

Ю.М. Жовнір, О.П. Жовнір*, І.В. Ліщак, М.М. Борецький****
 Приватне підприємство “Науково-виробнича фірма “Львівполісервіс”,
 *Державне підприємство “Львівський проектно-вишукувальний інститут
 залізничного транспорту України “Львівтранспроєкт”,
 **Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра ЕСМ

АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ІЗ ЗАХИЩЕНИМИ ПРОВОДАМИ 6-35 КВ ВІД АТМОСФЕРНИХ ПЕРЕНАПРУГ

© Жовнір Ю.М., Жовнір О.П., Ліщак І.В., Борецький М.М., 2011.

Розглянуто проблему грозозахисту повітряних ліній 6–35 кВ із захищеними проводами та проведено аналіз наявних способів захисту таких ліній від атмосферних перенапруг.

Ключові слова: розрядник, блискавкозахист, заземлення, захист ввід перенапруг, грозовий імпульс, лінійний розрядник, зона захисту, довго-іскровий розрядник.

The problem of lightning-protection of open-wires 6–35 kV with the protected send-offs and the analysis of existent methods of defence of such lines is conducted from atmospheric overstrains is it considered.

Key words: Lightning arrester, lightning-protection, ground (electricity), surge protector, lightning current impulse, line arrester, protective zone, long flashover arrester.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розподільчі електричні мережі напругою 6–35 кВ охоплюють всю територію України і виконують передусім функції розподілу та передавання електроенергії безпосередньо до споживачів.

Надійність електропостачання споживачів значною мірою визначається надійністю роботи повітряних ліній 6–35 кВ, яка, через низку об’єктивних причин, є порівняно низькою.

Застосування захищених проводів (ЗП) сьогодні є найпрогресивнішим та найперспективнішим способом розвитку електричних розподільчих мереж.

Порівняно з традиційними лініями електропередавання – з незахищеними проводами (ПЛ 6-35 кВ) лінії електропередавання із застосуванням захищених проводів (ПЛЗ) мають низку конструктивних особливостей: наявність ізоляційного покриття на струмоведучих провідниках, підвищену механічну міцність, прогресивну лінійну арматуру тощо. Ці особливості зумовлюють низку переваг ПЛЗ над ПЛ, а саме:

- менші габарити охоронної зони ПЛЗ порівняно з ПЛ, що є зручним під час спорудження лінії на забудованих територіях міст та під час переходів через лісові масиви;
- можливість будівництва багатоколових ліній у місцях їх паралельного проходження, разом з лініями нижчого класу напруги, що дає можливість економити матеріальні ресурси;
- економія металу завдяки зменшенню відстаней між проводами на опорах;
- низька ймовірність ураження електричним струмом внаслідок прямого контакту людини із проводом лінії;
- відсутність міжфазних коротких замикань між проводами ПЛЗ під час дотику їх один до одного та під час падіння дерев або гілок на проводи;

- істотне зменшення ймовірності замикання на землю ПЛЗ;
- підвищення надійності ліній у зонах інтенсивної ожеледиці (внаслідок того, що утворення стінки ожеледиці на захищених проводах відбувається за набагато складніших умов, ніж на неізолюваних проводах).

Однією з основних причин аварій та порушень живлення в мережах 6–35 кВ з повітряними лініями є грозові перенапруги, внаслідок яких відбувається близько 40 % від загальної кількості їх вимкень [1].

Грозові перенапруги можуть виникати під час прямого удару блискавки в лінію електропередачі, а також можуть бути індукованими. Індуковані перенапруги виникають на ізоляції внаслідок наведення струмом блискавки під час удару блискавки в землю або об'єкти поблизу лінії чи підстанції [2].

Грозові перенапруги спричиняють пошкодження ізоляторів, опор, проводів, призводять до замикань на землю, дугових перенапруг та автоматичних вимкень лінії. Внаслідок низького рівня імпульсної міцності лінійної ізоляції, ПЛЗ 6–10 кВ підлягають грозовим вимкненням, оскільки практично всі випадки грозових перенапруг від прямих ударів блискавки та значна частина індукованих перенапруг призводять до перекриття ізоляторів. З великим ступенем ймовірності такі перекриття ізоляції переходять в силову дугу напруги промислової частоти.

