

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

БЕРЕЗКА СЕРГІЙ КОСТЯНТИНОВИЧ



УДК 621.316.993:621.316.93

**ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ОПОРУ ЗАЗЕМЛЕННЯ
ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент
Мінченко Анатолій Андрійович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри передачі електричної енергії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Авраменко Володимир Миколайович,
Інститут електродинаміки НАН України,
провідний науковий співробітник
відділу моделювання електроенергетичних об'єктів
та систем

доктор технічних наук
Равлик Олександр Михайлович
Національний університет «Львівська політехніка»,
доцент кафедри електричних систем та мереж

Захист відбудеться «12» березня 2014 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 при Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21, ауд. 1, електрокорпус.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий « 8 » цього 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.Ю. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Діючими Правилами улаштування електроустановок нормуються найбільші допустимі значення опору заземлення опор повітряних ліній електропередавання (ПЛ) в залежності від питомого опору ґрунту вздовж траси повітряної лінії. Такий підхід спрощує проектування, але не відповідає на питання достатності прийнятого технічного рішення. Грозові відключення ПЛ складають 10-30 відсотків від загальної кількості відключень. Проте їхня кількість суттєво залежить від опору заземлення опор повітряних ліній. Визначення граничних значень опору заземлення опор ПЛ напругою 110 кВ і вище за критерієм забезпечення готовності устаткування енергосистеми, що відповідає нормованій періодичності ремонту вимикачів, дає можливість підвищити надійність електропостачання споживачів та ефективність експлуатації електричних мереж.

Найбільш вразливими за вище означеним критерієм є мережі, в яких експлуатуються комутаційні апарати з масляною або повітряною ізоляцією. Для таких систем доцільно удосконалити відповідні методи розрахунків та математичні моделі з урахуванням останніх наукових досліджень та можливостями комп'ютерної техніки. Існуючі методи та моделі не в повній мірі враховують форму імпульсу струму блискавки, вид короткого замикання у розрахунках при грозовому враженні ПЛ, кількість вимикачів на приєднання ПЛ. Наявність в експлуатації в енергопередаючих та енергогенеруючих компаніях великої кількості масляних та повітряних вимикачів, свідчить про велику практичну цінність такого дослідження. Таким чином, враховуючи вище означене, актуальною, своєчасною для науки та практики є задача визначення граничних значень опору заземлення опор ПЛ напругою 110 кВ і вище з використанням імітаційного моделювання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано на кафедрі передачі електричної енергії Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" у процесі виконання науково-дослідних робіт за госпдоговірними темами "Аналіз можливості виконання вимог електробезпеки для умов виконання робіт на відключеній ПЛ, котра знаходиться в зоні електромагнітного впливу близькотрасованих ПЛ" (Північна електроенергетична система НЕК "Укренерго", м. Харків) та "Удосконалювання розрахункової моделі грозостійкості повітряних ліній 110 кВ і вище з тросом" (№ ДР 0108U001458, ДПВНДІ "Укренергомережпроект", м. Харків), в яких здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є вдосконалення методів визначення граничних значень опору заземлюючих пристроїв (ЗП) опор ПЛ, що дозволить покращити достовірність цих методів, підвищити ефективність експлуатації електричних мереж та надійність електропостачання споживачів.

Для досягнення мети роботи поставлені наступні задачі:

– розробити модель форми хвилі імпульсу струму блискавки при заданому розподілі вірогідності параметрів цього імпульсу;

- підвищити достовірність методики визначення очікуваного числа грозів відключень ПЛ за допомогою використання розробленого методу моделювання хвилі імпульсу струму блискавки;

- розробити математичні моделі стаціонарних аварійних несиметричних режимів електричної мережі для визначення найбільших значень струмів однофазних КЗ, комутованих лінійним вимикачем при грозових відключеннях ПЛ;

- удосконалити модель використання комутаційного ресурсу лінійних вимикачів при грозових відключеннях ПЛ для визначення граничних значень опору ЗП опор ПЛ;

- розробити алгоритм визначення найбільшого очікуваного значення наведеної напруги на робочому заземленні на заземлюючий пристрій опори ПЛ через вплив ПЛ, що діють;

- урахувати вплив обмежень за критерієм наведеної напруги при визначенні граничних значень опору ЗП опор ПЛ;

- розробити математичні моделі та алгоритм для визначення граничних значень опору заземлюючих пристроїв опор повітряних ліній та рекомендації щодо застосування їх в проектній практиці.

Об'єкт дослідження – взаємозв'язок значення опору заземлюючих пристроїв опор повітряних ліній з ресурсом лінійного вимикача.

Предмет дослідження – методи і засоби визначення граничних значень опору ЗП опор ПЛ, що реалізують критерій забезпечення готовності устаткування енергосистеми, якому відповідає нормована періодичність ремонту лінійних вимикачів.

Методи дослідження. Вирішення поставлених в дисертаційній роботі завдань досягнуте на основі фундаментальних положень теорії електромагнітних кіл і методів: статистичних випробувань, чисельного рішення систем звичайних диференціальних рівнянь, теорії ймовірностей при вдосконаленні методу розрахунку очікуваного числа грозів відключень ПЛ; симетричних складових та комплексних величин при отриманні виразів для визначення розрахункових значень струмів однофазного КЗ, комутованих лінійним вимикачем при грозових відключеннях ПЛ; теорії вірогідності та статистичних випробувань при побудові імітаційної моделі використання комутаційного ресурсу лінійних вимикачів через грозові відключення ПЛ; комплексних величин та чисельного рішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь при розробці алгоритму і програми розрахунку наведеної напруги на робочому заземленні проводів ПЛ.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вдосконалено метод визначення граничних значень опору заземлення опор ПЛ напругою 110 кВ і вище, заснований на реалізації критерію забезпечення готовності устаткування енергосистеми, якому відповідає нормована періодичність ремонту лінійних вимикачів, що відрізняється відтворенням використання комутаційного ресурсу лінійного вимикача через грозові відключення повітряної лінії з використанням імітаційної моделі та дає можливість підвищити ефективність експлуатації електричних мереж, мінімізувати експлуатаційні витрати;

– вперше у розрахунках грозостійкості ПЛ застосована модель форми хвилі імпульсу струму блискавки з використанням розрахункового виразу випробувального імпульсу третього порядку, що дає змогу відтворити нульову похідну в початковий момент часу, тобто наблизити математичну модель струму блискавки ближче до результатів спостережень за струмами блискавки;

