

УДК 621.316.9.015.3

АКИМОВ О.І., к.т.н., доцент,
 НЕРУБАЦЬКА А.В., магістрант (УкрДАЗТ)

Захист повітряних ліній від грозових перенапруг

Подано результати аналізу грозових перенапруг в повітряних лініях електрифікованих залізниць. Показано, що для таких ліній з нормальною ізоляцією обладнаних швидкодіючим релейним захистом від струмів короткого замикання, грозові напруги не являють небезпеки. Місця з послабленою ізоляцією таких ліній повинні бути захищені окремо.

Ключові слова: перенапруга, грозозахист, нелінійний обмежувач напруг, повітряна лінія.

Постановка проблеми

Під час експлуатації ізоляція повітряних ліній (ПЛ) електрифікованих залізниць підпадає під дію як робочої напруги, так і різних видів перенапруг. Джерелами грозових перенапруг можуть бути як прямі удари блискавки, так і наведена напруга від ударів блискавки поблизу ПЛ. Для забезпечення необхідного рівня грозостійкості ПЛ в цих випадках використовується сполучення традиційних засобів грозозахисту: установлення одного або декількох грозозахисних тросів, зменшення опору заземлення опор, раціональне розташування проводів на опорах, вибір типів опор або конкретної ПЛ тощо.

В ряді випадків із-за об'єктивних причин (великі значення опору заземлення опор ПЛ, неможливість застосування грозозахисних тросів) традиційні засоби грозозахисту не можуть забезпечити необхідну грозостійкість ПЛ. В таких випадках додатковим способом підвищення грозостійкості ПЛ може бути встановлення обмежувача перенапруг (ОПН) на опорах ПЛ для захисту її ізоляції від перекриття. Однак до теперішнього часу нема єдиної думки з питання вибору місць розміщення комплектів ОПН на опорі, найбільш ефективних з точки зору зниження числа перекриття ізоляції ПЛ. Тому актуальним є питання вибору місць установлення ОПН для захисту ПЛ від грозових перенапруг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням захисту від перенапруг електричних мереж присвячено достатньо публікацій [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Однак вони розглядають ці питання без урахування специфіки електрифікованих залізниць. В [1] розглянутий захист від перенапруг підстанцій, а все зовнішнє електропостачання залишалось за полем зору. В [5] запропоноване глибоке обмеження імпульсних перенапруг за рахунок розробки і впровадження повних схем грозозахисту,

зокрема каскадної схеми. Однак її застосування значно здорожує грозозахист, тому у теперішній час ця схема не використовується. В [9] розглядається спосіб розрахунку ризику прямих і непрямих ударів блискавки в контактний провід, а зовнішнє електропостачання взагалі не розглядалось.

Мета статті - вибір місця установки захисного захисту від перенапруг в електричних мережах.

Основна частина

При розгляді грозових перенапруг на ПЛ розрахунковими випадками, як правило, є:

- удар блискавки в опору або удар в трос поблизу опори (т. 1 на рис. 1);
- удар блискавки в трос в середині прогону (т. 2 на рис. 1);
- прорив блискавки через тросовий захист (т. 3 на рис. 1).

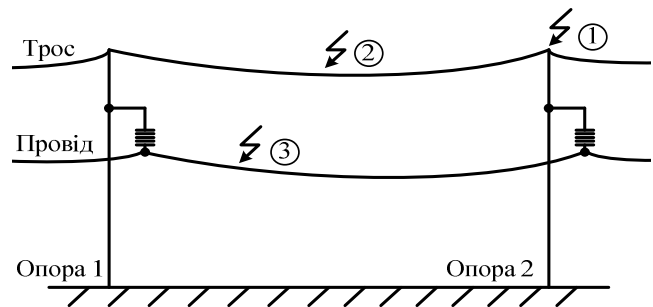


Рис. 1. Джерела грозових перенапруг на ПЛ

Аналіз специфіки ПЛ електрифікованих залізниць показав, що другим і третім розрахунковими випадками для цих ПЛ можна знехтувати.

