

створення таких моделей доцільним є застосування методу середньокрокових напруг, який на відміну від широкоживаних методів Рунге-Кутта та Адамса (зі співмірною кількістю обчислень на кроці) забезпечує прийнятну точність розрахунку при великих значеннях кроку чисельного інтегрування, зокрема такому, що дорівнює найменшій сталій часу.

Результати експериментальних досліджень підтверджують доцільність використання зазначеного методу для реалізації динамічних цифрових моделей на базі мікроконтролерів, які широко використовують в сучасних цифрових системах керування. Зокрема, для прикладу реалізації динамічної моделі двигуна постійного струму з незалежним збудженням результати розрахунку на мікроконтролері за точністю не поступаються результатам моделювання на ПЕОМ, а її швидкодія достатня для забезпечення роботи в реальному масштабі часу.

1. Плахтина О.Г. Числовий однокроковий метод аналізу електричних кіл і його застосування в задачах електромеханіки / О.Г. Плахтина // Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – № 30. – С. 223–225. 2. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров. – 2-е изд., переработанное и дополненное./ Сост. Шпак Ю.А. – К.: «МК-Пресс», СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2011. – 544 с. 3. ATMEL device datasheet. ATmega128. – ATMEL Inc, 2011. – 379 s.

УДК 551.594.21:62:781

І.В. Ліщак, Т.В. Бінкевич

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕСМ

СУЧАСНИЙ ГРОЗОЗАХИСТ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ 6, 10 КВ ДОВГО-ІСКРОВИМИ РОЗРЯДНИКАМИ (РДІ)

© Ліщак І.В., Бінкевич Т.В., 2012

Розглянуто проблеми грозозахисту розподільчих повітряних ліній 6, 10 кВ та проведено аналіз захисту таких ліній довго-іскровими розрядниками .

Ключові слова: Грозозахист, довго-іскровий розрядник, лінія електропередавання із захищеними проводами, ОПН.

The problem of lightning protection of distribution routes 6.10 kV and the analysis of the protection of such lines of long-spark gap.

Key words: Lightning protection, long-spark gap, the transmission line with protected cables, surge arrester non-linear.

Актуальність та аналіз проблеми грозозахисту

Аналіз досвіду експлуатації розподільчих електричних мереж показує, що їх надійність нижча, ніж у мереж вищих класів напруги. Пошкодження в розподільних мережах становлять значну частину збитків, пов'язаних з перервами в електропостачанні споживачів.

Однією з основних причин аварій та пошкоджень повітряних ліній електропередавання (ПЛ) таких класів напруги є грозові перенапруги, що спричиняють імпульсні перекриття та руйнування ізоляторів, і супроводжуються дуговими замиканнями, із відповідним пошкодженням обладнання та відімкненням ліній.

Аварійні відімкнення ПЛ 6, 10 кВ через грозові перенапруги становлять до 40% від загальної кількості їх відімкнень. Через низьку імпульсну міцність, ізоляція розподільних мереж схильна до перекриття як від перенапруг під час прямих розрядів блискавки, так і від індукованих перенапруг при розрядах блискавки поблизу лінії. Останні є основною причиною грозових вимкнень і

пошкоджень обладнання мереж 6, 10 кВ, становлячи в деяких випадках до 90 %, а за проходження траси ПЛ у лісному масиві і до 100 % від їх загальної кількості.

Отже, надійність електропостачання споживачів багато в чому залежить від ефективності грозозахистних заходів на таких лініях. Чинні сьогодні норми не передбачають спеціального захисту від грозових перенапруг ПЛ з неізолюваними проводами напругою до 20 кВ, за винятком випадків захисту окремих точок ПЛ з ослабленою ізоляцією або з підвищеними вимогами до надійності. У цих місцях передбачається установка обмежувачів перенапруг нелінійних (ОПН), а також за наявності автоматичного повторного ввімкнення (АПВ) іскрових проміжків.