– вдосконалено методику визначення очікуваного числа грозових відключень ПЛ напругою 110 кВ і вище, яка відрізняється відтворенням процесу розряду блискавки в лінію, при якому амплітуда і максимальна крутизна хвилі струму блискавки є незалежними випадковими величинами і досягаються в різні моменти часу, причому має місце нульова похідна струму блискавки в початковий момент часу, а моделювання імпульсного перекриття гірлянди ізоляторів лінії проводиться шляхом багатократних випробувань стохастичної моделі цього перекриття, що наближає модель до фізики процесів при грозовому враженні ПЛ;

– для поширених розрахункових схем мереж напругою 110 кВ і вище отримано рішення задачі розрахунку струму однофазного КЗ, комутованого вимикачем приєднання ПЛ, за віддаленням місця замикання від шин джерела живлення і з урахуванням впливу значення опору (у тому числі системи «трос-опори»), включеного в місці замикання, засноване на математичному моделюванні стаціонарних аварійних несиметричних режимів електричної мережі, що дає можливість удосконалення методу визначення граничних значень опору заземлення опор ПЛ напругою 110 кВ і вище.

Практична цінність одержаних результатів роботи для електроенергетичної галузі полягає у створенні програмного забезпечення для визначення граничних значень опору ЗП опор ПЛ електропередачі напругою 110 кВ і вище. Розроблена імітаційна модель використання комутаційного ресурсу лінійного вимикача при грозових відключеннях ПЛ, рекомендації, щодо визначення опору заземлення, можуть бути використані при проектуванні, реконструкції та модернізації ПЛ 110 кВ та вище.

Математичні моделі та алгоритм впроваджені в Державному проектно-вишукувальному і науково-дослідному інституті «Укренергомережпроект» для ухвалення проектних рішень по виконанню ЗП опор ПЛ, що проектується.

Розроблені алгоритм і програма для розрахунку наведеної напруги на робочому заземленні проводів ПЛ використані для визначення рекомендацій з ремонтно-експлуатаційного обслуговування ПЛ при роботах, які виконуються під наведеною напругою в Харківських магістральних електричних мережах Північної електроенергетичної системи НЕК «Укренерго». Технічні рішення, отримані при розробці вказаного вище алгоритму, захищені патентами України.

Урахування обмежень щодо наведеної напруги при ремонтно-експлуатаційному обслуговуванні ПЛ в методі розрахунку граничних значень ЗП опор ПЛ розширює межі застосування та ефективність цього метода при експлуатації та проектуванні ПЛ.

Результати дисертаційної роботи використані в навчальному процесі на кафедрі передачі електричної енергії НТУ "ХПІ" для підготовки студентів зі спеціальності 05070102 – «Електричні системи і мережі».

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати дисертації, що виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. А саме: аналіз основних функцій заземлення ПЛ та методик розрахунку грозостійкості; пропозиція переходу до нормування опору ЗП ПЛ за показниками надійності електропостачання споживачів; розробка імітаційної моделі використання комутаційного ресурсу лінійних вимикачів через грозові відключення ПЛ 110 кВ і вище; вибір форми хвилі імпульсу струму блискавки близькою до форми реальних імпульсів, алгоритм вирішення задачі апроксимації запропонованої моделі форми хвилі імпульсу; використання у розрахунку грозостійкості ПЛ методу статистичних випробувань та вибір кількісних показників цього методу; рішення задачі визначення розрахункових значень струмів однофазного КЗ, комутованого вимикачем приєднання для одноланцюгової і двохланцюгової ПЛ, з урахуванням значення опору, включеного в місці КЗ, та його віддалення від джерела живлення; визначення числа спрацьовувань вимикачей приєднання ПЛ при КЗ і двократному АПВ; розробка алгоритму і програми розрахунку найбільшого очікуваного значення наведеної напруги на відключеній ПЛ через вплив ПЛ, що діють; порівняльний аналіз розрахункових та експериментальних даних, узагальнення результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи докладалися і обговорювалися на: Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 1996, 2011, 2012 рр.); п'ятій Українській науково-технічній конференції «Пристрої перетворення інформації для контролю і управління в енергетиці» (м. Харків, 1996 р.); 15 Російській конференції «Нерушючий контроль і діагностика», (м. Москва, 1999 р.); V Міжнародній науково-технічній конференції «Керування режимами роботи об'єктів електричних та електромеханічних систем», (м. Святогірськ, 2011 р.).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи відбитий в 19 наукових публікаціях, з яких 12 статей у фахових наукових виданнях України, 2 патенти України; 5 праць у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 191 сторінку; серед них 28 рисунків та 5 таблиць по тексту, 8 рисунків та 6 таблиць на 11 окремих сторінках, список використаних джерел зі 77 найменувань на 9 сторінках, 4 додатки на 26 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і основні задачі роботи, визначено об'єкт та предмет дослідження, вказано методи дослідження, зв'язок з науковими програмами та темами, викладені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, наведені відомості щодо апробації роботи, особистого внеску здобувача та публікацій основних результатів дисертації.

У **першому розділі** проаналізовано функціональне призначення ЗП опор ПЛ 110 кВ та вище з тросом. Визначена базова функція ЗП – відведення в ґрунт імпульсних струмів, що виникають в результаті прямого удару блискавки (ПУБ) в опору або грозозахисні троси. Відзначено, що надійність електропостачання споживачів залежить в тому числі від грозозахисту ПЛ. Відмічено, що діючими нормами Правил улаштування електроустановок для ПЛ з тросом нормуються найбільші значення опору ЗП в залежності від питомого еквівалентний опору землі. Наголошено, що такий підхід не в повній мірі враховує вплив значень опору ЗП ПЛ на ефективність грозозахисту ПЛ, тобто на надійність електропостачання споживачів та на ефективність експлуатації мереж.

Показано, що методики розрахунку очікуваного числа грозових відключень розроблені в працях С.С. Рокотяна, Д.В. Разевіга, М.В. Костенко, М.М. Тіходєєва та інших. Вказані методики є достатньо повно розробленими для застосування в інженерній практиці. Проаналізовані моделі форми струму блискавки, визначені їх недоліки. Відмічено, що наведені в керівних документах розрахункові дані щодо очікуваного числа грозових відключень ПЛ суттєво залежать від значення опору заземлення та конструкції опор та потребують додаткових досліджень.

Другий розділ присвячений вибору напряму удосконалення методу розрахунку граничних значень опору заземлення ПЛ.