Дійсно, ймовірність удару блискавки в трос в середині прогону значно нижче, ніж в опорі або в трос поблизу опори за рахунок провисання тросу в прогоні. З другого боку, перекриття на опорі при ударі блискавки в середину троса мало імовірні, оскільки

© О.І. Акімов, А.В. Нерубацька, 2013

при ударі в опорі через неї тече практично весь струм блискавки і ізоляція підпадає під дію сильних індукованих перенапруг. При ударі ж в середину троса струм поділяється на дві рівні частини між сусідніми опорами, тобто індуковані перенапруги на них будуть меншими, ніж при ударі в опорі.

Імовірність прориву блискавки через тросовий захист (P) можна визначити за формулою [11]:

$$\lg P = \frac{a \cdot \sqrt{h}}{90} - 4, \quad (1)$$

де a – кут захисту троса;

h – середня висота підвісу тросів (або проводів на лінії без тросів).

Для класу ПЛ, що розглядається, характерні лінії на залізобетонних опорах напругою 110 кВ. Для опор таких ліній довжина гірлянди ізоляторів становить 1,25 м. Тоді при висоті підвішування троса десь 20 м і кута захисту 30°, отримаємо $P = 0,004$. Це достатньо низька імовірність, тому нема необхідності проводити розрахунки показників грозостійкості такої ПЛ. Очевидно, що вони не вийдуть за допустимі границі.

Таким чином, розрахунковим випадком аналізу грозових перенапруг на ПЛ цього типу залишається перший. У цьому випадку на ізоляцію лінії будуть діяти такі напруги.

1. Середня робоча напруга, що приймається рівній середній напрузі за півперіод

$$U_{роб.сеп} = \frac{2}{\pi} \cdot U_{роб.макс}$$

2. Спад напруги на заземлювачі опори

$$U_R(t) = i_{on}(t) \cdot R_{3,i}, \quad (2)$$

де $R_{3,i}$ – імпульсний опір заземлювача опори;

$i_{on}(t)$ – частина струму блискавки, що стікає по ураженій опорі в землю.

Напруга U_R досягає максимуму при амплітудному значенні струму i_{on} , який дорівнює

$$i_{on}(t) = \frac{a}{R_{3,i}} \cdot \left[\frac{L_T}{2} - M_T(t) \right] \cdot (1 - e^{-\lambda t}), \quad (3)$$

де a – крутість струму, кА/мкс;

$M_T(t)$ – коефіцієнт взаємодукації між каналами блискавки і тросом, який змінюється в часі із-за зміни довжини каналу при головному розряді, мкГн;

λ – коефіцієнт, що характеризує зміну струму блискавки в опорі і дорівнює $\frac{R_{3,i}}{0,5 \cdot L_T + L_{on}^T}$,

де L_{on}^T – індуктивність опори між точкою підвішування троса та заземленням.

3. Магнітна складова індукованої напруги від струму в опорі $i_{on}(t)$ і від струму в каналі блискавки $i_d(t)$. Ця напруга дорівнює

$$U_{інд.м}(t) = L_{on}^n \cdot \frac{di_{on}(t)}{dt} + M_n(t) \cdot \frac{di_d(t)}{dt} \approx \approx L_{on}^n \cdot \frac{di_{on}(t)}{dt} + a \cdot M_n(t), \quad (4)$$

де L_{on}^n – індуктивність опори на ділянці від поверхні землі до рівня підвішування проводів;

$M_n(t)$ – коефіцієнт взаємодукації між каналом блискавки та петлею "провід-земля". Ця величина є також змінною із-за зміни довжини каналу блискавки при головному розряді.

4. Електрична складова індукованої напруги $U_{інд.е}(t)$ від електричного поля каналу блискавки

$$U_{інд.е}(t) = a \cdot h_{сеп}, \quad (5)$$

де a – коефіцієнт, який чисельно дорівнює крутості струму блискавки, кВ/м;

$h_{сеп}$ – висота підвішування верхнього проводу, м.