Наявний досвід застосування розрядників та незначний досвід застосування ОПН для захисту ПЛ від грозових перенапруг, а також теоретичні дослідження показують, що їх технічні можливості не достатні для надійного захисту повітряних ліній від наслідків грозових розрядів. Іскрові ж повітряні проміжки призводять тільки до збільшення кількості відімкнень ПЛ, оскільки не здатні гасити дугу, яка виникає після перекриття.

Єдиним засобом, який, хоча і не захищає безпосередньо від грозових впливів, але зменшує наслідки, слугує АПВ, ефективність якого для розподільних мереж становить не більше ніж 50 %. Оскільки АПВ негативно впливає на комутуюче і високовольтне обладнання, його застосовують далеко не скрізь.

Такий об'єктивний стан проблеми грозозахисту розподільних ПЛ змушував визнати неминучість їх грозових аварійних відімкнень і пошкоджень. До того ж здійснювана в останні роки в нашій країні технічна політика, спрямована на застосування на розподільних ПЛ захищених проводів, істотно сприяла необхідності вироблення та прийняття нових прогресивних технічних рішень у галузі блискавкозахисту. Повітряні лінії із захищеними проводами (ПЛЗ) мають відчутні експлуатаційно-технічні переваги перед ПЛ з неізолюваними проводами за рахунок меншої пошкоджуваності, менших габаритів, надійності електропостачання споживачів, безпеки, матеріалоемкості. Та ПЛЗ вимагають спеціального вирішення проблеми їх грозозахисту.

Особливістю проблеми грозозахисту ПЛЗ є те, що за відсутності спеціальних заходів під час грозового перекриття ізолятора лінії, дуга промислової частоти не має можливості переміщуватися по дроту і горить у місці пробною ізоляції до моменту відімкнення лінії. Це може призвести до випалу ізоляції проводу, ізолятора лінії, а в разі великих струмів коротких замикань (к.з.) – до перепалення проводу. Оскільки на лінії з неізолюваними проводами дуга під впливом електродинамічних сил здатна переміщатися одним зі своїх кінців уздовж проводу, фактор пошкодження проводу внаслідок теплового впливу дуги був незначним і ніяк не впливав на концепцію грозозахисту ПЛ, у разі ж ПЛЗ запобігання перепалення проводу стає головною умовою, що визначає необхідність обов'язкового застосування тих чи інших грозозахистних заходів.

Найпрогресивніші рішення в галузі грозозахисту повітряних ліній, відомі у світовій практиці, пов'язані із застосуванням ОПН. Значного поширення для грозозахисту ПЛЗ ОПН набули в Японії, де на розподільчих ПЛ застосовуються тільки захищені проводи і діють жорсткі вимоги щодо надійності електропостачання споживачів. Встановлення ОПН, розрахованих на струм блискавки 2,5 кА, паралельно кожному ізолятору ПЛЗ з підімкненням їх до проводу через іскровий проміжок не тільки ефективно запобігає дуговим замиканням, але й відімкненню лінії під час індукованих перенапруг. Але за прямого розряду блискавки в провід вони пошкоджуються і підлягають заміні.

Оскільки первинний досвід будівництва ПЛЗ в Україні був заснований на використанні того типу захищених проводів, які до цього довгі роки застосовувалися у Фінляндії, то і супутні технології, які забезпечували їх впровадження, були запозичені звідти ж. Зокрема і система захисту, призначена для запобігання перепалення проводів під час грозових перенапруг.

Сенс дії цієї системи за ідеальної реалізації повинен полягати в такому. Встановлювані на всі три проводи поблизу ізоляторів дугозахисні «роги» разом із спіральною арматурою, які повинні забезпечувати відвід від кожного з проводів палаючої після грозового перекриття дуги і сприяти переходу можливих однофазних дугових замикань, щонайменше, в двофазні. Отже, проводи

повинні захищатися від перепалення за рахунок обгорання «рогів» і за рахунок того, що гарантується гасіння дуги після відімкнення лінії.