Наголошено, що нормування заземлення на ПЛ з точки зору грозозахисної функції, а саме, вибір найбільшого значення опору розтіканню ЗП опор ПЛ, слід проводити у взаємозв'язку з надійністю електропостачання споживачів. Такий підхід відрізняється від існуючих норм визначення опору ЗП на ПЛ згідно питомого опору ґрунту вздовж траси ПЛ.

Як альтернатива діючим нормам для визначення допустимого числа грозових відключень і визначення засобів грозозахисту ПЛ 110–330 кВ запропоновано використовувати критерій забезпечення готовності устаткування енергосистеми, тобто дотримання нормованої періодичності ремонту лінійних вимикачів. Такий критерій використовується в "Керівництві по захисту електричних мереж 6-1150 кВ від грозових і внутрішніх перенапруг, РД 153-34.3-35.125-99, РАО ЄЕС Росії".

Значення середнього періоду планового ремонту лінійних вимикачів, як нормованого параметра, є складовою частиною при розв'язанні задачі вибору найбільшого значення опору ЗП опор ПЛ. Величина цього опору встановлюється на підставі розрахунку грозозахисту ПЛ.

Граничне значення опору ЗП опор ПЛ визначається за умови збігу результатів розрахунку допустимого числа грозових відключень ПЛ та розрахунку очікуваного числа грозових відключень ПЛ. Абсолютне допустиме число грозових відключень є функцією витрачання комутаційного ресурсу вимикача при відключеннях струмів КЗ, а очікуване число грозових відключень є характеристикою грозостійкості ПЛ.

Проаналізовані переваги та недоліки існуючого методу розрахунку граничного значення опору ЗП опор ПЛ. Визначена необхідність вдосконалення цього підходу за рахунок розробки моделі форми імпульсу струму блискавки,

оскільки існуюча косокутна не співпадає з формою реальних імпульсів (аналіз літератури з моделями струму блискавки показав, що на осцилограмах зафіксовано нульову похідну цього струму на початку імпульсу); найчастіше при враженні блискавкою ПЛ трапляється однофазне КЗ; кількість вимикачів до яких приєднано ПЛ впливає на використання ресурсу вимикача (у разі двох вимикачів один з вимикачів, відключаючись першим, комутує половину сумарного струму КЗ, а інший з вимикачів, відключаючись другим, комутує сумарний струм КЗ); не враховані граничні вимоги, наприклад, з точки зору електробезпеки.

Запропоновано використовувати імітаційне моделювання при удосконаленні розрахунків грозостійкості та витрачання комутаційного ресурсу вимикача.

Для розрахунків струмів КЗ обґрунтовано використання періодичної складової струму однофазного КЗ, що комутує вимикач.

Досліджено можливість використання в розрахунках грозостійкості форми струму блискавки відмінної від косокутної.

У **третьому розділі** удосконалено розрахункову модель струму блискавки та методику розрахунку очікуваного числа грозових відключень ПЛ 110 кВ та вище з тросом.

З урахуванням вимоги про нульову похідну в початковий момент часу як модель хвилі цього струму запропоновано використовувати розрахунковий вираз випробувального імпульсу третього порядку (рис.1)

$$i_6(t) = I_0 \left[e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}} - \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \frac{t}{T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \right], \quad (1)$$

де I_0 – постійна, що визначається амплітудою струму; T_1 , T_2 – постійні, що визначаються зростанням і спадом хвилі струму.

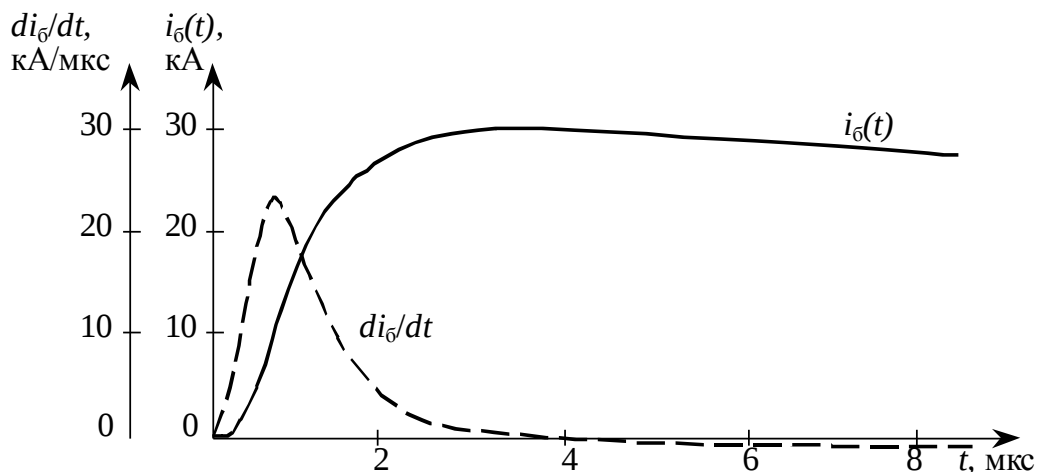


Рис. 1 – Запропонована форма струму блискавки та його крутизни, яка забезпечує нульове значення крутизни в початковий момент часу

Невідомі I_0 , T_1 , T_2 знаходяться із аналізу екстремумів функції (1).

У момент часу $t=\tau_\phi$ струм блискавки приймає своє максимальне значення

$$i_\phi(t) \Big|_{t=\tau_\phi} = I_0 \left[e^{-\frac{\tau_\phi}{T_1}} - e^{-\frac{\tau_\phi}{T_2}} - \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \frac{\tau_\phi}{T_2} e^{-\frac{\tau_\phi}{T_2}} \right] = I_\phi, \quad (2)$$

а його похідна рівна нулю

$$\frac{di_\phi(t)}{dt} \Big|_{t=\tau_\phi} = I_0 \left[\frac{1}{T_1} \left(e^{-\frac{\tau_\phi}{T_2}} - e^{-\frac{\tau_\phi}{T_1}} \right) + \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \frac{\tau_\phi}{T_2^2} e^{-\frac{\tau_\phi}{T_2}} \right] = 0. \quad (3)$$

Крім того, в деякий момент часу $t = t_{A_\phi}$ в діапазоні значень $t = \overline{0, \tau_\phi}$ крутизна струму блискавки приймає своє максимальне значення

$$A_\phi(t) \Big|_{\substack{t=t_{A_\phi} \\ 0 < t < \tau_\phi}} = I_0 \left[\frac{1}{T_1} \left(e^{-\frac{t_{A_\phi}}{T_2}} - e^{-\frac{t_{A_\phi}}{T_1}} \right) + \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \frac{t_{A_\phi}}{T_2^2} e^{-\frac{t_{A_\phi}}{T_2}} \right] = A_{\phi \max}, \quad (4)$$