На лінії з неізолюваними проводами дуга під впливом електродинамічних сил здатна переміщуватись одним із своїх кінців вздовж провідника (рис. 1). Фактор пошкодження проводу внаслідок теплового впливу дуги не є визначальним під час формування концепції грозозахисту ПЛ.

Особливістю проблеми блискавкозахисту ПЛЗ є те, що за відсутності спеціальних заходів, під час грозового перекриття ізоляторів лінії, яке супроводжується пробоем твердої ізоляції ЗП, дуга промислової частоти не має можливості переміщуватися вздовж проводу й горить в місці пробоем ізоляції до моменту вимкнення лінії (рис. 2). Це може призвести до перепалювання ізоляції ЗП, а у випадку великих струмів КЗ – й до перепалювання проводу.

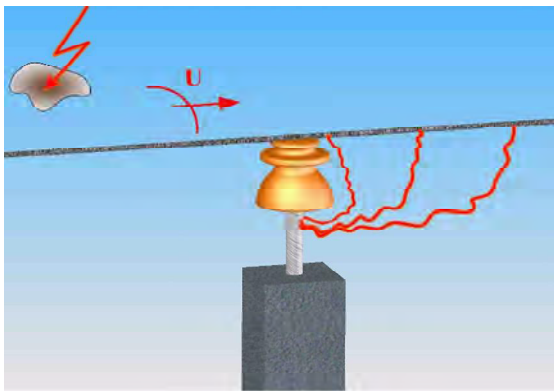


Рис. 1. Переміщення дуги по неізолюваному проводу [6]

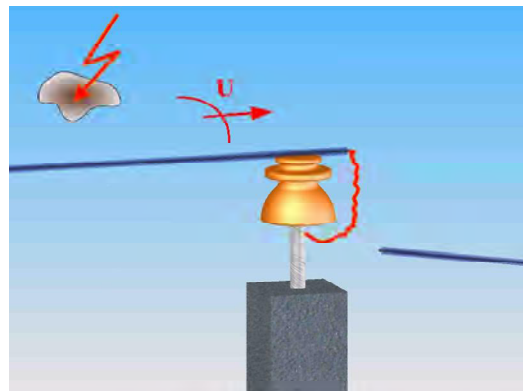


Рис. 2. Фіксація дуги в точці пробиття твердої ізоляції ЗП [6]

Тому у разі ПЛЗ запобігання перепалювання проводу стає головною умовою, яка визначає необхідність обов'язкового застосування спеціальних заходів блискавкозахисту.

Формулювання цілі статті

Метою статті є порівняльний аналіз способів грозозахисту повітряних ліній із захищеними проводами.

Виклад основного матеріалу

Загалом необхідність виконання грозозахисту ПЛЗ та вибір його способу визначається низькою факторів:

- інтенсивністю грозової діяльності у конкретному регіоні;

- дисконтованими витратами на спорудження та експлуатацію відповідних засобів блискавкозахисту;
- рівнями струмів короткого замикання на початку та вздовж ділянки ПЛЗ, значення яких залежить від потужності трансформаторів підстанції, типу та потужності навантаження, величини питомого опору ґрунтів вздовж траси лінії тощо.

Для обґрунтування застосування тієї чи іншої системи захисту від грозових перенапруг та перепалювання проводів необхідно кількісно оцінювати [6] ймовірності того, що грозове вимкнення супроводжується перепалюванням проводу та на підставі техніко-економічного обґрунтування обирати відповідний спосіб захисту.

Сьогодні у світі відомі та застосовують чотири основних способи (системи) захисту ПЛЗ від перепалювання ізоляції ЗП:

- використання дугостійких затискачів (американська система);
- встановлення поблизу ізоляторів дугозахисних «рогів» (французька (фінська) система);
- використання обмежувачів перенапруг у поєднанні з іскровим проміжком (японська система).
- використання довго-іскрових розрядників (РДІ) (російська система).

Використання дугостійких затискачів

Ця система набула найбільшого поширення в електромережах Північно-американського континенту.