Ця умовно звана «фінська» система дугозахисту має істотні недоліки. Перешкоджаючи перегоранню проводів, вона не захищає ізоляцію від перенапруг і не виключає можливості виникнення коротких замикань і відімкнення лінії після грозових впливів. Більше того, вона розрахована на те, щоб за рахунок спеціального розташування дугозахисних «рогів» однофазні замикання переводити в багатофазні тільки для того, щоб добитися відімкнення лінії. Такий принцип її дії ніяк не узгоджується з основною ідеєю функціонування електричних мереж з ізольованою нейтраллю, для яких однофазне замикання не є аварійним режимом, що вимагає обов'язкового відімкнення. У цьому разі одна проблема, пов'язана з захистом від перепалу проводів, вирішується за рахунок додавання інших проблем.

Під час захисту відбувається інтенсивне прогорання «рогів», що вимагає їх періодичної заміни. Але, крім завідомо очевидних проблем, є одна технічна обставина, з якої є сумнівною працездатність цієї системи навіть у початковому варіанті. Дугові замикання можуть супроводжуватися струмами різної величини, а можливість виходу дуги на «роги», через електродинамічні закономірності і конструктивні параметри системи, з'являються лише за струмів, що перевершують 1–2 кА [1]. Відповідно за менших струмів дуга не виходить на «роги», і це спричиняє небезпеку перепалу дроту. Така аварійна можливість з'являється, наприклад, навіть під час к.з., зумовленого одночасним перекриттям ізоляторів кількох фаз на одній опорі за прямого розряду блискавки в лінію, на віддалі декількох кілометрів від підстанції.

Досвід експлуатації «фінської» системи показав справедливості вищенаведеної критики.

Чинні сьогодні нормативні вимоги щодо грозозахисту ПЛЗ в загальному вигляді закріплені в 7-му виданні глави 2.5 ПУЕ, де рекомендовано встановлювати пристрої захисту ізоляції проводів ПЛЗ 6–20 кВ під час грозових перекриттів, і конкретизовані в Методичних вказівках щодо захисту розподільних електричних мереж напругою 0,4–10 кВ від грозових перенапруг [4]. Відповідно до них на ПЛЗ 6, 10 кВ, що проходять населеною місцевістю і в зоні з грозовою діяльністю в середньому 20 грозових годин і більше, необхідно передбачати установа для захисту від грозових перенапруг довго-іскрові розрядники (РДІ).

Ці вимоги практично означають, що більшість ділянок ПЛЗ необхідно обладнати вказаними засобами грозозахисту.

Формування цілі статті

Метою статті є аналіз сучасного стану грозозахисту розподільчих повітряних ліній 6, 10 кВ і застосування для цього довго-іскрових розрядників (РДІ).

Виклад основного матеріалу

Довго-іскрові розрядники – особливий клас грозозахисних пристроїв, які за своїми конструктивними параметрами, технічними характеристиками і функціональними можливостями є особливим класом пристроїв грозозахисту [5–8]. Вони не мають світових аналогів.

Принцип дії всіх видів РДІ полягає в обмеженні грозових перенапруг на ПЛЗ за рахунок іскрового перекриття по поверхні ізоляційного тіла розрядника з довжиною каналу розряду, в кілька разів більшою, ніж будівельна висота ізоляції, що захищається. Супроводжувальні струми промислової частоти гасяться при цьому за рахунок забезпеченого таким чином зниження величини середнього градієнта робочої напруги вздовж каналу грозового перекриття.

Головною відмінністю класу довго-іскрових розрядників є неможливість їх руйнувань і пошкоджень грозовими та дуговими струмами, оскільки вони протікають поза апаратами уздовж поверхні РДІ. Це унікальна для грозозахисних апаратів особливість поєднується з конструктивною простотою.

Розрядний проміжок РДІ в декілька разів довший, ніж будівельна висота ізоляції і має нижчу імпульсну електричну міцність, ніж міцність ізоляції. Це пояснюється особливостями “ковзного” розряду, який розвивається по поверхні ізоляційного проміжку. Напряга ковзного розряду слабо залежить від відстані між електродами, тому великі проміжки можуть бути перекриті порівняно низькими напругами. Цей ефект ковзного розряду покладено в основу конструкцій довго-іскрових розрядників.