а її похідна при цьому буде дорівнювати нулю

$$\frac{dA_\phi(t)}{dt} \Big|_{\substack{t=t_{A_\phi} \\ 0 < t < \tau_\phi}} = I_0 \left[\frac{1}{T_1} \left(\frac{1}{T_1} e^{-\frac{t_{A_\phi}}{T_1}} - \frac{1}{T_2} e^{-\frac{t_{A_\phi}}{T_2}} \right) + \left(\frac{1}{T_2} - \frac{t_{A_\phi}}{T_2^2} \right) \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) e^{-\frac{t_{A_\phi}}{T_2}} \right] = 0. \quad (5)$$

Запропоновано систему трансцендентних рівнянь (2-5) розв'язувати за допомогою методу Монте-Карло. В результаті накопичується база даних рішень I_0, T_1, T_2, τ_ϕ і t_{A_ϕ} для вихідних даних $I_\phi, A_{\phi \max}$.

Для визначення ймовірності перекриття лінійної ізоляції на опорі ПЛ при ПУБ використано метод статистичних випробувань стохастичної моделі імпульсного перекриття гірлянди лінійної ізоляції. При цьому використовується отримана вище база даних значень величин для моделювання форми імпульсу струму блискавки (1).

Математичне моделювання запропонованої форми струму блискавки показало, що для будь-якої пари значень амплітуди I_ϕ та максимальної крутизни струму блискавки $A_{\phi \max}$ можливість існування декількох комбінацій коефіцієнтів $I_0, T_1, T_2, \tau_\phi, t_{A_\phi}$ (тобто декількох форм, а також відсутність кореляції між I_ϕ та $A_{\phi \max}$).

Щільність вірогідності розподілу амплітуди струму блискавки апроксимується ступінчастою функцією з заданим кроком дискретизації. На кожному кроці дискретизації величин I_ϕ та $A_{\phi \max}$ визначається певне число значень I_ϕ (аналогічно і $A_{\phi \max}$), що забезпечує тим самим задану щільність вірогідності розподілу струмів блискавки.

Моделювання процесу перекриття лінійної ізоляції проводиться за наступною схемою. На ПЕОМ генеруються пари значень I_ϕ та $A_{\phi \max}$. З бази даних вибираються відповідні цій парі значення I_0, T_1, T_2 , що дозволяють відтворити

модель хвилі струму блискавки та щільність вірогідності розподілу I_6 та $A_{6\max}$. Момент перекриття лінійної ізоляції при ударах блискавки в опору і в трос в середині прольоту встановлюється по виконанню відомої умови, коли сума імпульсної $U_{\text{ІМП}}(t)$ і робочої напруги проводу $u_p(\varphi)$ залежно від фази робочої напруги досягає розрядної напруги лінійної ізоляції $U_{\text{розр}}^+(t)$.

При значному числі статистичних випробувань, за законом великих чисел кількісна оцінка вірогідності перекриття набуває статистичної стійкості.

Вказані вище рішення ґрунтуються на можливостях сучасних обчислювальних машин, оскільки вимагають великої кількості апріорної інформації. Визначено, що число статистичних випробувань при моделюванні грозозахисту ПЛ напругою 110 кВ і вище повинно бути не менше 10^5 .

Для розрахункового випадку ПУБ в трос в середині прольоту отримано вираз форми струму блискавки (1) з урахуванням деформації її фронту Δt_f

$$i_6(t) = I_0 \left[e^{-\frac{k_t t}{T_1}} - e^{-\frac{k_t t}{T_2}} - \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \frac{k_t t}{T_2} e^{-\frac{k_t t}{T_2}} \right], \quad (8)$$

де $k_t = \tau_\phi / (\tau_\phi + \Delta t_f)$,

Удосконалення методики розрахунку очікуваного числа грозових відключень ПЛ 110 кВ і вищої напруги з тросом полягає у використанні запропонованої форми струму блискавки, визначення ймовірності перекриття лінійної ізоляції на опорі ПЛ методом статистичних випробувань, використанні для двох розрахункових випадків ПУБ в опорі(або трос поблизу опори) та трос в середині прольоту.

У **четвертому розділі** за допомогою методу симетричних складових отримані вирази для визначення розрахункових значень струмів однофазного КЗ, комутованих вимикачем приєднання ПЛ, за віддаленням місця замикання від шин джерела живлення і з урахуванням значення опору, ввімкненого в місці КЗ. Значення цього опору визначається рядом чинників: способом заземлення грозозахисного троса, значеннями опору дуги в місці КЗ і опору розтіканню ЗП опор ПЛ. Наголошено, що використання ресурсу вимикача приєднання при грозових відключеннях відбувається внаслідок комутації струмів однофазних КЗ, значення яких змінюються залежно від місця ПУБ на ПЛ. Отримані вирази відповідають розрахунковим умовам найбільш поширених схем підключення ПЛ (рис 2).

Для одноланцюгової ПЛ (рис. 2а) початкове значення періодичної складової струму однофазного КЗ, що комутує вимикач приєднання ПЛ при КЗ на i -й опорі складе

$$I_{K,Q1,i}^{(1)} = \frac{U_{\text{сер,ном}} / \sqrt{3}}{2Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma} + 3R_d + 3Z_{\text{ВХ,ТР-ОП},i}} \times \left(2 \frac{Z_{1C2} + Z_{1W2}}{Z_{1C1} + Z_{1C2} + Z_{1W}} + \frac{Z_{0C2} + Z_{0W2}^{(r)}}{Z_{0C1} + Z_{0C2} + Z_{0W}^{(r)}} \right), \quad (9)$$

де $U_{\text{сер,ном}}$ – середня номінальна напруга; $Z_{1\Sigma}$ та $Z_{0\Sigma}$ – результуючі опори щодо місця КЗ; R_d – опір дуги у місці КЗ; $Z_{\text{ВХ,ТР-ОП},i}$ – паралельно сполучені: опір ЗП i -ї опори і вхідні опори систем "трос-опори" від $(i-1)$ -ої опори до 1-ої опори і від $(i+1)$ -ої опори до останньої опори; Z_{1C1} , Z_{1C2} , Z_{0C1} , Z_{0C2} , – опори прямої та нульової послідовності, що характеризують мережу C1, C2; Z_{1W} , Z_{1W2} , $Z_{0W}^{(r)}$, $Z_{0W2}^{(r)}$ –

опори прямої та нульової послідовності, що характеризують лінію та частину лінії від місця КЗ до системи шин С2.