Із захищеного проводу ПЛЗ, в околі ізолятора, видаляється ізоляція. Перед початком ізолюваної частини ЗП, у дві сторони від ізолятора, встановлюють дугостійкі затискачі (рис. 3).

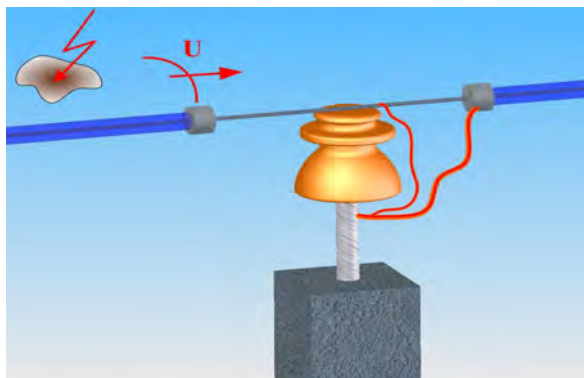


Рис. 3. Застосування дугових затискачів для захисту ПЛЗ від перепалювання [6]

Під час виникнення перенапруги між неізолюваною частиною ЗП та заземленою частиною опори виникає дуга, яка під дією електродинамічних сил переміщується до дугостійких затискачів. Лінія вимикається засобами релейного захисту й вмикається за допомогою пристрою АПВ. До того ж ЗП не перепалюється.

До основних недоліків цієї системи захисту ЗП від перепалювання силовою дугою під час грозових перенапруг належать:

- вимкнення лінії;
- електродинамічний удар, якому підлягає електрообладнання;
- обгорання дугових затискачів під впливом великих струмів;
- необхідність заміни (обслуговування) дугових затискачів.

Застосування дугозахисних «рогів»

Цей спосіб захисту найбільше поширений у Франції, а свого часу – і у Фінляндії, й передбачає встановлення на всі три проводи поблизу ізоляторів дугозахисних «рогів» разом із спіральною арматурою. Вони повинні забезпечувати відведення від кожного з проводів дуги, яка горить після грозового перекриття ізолятора, та сприяти переведенню можливих однофазних дугових замикань в міжфазні (рис. 4).

На рис. 4, а схематично показано перехід імпульсного грозового перекриття ізолятора на одній з фаз ПЛЗ в дугове замикання. Якщо струм промислової частоти дугового замикання

достатньо великий (понад 2 кА), виникає електродинамічна сила, яка здатна пересувати дуговий канал вздовж спеціального дуговідвідного проводу на захисний ріг. Внаслідок цього відбувається перекидання дугового каналу з захисного рога фази, де відбулося грозове перекриття, на ріг сусідньої фази, ізолятор якої не перекривався їй, як наслідок – міжфазне замикання (рис. 4, б).

Враховуючи такий принцип дії дугозахисних рогів, ЗП захищаються від перепалювання за рахунок обгорання «рогів» та за рахунок гарантованого гасіння дуги під час вимкнення лінії внаслідок міжфазних коротких замикань.