5. Індукована напруга, викликана рухом хвилі напруги вздовж троса

$$U_{інд.т}(t) = U_T(t) \cdot K_{ТП} = = K_{ТП} \cdot \left[i_{on}(t) \cdot R_{3,i} + L_{on}^T \cdot \frac{di_{on}(t)}{dt} + a \cdot M_T(t) \right], \quad (6)$$

де $K_{ТП}$ – коефіцієнт зв'язку між тросом і проводом.

Таким чином, напруга на ізоляції ураженої опорі буде дорівнювати

$$U_{із}(t) = U_{роб.сеп} + U_R(t) + U_{інд.м}(t) + + U_{інд.е}(t) - U_{інд.т}(t). \quad (7)$$

Остання складова взята з негативним знаком, оскільки вона зменшує напругу на ізоляції.

Розрахунки показують, що у випадку високих опор і одного тросу основну частку в напрузі на ізоляції грають індуковані напруги $U_{інд.м}(t)$ і $U_{інд.ε}(t)$. Однак слід вважати, що після закінчення фронту хвилі, на якому вона велика, обидві складові значно зменшуються внаслідок більш плавної зміни струму на спадаючій ділянці хвилі. Тому більш імовірним буде перекриття на фронті хвилі струму.

Саме перекриття ізоляторів ПЛ у більшості випадків не являє серйозної небезпеки, оскільки час дії перенапруги малий (мікросекунди). Більш суттєвим є те, що після перекриття можливе тривале горіння електричної дуги супровідного струму. Під час горіння дуги можливе пошкодження глазурі, руйнування фарфору ізолятора, перепал проводів, розташованих поблизу. Крім того, можливе відмикання ураженої ділянки. Якщо релейний захист від струмів короткого замикання (к.з.) працює надійно, то відмикання ураженої ділянки проходить так швидко, що вказаних пошкоджень не відбувається і живлення ПЛ може бути негайно відновлене.

Тому доцільно застосовувати автоматичне повторне включення (АПВ) таких ліній, що дозволяє швидко відновлювати їхнє нормальне живлення.

Таким чином, основним засобом, який охороняє ПЛ від грозових перенапруг є надійний швидкодіючий захист від струмів к.з. в сполученні з АПВ.

Тому, як правило, такі перенапруги не являють небезпеки для ліній, що розглядаються, з нормальною ізоляцією.

Місця ж ліній з послабленою ізоляцією повинні бути захищені окремо. Оскільки раніш використовували для цієї мети розрядники відпрацювали свій ресурс, застаріли морально і фізично і взагалі зняті з виробництва, то основним засобом захисту таких місць ПЛ становляться ОПН. Однак із-за їхньої великої вартості можливо використання з цією метою довжинноіскрових розрядників. Вони значно дешевші, працюють в широкому діапазоні температур і розраховані на 30 років роботи в необслуговуваному режимі.

Висновки

1. Грозові перенапруги для ПЛ електрифікованих залізниць з нормальною ізоляцією, не обладнаних традиційними засобами грозозахисту та від струмів к.з., не являють небезпеки.

2. Місця з послабленою ізоляцією таких ліній повинні бути захищені окремо за допомогою ОПНів або довжинноіскрових розрядників.

Література

1. *Базуткин В.В.* Перенапряжения в электрических системах и защита от них [Текст] : учеб. для