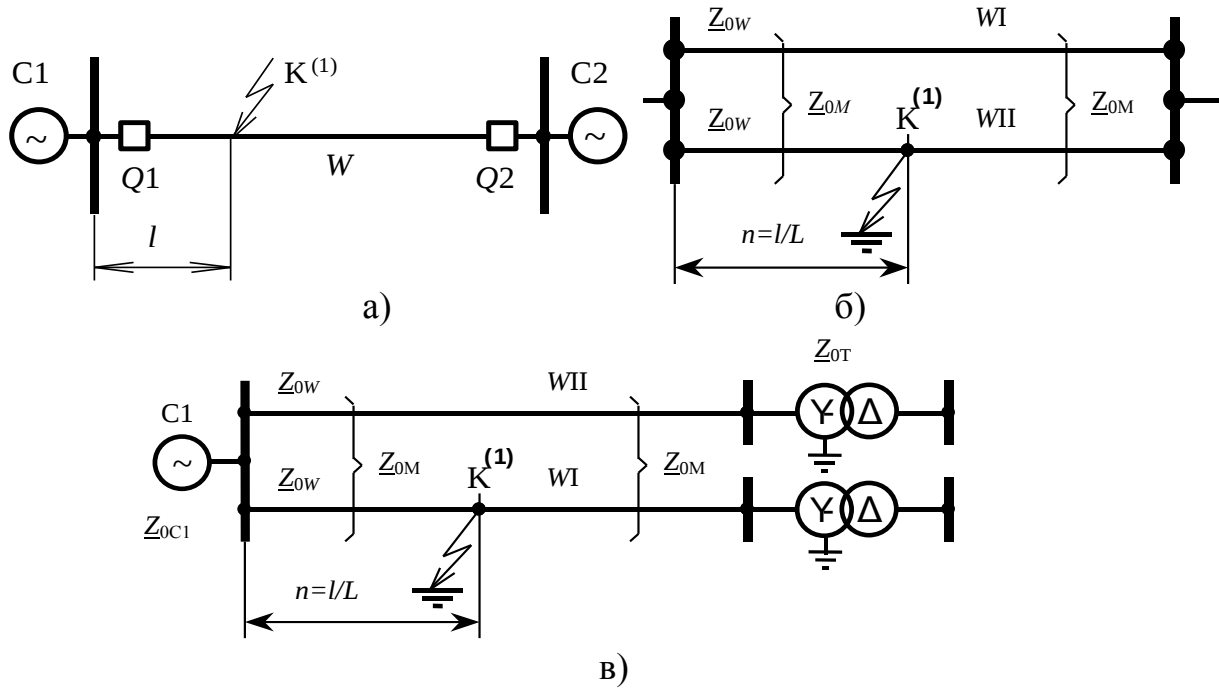


Рис. 2 – Розрахункові схеми мереж

Для двохланцюгової ПЛ, магнітно-зв'язані ланцюги якої сполучені електрично по кінцях (рис. 2б), початкове значення періодичної складової струму однофазного КЗ, що комутує вимикач приєднання ПЛ при КЗ на i -й опорі має вигляд

$$I_{K,Q1,i}^{(1)} = \frac{U_{\text{ср,ном}} / \sqrt{3}}{2Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma} + 3R_{\text{д}} + 3Z_{\text{ВХ,ТР,ОП}i}} \times \left\{ \left[(1-n) + \frac{Z_{1C2} + \frac{1-n}{2} Z_{1W}}{Z_{1C1} + Z_{1C2} + \frac{Z_{1W}}{2}} \right] + \frac{(1-n)(Z_{0C1} + Z_{0W} + Z_{0M}) + (2-n)Z_{0C2}}{2Z_{0C1} + 2Z_{0C2} + Z_{0W} + Z_{0M}} \right\}, \quad (10)$$

де $n = l/L$ – відносна довжина ділянки ПЛ (загальною довжиною L) від її лівого кінця до точки КЗ; Z_{0M} – опір взаємодукції між двома ланками ПЛ.

Для двохланцюгової ПЛ, де магнітно-зв'язані ланцюги лінії з'єднані на одному кінці (рис 2в), початкове значення періодичної складової струму однофазного КЗ, що комутує вимикач приєднання ПЛ при КЗ на i -й опорі описується залежністю

$$I_{K,Q1,i}^{(1)} = \frac{U_{\text{ср,ном}} / \sqrt{3}}{2Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma} + 3R_{\text{д}} + 3Z_{\text{ВХ,ТР,ОП}i}} \times \left[2 + \frac{(1-n)(Z_{0W} - Z_{0M}) + Z_{0T}}{2(Z_{0W} - Z_{0M} + Z_{0T})} + \frac{(1-n)(Z_{0W} + Z_{0M}) + Z_{0T}}{2(2Z_{0C1} + Z_{0W} + Z_{0M} + Z_{0T})} \right], \quad (11)$$

де Z_{0T} – опір нульової послідовності трансформатора розподільної мережі.

Достовірність розроблених моделей (9-11) перевірена співставленням струмів однофазного КЗ в мережах АК "Харківобленерго", отриманих за допомогою стаціонарного реєстратора аварійних процесів і розрахункових значень. Розбіжність результатів не перевищувала 10%. На основі порівняльного аналізу запропоновано розрахункове значення опору дуги у місці КЗ R_d приймати рівним 0,5 Ом для ПЛ 110 кВ і збільшувати це значення для ПЛ вищої напруги пропорційно збільшенню довжини гірлянди ізоляторів.

Обґрунтовано необхідність урахування опору, що включений в місці КЗ на ПЛ при визначенні струму однофазного КЗ для оцінки використання комутаційного ресурсу вимикача внаслідок грозових відключень.

У **п'ятому розділі** наведено удосконалений метод вибору граничних значень опору заземлення ПЛ 110 кВ та вище з тросом за критерієм повного вичерпання комутаційного ресурсу лінійного вимикача в міжремонтний період.

Запропоновано досягнення цього критерію встановлювати по тому з полюсів вимикача до якого підключений провід ПЛ, який отримав найбільше число очікуваних грозових відключень.

Побудована імітаційна модель використання комутаційного ресурсу лінійних вимикачів через грозові відключення ПЛ напругою 110 кВ і вище з урахуванням реальних конструкцій ПЛ і схем їх приєднання в ВРП. Визначені положення, на яких будується імітаційна модель використання комутаційного ресурсу лінійних вимикачів через грозові відключення ПЛ. Отримано вираз для струму КЗ у разі двох вимикачів на приєднання ПЛ в схемі ВРП.