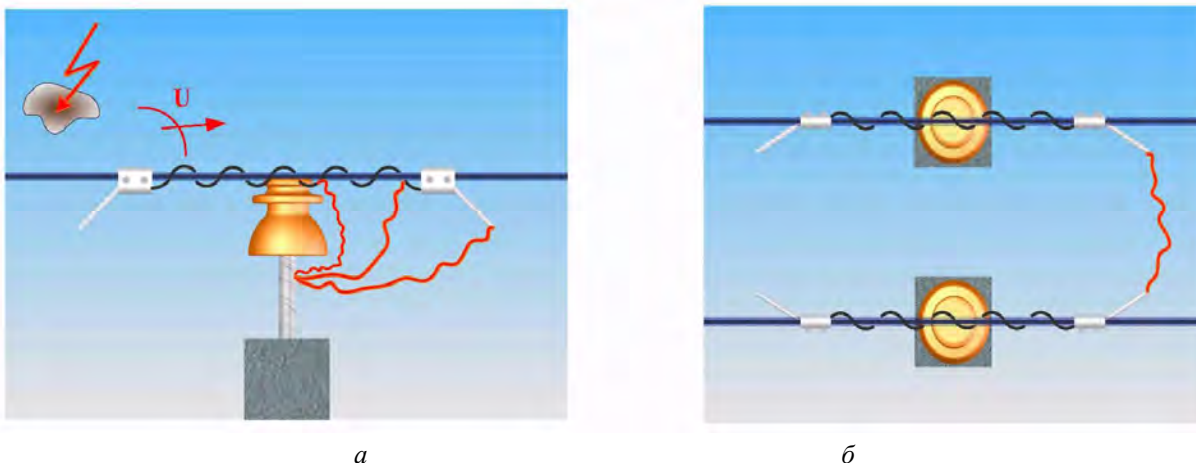


Рис. 4. Зміщення дугового каналу на захисний «ріг» (а) та формування міжфазного КЗ (б) [6]

Як відзначають розробники системи дугозахисних рогів [5], дугові замикання можна супроводжувати струмами різної величини, а можливість виходу дуги на «роги», через електродинамічні закономірності та конструктивних параметри системи, з'являється лише за струмів, більше ніж 1–2 кА. Такі струми можуть виникати лише під час міжфазних коротких замикань на ділянках ПЛЗ, наближених до підстанцій. За менших величин струмів КЗ дуга не виходить на «роги», й це створює небезпеку перепалювання проводу, навіть під час КЗ, зумовленим прямим ударом блискавки в лінію, на віддалі декілька кілометрів від підстанції.

За таких величин струмів дуга не виходить на «роги», й система не забезпечує захист проводів від перепалювання.

Основною перевагою застосування захисних «рогів» потрібно вважати їхню невелику вартість.

Застосування обмежувачів перенапруг з іскровими проміжками

Найбільшого розповсюдження ця система набула в Японії, де до надійності функціонування розподільчих мереж висувають достатньо жорсткі вимоги.

Цей спосіб захисту передбачає використання елементів з нелінійними вольт-амперними характеристиками у поєднанні з іскровими проміжками [4, 7]. Такі пристрої отримали назву пристроїв захисту від перенапруг (ПЗПН) (рис. 5).

Під час впливу на проводи індукованих перенапруг або прямого удару блискавки іскровий проміжок ПЗПН пробивається та під'єднує до проводу спеціальний



Рис. 5. Вигляд пристрою захисту від перенапруг (ПЗПН-10) на проміжній опорі [6]

нелінійний обмежувач перенапруг (ОПН), який завдяки зниженню власного опору в цей момент здійснює ефективне скидання перенапруги на заземлені частини опор через електроди, минаючи ізолятори, що запобігає їх перекриттю та пошкодженню, а провідник – від перепалювання. Після припинення дії грозової перенапруги опір ОПН повертається до вихідних значень й струм промислової частоти, який проходить через нього, обмежується до величини, за якої існування дуги в іскровому проміжку не можливе (рис. 6).

Наприклад, для ізоляторів, що використовуються на ПЛЗ 10 кВ імпульсна напруга, яку вони витримують, становить 135–145 кВ. Індукована хвиля перенапруги, яка набігає на ізолятор ПЛЗ 10 кВ, може мати амплітуду до 300 кВ й відповідно здатна призвести до перекриття ізолятора з утворенням силової дуги, горіння якої надалі можна підтримувати струмом та напругою промислової частоти.

До основного недоліку цього способу блискавкозахисту ПЛЗ належить його порівняно значна вартість.

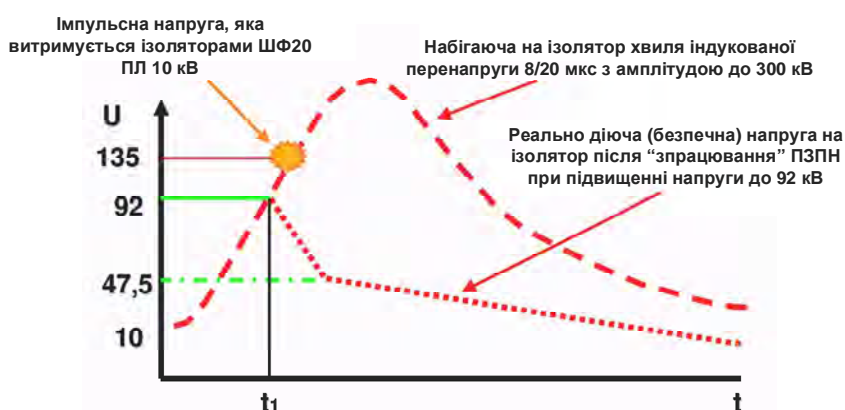


Рис. 6. До пояснення принципу дії ПЗПН [6]