Розрядник типу РДІ-П (петльовий) виконано (рис. 1) з металевого стрижня покритого шаром поліетиленової ізоляції і зігнутого в петлю, який за допомогою затискача кріпиться до заземленого електроду опори. У середній частині петлі надіта металева трубка, а між нею і проводом лінії встановлено іскровий проміжок. Внаслідок великої ємності між металевою трубкою і стрижнем, вся напруга виявляється прикладеною між проводом та трубкою. Під час пробую іскрового проміжку перенапруга прикладається між трубкою та металевим стрижнем, внаслідок чого з трубки вздовж поверхні ізоляції розвивається ковзний розряд до замикання його через вузол кріплення на заземлення. Завдяки великій довжині L каналу перекриття по поверхні петлі, середня напруженість електричного поля в каналі розряду для напруги промислової частоти становить приблизно 7 кВ/м. Зокрема, за товщини поліетиленової ізоляції 4 мм і довжини петлі 80 см за дії грозового імпульсу напруга пробую розрядника становить $U_{50\%} = 100$ кВ, а ізоляції – $U_{50\%} = 130$ кВ. Для струмів $I_{кз} < 300$ А силова дуга не виникає і лінія продовжує працювати без відімкнення. РДІ-П використовують для захисту ЛЕП 6, 10 кВ від індукованих грозових перенапруг, які найпоширеніші на таких лініях.

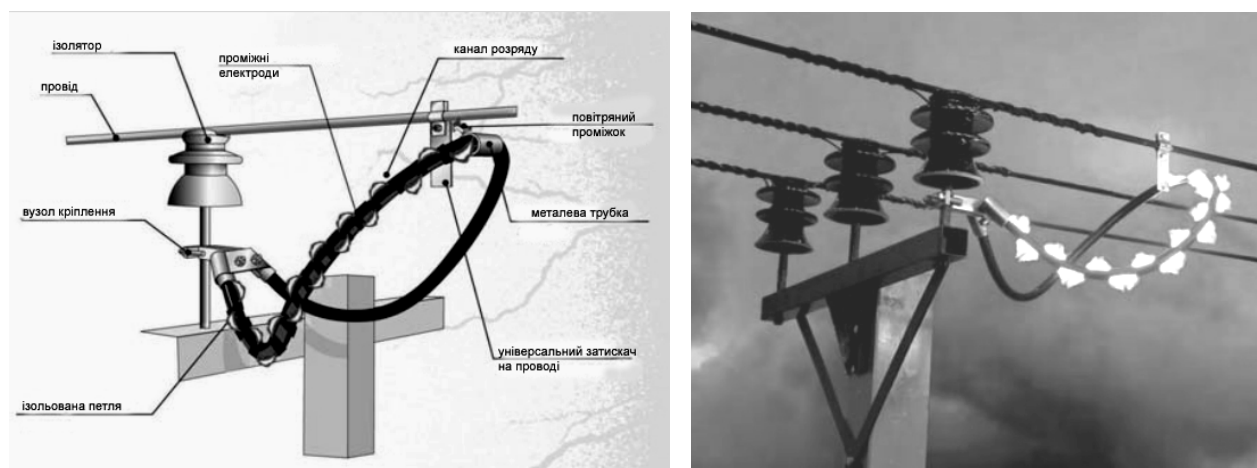


Рис. 1. Конструктивний ескіз (а); фотографія випробувань на макеті (б)

Різновидом такого розрядника є РДІ-М (модульний), який складається з двох відрізків кабелю з корделем, яким використано напівпровідниковий матеріал.