Для граничного значення питомого числа грозових відключень з розрахунку на полюс лінійного вимикача за наявності однократного АПВ

$$n_{Г, ГРАН, ПОЛЮС} = \frac{\beta_{Г} N_0 I_0^{\gamma} \cdot 10^4}{N_{Г, Ч} \sum_{i=1}^n (\chi I_{K, Q1, i}^{(1)})^{\gamma} l_{ПРОЛ} T_{П, Р} (2 - k_{АПВ})} \quad (12)$$

та двократного АПВ

$$n_{Г, ГРАН, ПОЛЮС} = \frac{\beta_{Г} N_0 I_0^{\gamma} \cdot 10^4}{N_{Г, Ч} \sum_{i=1}^n (\chi I_{K, Q1, i}^{(1)})^{\gamma} l_{ПРОЛ} T_{П, Р} (\sqrt{1 - k_{АПВ}} + 2 - k_{АПВ})}, \quad (13)$$

де $\beta_{Г}$ – відносна кількість грозових відключень в загальній кількості відключень, N_0 – допустиме без ремонту число комутацій нормованого струму КЗ I_0 , $N_{Г, Г}$ – кількість грозових годин на рік, n – кількість опор на ПЛ, χ – віносна тривалість грозового сезону, $I_{K, Q1, i}^{(1)}$ – струм, що комутує вимикач у разі однофазного КЗ на i -й опорі, $\gamma = 1,4; 1,5$ – відповідно для повітряних або масляних вимикачів, $l_{ПРОЛ}$ – довжина прольоту, $T_{П, Р}$ – середній період планового ремонту вимикача: 6 років для повітряного, 8 для масляного, $k_{АПВ}$ – коефіцієнт успішності АПВ.

Запропоновано використовувати розроблену імітаційну модель для встановлення граничних значень опору заземлення опор ПЛ, при якому повне використання комутаційного ресурсу лінійних вимикачів через грозові відключення

чення ПЛ відбувається за час дорівнюючий середньому періоду планового ремонту вимикачів.

При чисельних розрахунках (рис. 3) за удосконаленим методом вибору граничних значень опору заземлення ПЛ 110 кВ та вище з тросом отримані граничні значення опору ЗП $R_{ЗП,ОП}$ в електричних мережах м. Харкова для ПЛ 110 кВ "Барабашова – Поршень – ХЕЛЗ – Серп і Молот" $R_{ЗП,ОП} > 30$ Ом, Донецької обл. для ПЛ 110 кВ "Травнева – Дружковка" $R_{ЗП,ОП} = 8$ Ом.

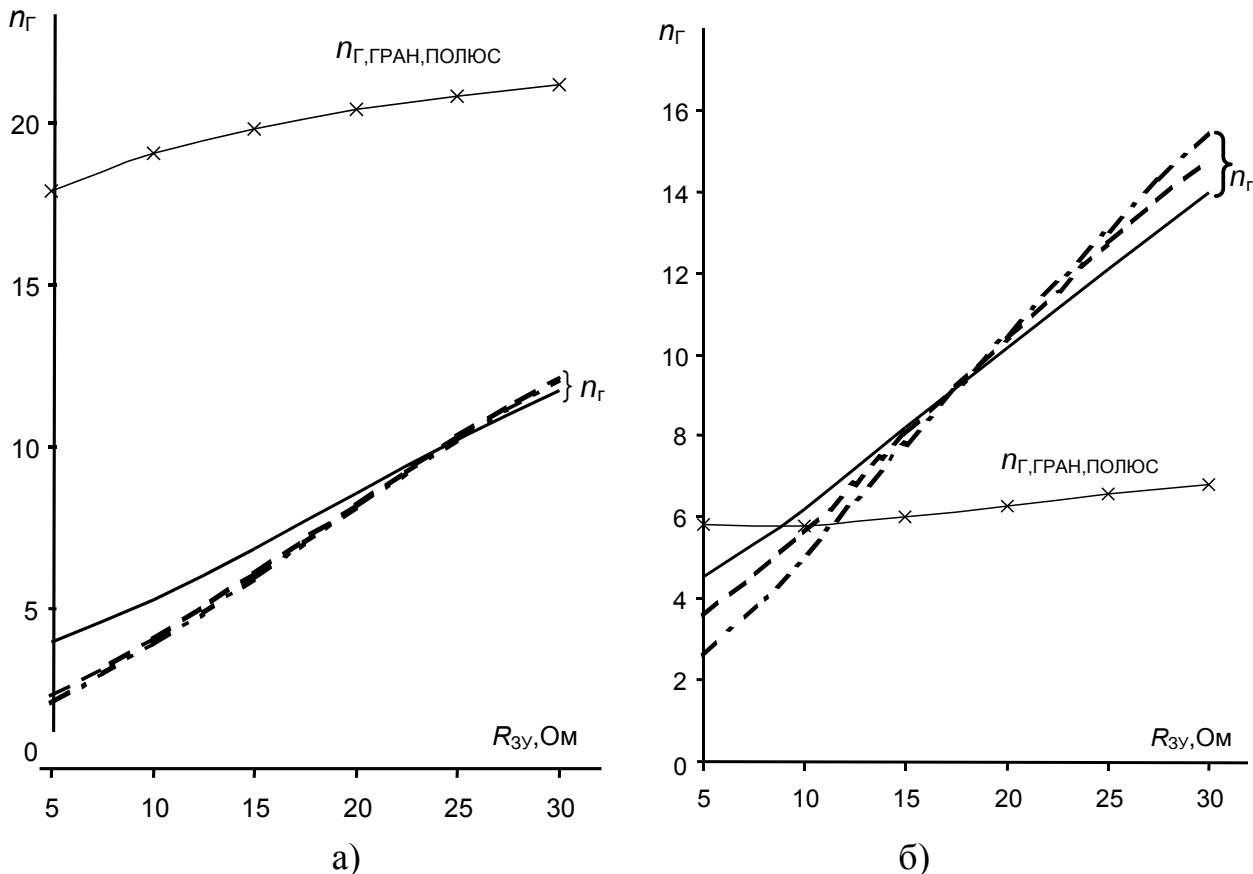


Рис. 3 – Визначення граничного значення опору заземлення $R_{ЗП,ОП}$ на ПЛ 110 кВ для ПЛ 110 кВ "Барабашова – Поршень – ХЕЛЗ – Серп і Молот" (а) та "Травнева – Дружковка" (б)
 — провод 1, - - провод 2, - · - · провод 3

Наголошено, що умови виконання ремонтних робіт на відключених ПЛ залежать від рівня наведеної напруги. Визначено, що опір заземлення на робочому місці впливає на рівень наведеної напруги. Доречно на стадії визначення граничного значення опору ЗП опор ПЛ, тобто на стадії проектування, закладати такі технічні рішення, які істотно знижували б значення наведеної напруги як в нормальному, так і в аварійному режимах впливаючих ПЛ.