- ВУЗов / В.В. Базуткин, К.П. Кадомская, М.В. Костенко, Ю.А. Михайлов. – СПб.: Энергоатомиздат, 1995. – 320 с.
2. *Халилов Ф.Х.* Исследование технико-экономической обоснованности грозозащиты ВЛ с помощью ОПН [Текст] / Ф.Х. Халилов // Сборник докладов 8-й научной конференции по электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности "ЭМС-2004". – СПб., 2004. – С. 50-56.
3. *Егоров В.В.* Техника высоких перенапряжений. Перенапряжения в устройствах электрической тяги. Профилактические испытания изоляции [Текст] / В.В. Егоров. – М.: Маршрут, 2004. – 188 с.
4. *Справочник по электрическим установкам высокого напряжения* [Текст] / И.А. Басумштейн, С.А. Бажанов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 767 с.
5. *Костенко М.В.* Перенапряжения и защита от них в воздушных и кабельных электропередачах высокого напряжения [Текст] : учеб. / М.В. Костенко, К.П. Кадомская, М.Л. Левинштайн, И.А. Ефремов – Л.: Наука, 1988. – 302 с.
6. *Аронов М.А.* Ограничители перенапряжений в электроустановках 6-750 кВ [Текст] : методическое и справочное пособие / М.А. Аронов, О.А. Аношин, О.И. Кондратов, Т.В. Лопухова; под ред. М.А. Аронова. – М. : Знак, 2001. – 240 с.
7. *Александров Г.Н.* Применение управляемых шунтирующих реакторов и нелинейных ограничителей перенапряжений в электрических сетях высокого напряжения [Текст] : учеб. пособие / Г.Н. Александров, А.И. Афанасьев. – СПб.: ПЭИПК Минатомэнерго РФ, 1993. – 103 с.
8. *Кадомская К.П.* Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них [Текст] : учеб. / К.П. Кадомская, Ю.А. Лавров, А.А. Рейхердт. – Новосибирск: НГТУ, 2004. – 368 с.
9. *Делинг А.* Атмосферные перенапряжения и риск обнаружения ударов молнии в линии контактной сети [Текст] / А. Делинг, Г. Бизенак, А. Шмидер // Совершенствование схем устройств электроснабжения транспорта и проектирование их конструкций: сб. науч. тр. / Урал. гос. ун-та путей сообщения. – Екатеринбург: ВНИ. 48 (131), 2006. – С. 68-81.
10. *Крыжановский В.В.* Области рационального использования подвесных ОПН для повышения грозозащиты ВЛ 110 и 220 кВ [Текст] / В.В. Крыжановский, А.Н. Новикова, О.В. Шмараго // Сборник материалов НТК "Научные аспекты и актуальные проблемы разработки, производства,

испытаний и применения ОПН". – СПб.: АООТ "НИИ Электрокерамика", 2001. – С. 108-113.

11. *Акімов О.І.* Техніка високих напруг. Ізоляція та перенапруги в пристроях електропостачання і електричної тяги залізничного транспорту [Текст] : навч. посібник / О.І. Акімов, Д.Л. Сушко. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 217 с.
12. *Акімов О.І.* Вибір засобу глибокого обмеження перенапруг в електричних мережах електрифікованих залізниць [Текст] : зб. наук. праць / О.І. Акімов, Д.Л. Сушко. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 134. – С. 136-140.

Акімов А.И., Нерубацкая А.В. Защита воздушных линий от грозových перенапряжений. Представлены результаты анализа грозových перенапряжений в воздушных линиях электрифицированных дорог. Показано, что для таких линий с нормальной изоляцией, оборудованных быстродействующей релейной защитой от токов короткого замыкания, грозových перенапряжения не представляют опасности. Места с ослабленной изоляцией таких линий должны быть защищены отдельно.

Ключевые слова: перенапряжение, грозозащита, нелинейный ограничитель напряжений, воздушная линия.

Akimov O.I., Nerubatskya A.V. Protection of overhead lines from lightning surges. The analyses of lightning surges in electrified railway overhead lines have been presented. It has been shown that lightning surges are not dangerous for such normally isolated lines equipped with quick-operating relay protection from short-circuit currents. Places with reduced insulation on such lines must be protected separately.

Key words: over-voltage, lightning guard, nonlinear voltage limiter, air line.

Рецензент д.т.н., професор Щербак Я.В. (УкрДАЗТ)

Поступила 10.04.2013 г.