Відрізки кабелю з'єднані таким чином, що утворюють три розрядних модулі (рис.2). Відрізки напівпровідникового корделя приєднані до металевих електродів через внутрішні іскрові проміжки. За появи грозового імпульсу вони перекриваються і напівпровідниковий кордель верхнього відрізка кабелю, який має опір R , виносить високий потенціал U на поверхню нижнього відрізка кабелю в його середній частині. Аналогічно напівпровідниковий кордель нижнього відрізка кабелю виносить низький потенціал «0» на поверхню верхнього відрізка кабелю в його середній частині. Тому до кожного розрядного модуля одночасного прикладена повна напруга U , і для усіх трьох розрядних модулів створюються умови для одночасного розвитку ковзних розрядів, які утворюють єдиний довгий канал перекриття. Вольт-секундна характеристика РДІ-М розташована однозначно нижче ніж у РДІ-П, тому ефективність захисту розрядника модульного типу вища, ніж петлевого.

Розрядник типу РДІ-ПТ (ізоляційна трубка) виконано у вигляді ізоляційної трубки, що розташована на проводі лінії і утворює довгий проміжок для каналу ковзного розряду її поверхнею (рис. 3).

Встановлення таких розрядників на провадах ПЛЗ підсилює основну ізоляцію лінії та підвищує надійність її роботи.

РДІ-ІТ захищає ПЛЗ як від індукованих, так і від прямих ударів блискавки в провід. ІРДІ (ізолятор-розрядник, рис. 4) забезпечує довгий шлях проходження імпульсного перекриття спіральним каналом навколо тіла ізолятора зі спіральними ребрами завдяки наявності напрямного електрода, який створює високу напруженість електричного поля на початку каналу розряду, що сприяє розвитку ковзного розряду. Градієнт потенціалу в каналі перекриття дуже малий, що запобігає виникненню силової дуги.

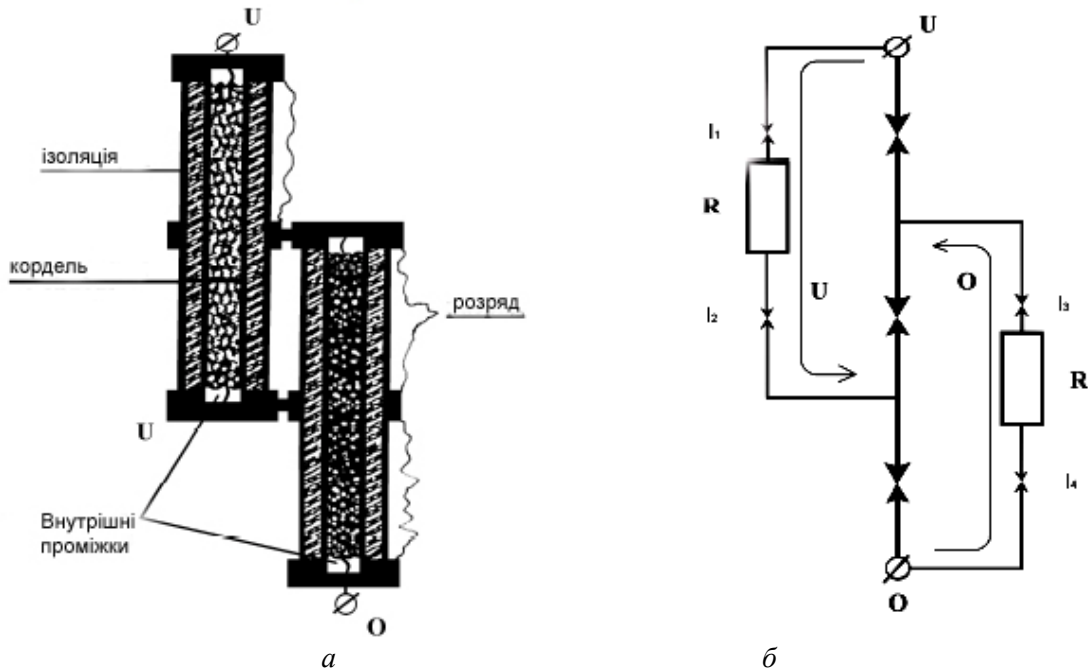


Рис. 2. Конструкція розрядника РДІ-М (а); схема заміщення (б)