Запропоновано варіант урахування умов ремонтно-експлуатаційного обслуговування ПЛ при роботах, які виконуються під наведеною напругою при визначенні граничного значення опору ЗП опор ПЛ.

Для цього удосконалено алгоритм розрахунку наведеної напруги на робочому заземленні проводів ПЛ, який реалізовано у вигляді спеціального програмного забезпечення. Траса ПЛ ділиться на ділянки з постійними електричними

та геометричними параметрами. Початкова інформація для відключеної ПЛ включає наступне: довжини ділянок, типи опор, транспозиції, режим заземлення грозозахисного троса, розміщення місць робіт уздовж лінії і по фазах ПЛ, розрахункові значення опору робочого заземлення місць робіт. Початкова інформація по впливаючим активним лініям включає: типи опор, відстані (по осях) відключеної ПЛ, розрахункові струми (комплексні величини) нормально-го і аварійного режимів. Алгоритм враховує наявність і вплив режиму заземлення грозозахисного тросу (на кожній опорі, на довжині захисного підходу, на анкерному прольоті). Опір системи "трос-опори" визначається як ланцюгове з'єднання чотирьох полюсників. Це дало змогу скоротити в декілька разів розмірність системи рівнянь порівняно з варіантом, коли вузлами системи будуть всі опори, де заземлено грозозахисний трос. В результаті отримана багатоконтурна схема з урахуванням взаємної індукції між гілками. У розробленому алгоритмі для аналізу багатоконтурної схеми використаний метод вузлових рівнянь.

Максимальна розбіжність результатів натурних вимірювань з розрахунками наведеної напруги на відключеній ПЛ-330 кВ «Залютіно – Артема» в несиметричному режимі впливаючої ПЛ-330 кВ «Залютіно – Суми» склала 19%.

Як було відмічено раніше означена програма використовується при визначенні граничного значення опору ЗП опор ПЛ з урахуванням умов ремонтно-експлуатаційного обслуговування ПЛ при роботах, які виконуються під наведеною напругою на стадії проектування. Запропоновано на частини довжини ПЛ ЗП опор виконувати відповідно до вимоги зниження значення наведеної напруги. За допомогою програмного забезпечення визначається те значення опору заземлення опор $R_{ЗП,ОП,НН}$ ділянки ПЛ довжиною $L_{1НН}$, при якому вказана напруга не перевищує 42В. Необхідний опір заземлення опор $R_{ЗП,ОП,НЕОБХ}$ решти частини довжини ПЛ L_2 визначається за умови незмінності абсолютного значення допустимого числа грозових відключень ПЛ з розрахунку на полюс лінійного вимикача $N_{ДОП,Г,ПОЛЮС}$ при одному і тому ж значенні опору ЗП по всій довжині ПЛ чи з різними значеннями опору ЗП вздовж траси ПЛ.

Для цього графік питомого числа грозових відключень апроксимується лінійною залежністю

$$n_{Г} = aR_{ЗП,ОП} + b. \quad (14)$$

Абсолютне значення допустимого числа грозових відключень ПЛ з розрахунку на полюс лінійного вимикача складе при постійному значенні опору ЗП $R_{ЗП,ОП} = \text{const}$ по всій довжині ПЛ визначається як

$$N_{ДОП,Г,ПОЛЮС} = n_{Г,ГРАН,ПОЛЮС} \frac{N_{Г,Г}L}{10^4}, \quad (15)$$

а при значеннях $R_{ЗП,ОП,НН}$ довжиною $L_{1НН}$ та $R_{ЗП,ОП,НЕОБХ}$ довжиною L_2 з урахуванням апроксимації (14)

$$N_{ДОП,Г,ПОЛЮС} = \frac{N_{Г,Г}L}{10^4} [(aR_{ЗП,ОП,НН} + b)L_{1НН} + (aR_{ЗП,ОП,НЕОБХ} + b)L_{2ОСТ}], \quad (16)$$

де $n_{Г,ГРАН,ПОЛЮС}$ – граничне значення питомого числа грозових відключень з розрахунку на полюс лінійного вимикача, $N_{Г,Г}$ – кількість грозових годин на рік, L – довжина ПЛ, $L = L_{1НН} + L_2$.

При розв'язанні системи (15-16) отримано вираз для розрахунку необхідного граничного значення опору ЗП опор ПЛ ділянки L_2 ПЛ, де вплив наведеної напруги не враховується

$$R_{\text{ЗП,ОП,НЕОБХ}} = \frac{(n_{\text{Г,ГРАН,ПОЛЮС}} - b)L - aR_{\text{ЗП,ОП,НН}}L_{\text{НН}}}{aL_2}. \quad (17)$$

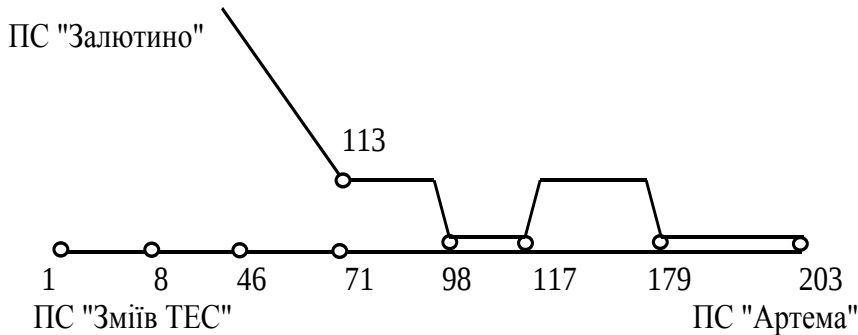


Рис.4 - План спільного проходження ПЛ 330 кВ "Зміїв ТЕС - Артема" та ПЛ 330 кВ "Залютіно - Артема"