Застосування іскрових розрядників

Останніми роками для захисту ПЛЗ 6–35 кВ від грозових перенапруг та перепалювання проводів застосовують розрядники довго-іскрові (РДІ), розроблені НВО «Стример» (Росія) [6]. Принцип дії всіх видів РДІ полягає в обмеженні грозових перенапруг на ПЛ за рахунок іскрового перекриття по поверхні ізоляційного тіла розрядника з довжиною каналу розряду, яка в декілька разів перевищує будівельну висоту ізоляції, що захищається. Гасіння супроводжувальних струмів промислової частоти забезпечується за рахунок зниження величини середнього градієнту робочої напруги вздовж каналу грозового перекриття.

Головною перевагою класу довго-іскрових розрядників є їхня стійкість до руйнування та пошкодження грозовими й дуговими струмами, оскільки вони проходять по повітрю або вздовж їх поверхні.

Встановлення розрядників на кожній опорі ПЛЗ та на підходах до підстанцій дає змогу запобігти перекриттю ізоляції на ПЛЗ й всі негативні супроводжувальні наслідки як під час індукованих грозових перенапруг, так й під час прямого удару блискавки. До того ж забезпечується відсутність грозових вимкнень ПЛЗ, руйнування ізоляторів, перепалювання проводів, економія ресурсів та захист підстаційного обладнання.

До основних недоліків пристроїв цього класу можна зарахувати відсутність досвіду їх експлуатації та рівня практичної ефективності захисту ПЛЗ від грозових перенапруг.

Висновки

Враховуючи вищенаведене, для обґрунтування та вибору оптимального способу блискавкозахисту необхідно:

- здійснювати аналіз технічної необхідності встановлення блискавкозахисту на конкретній ділянці траси проходження ПЛЗ;
- вибирати спосіб (способи) блискавкозахисту на підставі техніко-економічних обґрунтувань методом дисконтованих витрат.

Крім того, враховуючи порівняно невелику вартість дугозахисних «рогів» й те, що вони надійно захищають ЗП від перепалювання лише за струмів КЗ до 2 кА – захист лінії цим способом потрібно виконувати на ділянках біля підстанції та прилеглих до неї ділянках ПЛЗ. Інші ділянки ПЛЗ доцільно захищати, використовуючи пристрої ПЗПН, встановлюючи один пристрій на опорі, з чергуванням по фазах на сусідніх опорах.

Для умов України питання вибору оптимального варіанта способу блискавкозахисту ПЛЗ потребує додаткових досліджень.

1. Костенко М.В., Богатенков И.М., Михайлов Ю.А., Халилов Ф.Х. Физика грозового разряда и защита линий электропередачи. – Л.: ЛПИ, 1982. 2. Weiming Chen: Analysis and Prevention Inquiry on Break 10 kV Aerial Insulated Wire Caused by Lightning Stroke // 18-th International Conference on Electricity Distribution (CIRED). – Turin (Italy), 6–9 June 2005, session 1, rep 00700. 3. Short T.A., Ammon R.H. Monitoring Results of the Surge Arrester Spacings on Distribution Line Protection // IEEE Trans. On Power Delivery. – July 1999. – Vol. 14, No. 3. – P. 1142–1150. 4. Nakada K. et.al. Energy Absorption of Surge Arresters on Power Distribution Lines due Direct Lightning Strokes-Effects of an Overhead Ground Wire and Installation Position of Surge Arresters // IEEE Transactions on Power Delivery. – October 1997. – Vol.12, No. 4. – P. 1779–1785. 5. Kokkonen M. Development of Lightning Protection for Covered Conductor, ICCS, 2000. 6. Подпоркин Г.В, Сиваев А.Д. Современная грозозащита распределительных воздушных линий 6,10 кВ длинно-искровыми разрядниками // Электро. – 2006. – № 1.