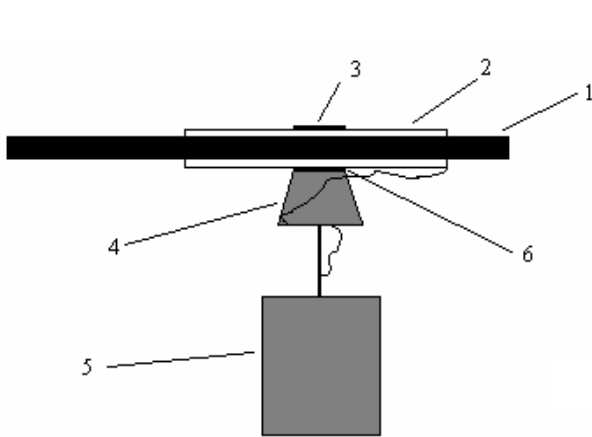


Рис. 3. Розрядник ІРДІ-ІТ:
1 – провід; 2 – ізоляція; 3 – металева трубка;
4 – ізолятор; 5 – заземлена опора; 6 – іскровий проміжок

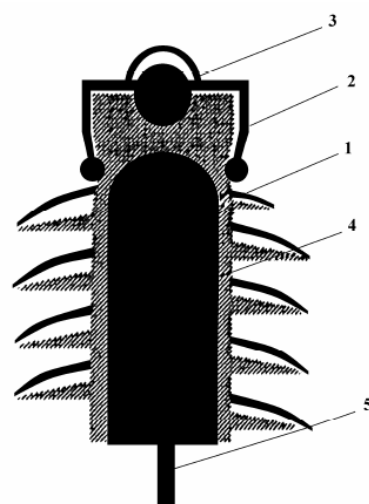


Рис. 4. Схема ізолятора-розрядника:
1 – внутрішній електрод; 2 – кріплення,
3 – провід; 4 – корпус; 5 – заземлений електрод

На сучасному етапі найбільшого застосування набули розрядники РДП-10-4-УХЛ1.

Висновки

1. Грозозахист розподільних ПЛЗ, як дієву міру підвищення надійності електропостачання та зниження експлуатаційних витрат, можна здійснити за допомогою застосування довго-іскрових розрядників.

2. ПЛЗ 6, 10 кВ необхідно обов'язково захищати від грозових перенапруг і від перепалення проводів якнайбільше недопустимого з їх наслідків.

3. Довго-іскровий розрядник петльового типу РДП-10-4-УХЛ1 є нормативно узаконений, як грозозахисний засіб для ПЛЗ.

4. Установка петльових розрядників по одному на кожну опору з послідовним чергуванням фаз дозволяє запобігти не тільки перепалення проводів за індукованого грозового впливу, а й аварійним вимкненням ПЛЗ.

5. РДП-10-4-УХЛ1 є ефективним, надійним і економічним грозозахисним устаткуванням, завдяки оригінальності реалізуючого принципу дії, конструктивної простоти й стійкості до пошкоджень грозовими і дуговими струмами.

1. *Kokkonen Markku. Development of Lightning Protection for Covered Conductor // ICCS. – 2000.*
2. *Правила устройства опытно-промышленных воздушных линий электропередачи напряжением 6–20 кВ с проводами SAX. – М.: ОАО «РОСЭП», 1996. – С. 34–40, 56–59.*
3. *Правила устройства воздушных линий электропередачи напряжением 6–20 кВ с защищенными проводами (ПУ ВЛЗ 6–20 кВ). – М.: ОАО «РОСЭП»; ОАО «ОРГРЭС», 1998. – С. 45–50.*
4. *«Методические указания по защите распределительных электрических сетей напряжением 0,4–10 кВ от грозовых перенапряжений». – М.: ОАО «РОСЭП», АО «ФСК ЕЭС», 2004. – С. 50–59.*
5. *Подпоркин Г.В., Сиваев А.Д. Новая грозозащита линий электропередачи с помощью длинно-искровых разрядников // Энергетик. – 1997. – № 3. – С. 34–37.*