де L_x — відстань від ОПН до електроустановки, м; L_0 — найбільша захисна відстань від РВ до електроустановки згідно з [8], м; $U_{вин}$ — випробувальна напруга електроустановки з рівнем ізоляції **а** згідно з [6], кВ; $U'_{вин}$ — випробувальна напруга електроустановки з рівнем ізоляції **б** згідно з [6], кВ; U_x — залишкова напруга на ОПН за грозового імпульсу, кВ; U_0 — залишкова напруга на РВ згідно з [8], кВ.

Вибір найбільшої захисної відстані L_x від ОПН до електроустановки з рівнем ізоляції **а** за формулою (3) підтверджується проведеними розрахунками.

ми (табл. 1, 2). Порівняння розрахунків за формулою (3) найбільших захисних відстаней з результатами розрахунків за табл. 1,2 показані в табл. 3.

Таблиця 3. Порівняння розрахунків найбільших захисних відстаней від ОПН до електроустаткування з рівнем ізоляції a згідно з [6] за формулою (3) з результатами розрахунків, наведених у табл. 1, 2

№ п/п	Залишкова напруга на ОПН $U_{\text{зал}}$ за грозового імпульсу струму, кВ	610		650		662	
		Автотрансформатори	Трансформатори напруги	Автотрансформатори	Трансформатори напруги	Автотрансформатори	Трансформатори напруги
1	Електроустаткування						
2	Випробувальна напруга грозового імпульсу електроустаткування з рівнем ізоляції a згідно з [6], кВ	950	1050	950	1050	950	1050
3	Допустима напруга $U_{\text{доп}}$ розрахована за формулою (2), кВ	864	974	864	974	864	974
4	Найбільша захисна відстань від РВ до електроустаткування згідно з [8], м	80	320	80	320	80	320
5	Найбільша захисна відстань від ОПН до електроустаткування з рівнем ізоляції a , розрахована за формулою (3), м	109	375	96	341	92	331
6	Найбільша захисна відстань від ОПН до електроустаткування (м) з рівнем ізоляції a згідно з [6], визначена за допустимою напругою $U_{\text{доп}}$ і табл. 1, 2	110	358	95	331	91	323

Порівняння даних захисних відстаней до автотрансформаторів за рядками 5,6 табл. 3 показує їх високу збіжність. Збіжність даних захисних відстаней до трансформаторів напруги за рядками 5,6 досягає декількох відсотків, що прийнятно для практики подібних розрахунків.

Висновки

1. Обґрунтована вперше запропонована у [8] корегуюча формула розрахунку захисних відстаней від ОПН до електроустаткування з рівнем ізоляції a згідно з [6].

2. Проведені розрахунки перенапруг за програмою ЕМТР підтверджують результати вибору захисних відстаней від ОПН до електроустаткування з рівнем ізоляції a відповідно до ГОСТ 1516.3.

Література

1. РД 153-34.3-35.125-99 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений / Под научной редакцией Н.Н. Тиходеева. — 2-е изд. — СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. — 355 с.

2. Костенко М.В., Ефимов Б.В., Зархи И.М., Гумерова Н.И. Анализ надежности грозозащиты подстанций. — Л.: "Наука", 1981. — 128 с.

3. Ефимов Б.В., Халилов Ф.Х., Новикова А.Н., Гумерова Н.И., Невретдинов Ю.М. Актуальные проблемы защиты высоковольтного оборудования подстанций от грозовых волн, набегающих с воздушных линий // Труды Кольского научного центра РАН. — 2012. — № 8. — с. 7—25.

4. Дмитриев М.В. Грозовые перенапряжения на оборудовании РУ 35-750 кВ и защита от них. — СПб., 2006. — 44 с.

5. Правила улаштування електроустановок. 3-тє вид., перероб. і доп. — Харків: Вид-во "Форт", 2010. — 736 с.

6. ГОСТ 1516.3-96. Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции: Межгос. стандарт. — Введ. 01.01.99. — М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. — 50 с.

7. EMTP. Rule book. Bonneville Power Administration, Branch of System Engineering, Portland, Oregon 97208-3621, USA.

8. СОУ-Н ЕЕ 40.12-00100227-47:2011 Обмежувачі перенапруг нелінійні напругою 110-750 кВ. Настанова щодо вибору та застосування. Розроблено кафедрою техніки та електрофізики високих напруг НТУУ «КПІ» / В.О. Бржезицький, Д.С. Крысенко.

9. Базуткин В.В., Кадомская К.П., Костенко М.В., Михайлов Ю.А. Перенапряжения в электрических системах и защита от них. Учебник для вузов. — СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд-ние, 1995. — 320 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ РАССТОЯНИЙ ОТ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ДО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ 110-750 КВ

В.А. Бржезицкий, И.Н. Маслюченко, Д.С. Крысенко

Национальный технический университет "Киевский политехнический институт"

В статье рассмотрены вопросы определения защитных расстояний от ограничителей перенапряжений нелинейных до защищаемого электрооборудования при грозовых перенапряжениях и выполнен анализ защитных расстояний в зависимости от уровня изоляции электрооборудования.

Ключевые слова: *ограничитель перенапряжений нелинейный, защитные расстояния, грозовые перенапряжения, уровень изоляции электрооборудования.*