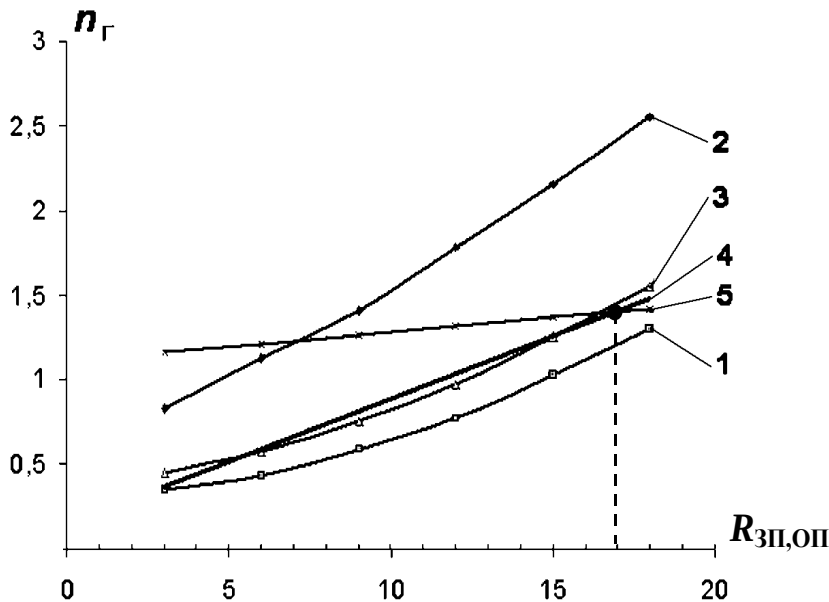


Рис.5 – Результати розрахунків для визначення граничного значення опору заземлення

Очікуване питоме число грозових відключень ПЛ на одноланцюгових (1), двохланцюгових (2) опорах та його середньозважене значення (3); вирівнювання прямою (4) очікуваного питомого числа грозових відключень залежності; граничне значення питомого числа грозових відключень ПЛ з розрахунку на полюс лінійного вимикача (5)

Розглянуто застосування вдосконаленого методу визначення граничних значень опору ЗП опор для ПЛ 330 кВ "Зміїв ТЕС - Артема". Вона проходить в коридорі з ПЛ 330 кВ "Залютіно - Артема" (рис. 4), у тому числі на ділянках опор №99 – №117 та №179 – №203 на двохланцюгових опорах.

Результати розрахунків при визначенні граничного значення опору заземлення (рис. 5) для ПЛ 330 кВ "Зміїв ТЕС – Артема" показали, що за умови $R_{\text{ЗП,ОП}} = \text{const}$ на всій довжині ПЛ ($L = 57,5 \text{ км}$) граничне значення опору ЗП опор складає 17 Ом. Для визначення очікуваного питомого числа грозових відключень $n_{\text{Г}}$ ПЛ, траса якої проходить на різних опорах запропоновано визначати як середньозважене цього числа пропорційно довжинам ділянок.

Для урахування умов ремонтно-експлуатаційного обслуговування ПЛ при роботах під наведеною напругою на ПЛ 330 кВ "Зміїв ТЕС - Артема" внаслідок електромагнітного впливу ПЛ 330 кВ "Залютіно - Артема" при максимальному

значенні робочого струму лінії 262 А визначено $R_{ЗП,ОП} = 3$ Ом і довжина ділянки $L_{1НН} = 11$ км, де з урахуванням розбіжності розрахунків та вимірювань наведена напруга є в діапазоні 34-42 В. Тоді необхідне граничне значення опору ЗП опор $R_{ЗП,ОП,НЕОБХ}$ ділянки ПЛ ($L_2 = 46,5$ км) склало 20 Ом відповідно до виразу (17) при апроксимації n_T по (14). Таким чином була підтвержена можливість застосування вдосконаленого методу визначення опору ЗП опор ПЛ з урахуванням умов ремонтно-експлуатаційного обслуговування при роботах на ПЛ під наведеною напругою.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача – підвищення ефективності експлуатації електричних мереж на основі нового підходу до визначення граничних значень опору заземлення ПЛ електропередавання – за критерієм готовності устаткування енергосистеми, якому відповідає нормована періодичність ремонту лінійних вимикачів.

Основні висновки полягають у наступному.

1. Виконаний аналіз методик розрахунку очікуваного питомого числа грозових відключень ПЛ напругою 110 кВ і вище показав необхідність відображення в них розрахункового імпульсу хвилі струму блискавки, що відображає фізику процесу при ПУБ у ПЛ. Запропоновано в математичній моделі імпульсу хвилі струму блискавки використовувати розрахунковий вираз випробувального імпульсу третього порядку. Моделювання хвилі імпульсу струму блискавки за допомогою випробувального імпульсу третього порядку потребує чисельне розв'язання системи трансцендентних рівнянь, для чого доцільно використовувати метод Монте-Карло.

2. Запропоновано моделювання імпульсного перекриття гірлянди ізоляторів при враженні блискавкою ПЛ (удари в опору і в трос в середині прольоту) проводити шляхом численних випробувань стохастичної моделі вказаного вище перекриття, яка, на відміну від тих, що існують, реалізує принцип взаємної незалежності амплітуди і максимальної крутизни струму блискавки та апроксимацію кривої їх логарифмічно нормального розподілу дискретною ступінчастою функцією. Це дало змогу удосконалити методику визначення очікуваного питомого числа грозових відключень ПЛ. Встановлено, що число статистичних випробувань при моделюванні грозозахисту ПЛ напругою 110 кВ і вище повинно бути не менше 10^5 .

3. Для поширених схем мережі напругою 110 кВ і вище розроблені математичні моделі стаціонарних аварійних несиметричних режимів та отримано рішення задачі розрахунку струму однофазного КЗ, комутованого вимикачем приєднання ПЛ, по мірі віддалення місця замикання від шин джерела живлення і з урахуванням впливу значення опору, включеного в місці замикання. При співставленні результатів розрахунку і натурних вимірювань в електричній мережі найбільша розбіжність не перевищує 10%.

4. Вдосконалено метод визначення граничних значень опору заземлення опор ПЛ напругою 110 кВ і вище, заснований на реалізації критерію забезпе-

чення готовності устаткування енергосистеми. У вдосконаленому методі вперше застосована імітаційна модель використання комутаційного ресурсу лінійного вимикача через грозові відключення ПЛ.

5. Розроблено алгоритм визначення найбільшого очікуваного значення наведеної напруги на робочому заземленні на ПЛ через вплив ПЛ, що діють. Запропоновано використання вказаного алгоритму з метою урахування умов ремонтно-експлуатаційного обслуговування ПЛ при роботах, які виконуються під наведеною напругою. Достовірність розрахунку по розробленому алгоритму оцінена на підставі співставлення результатів розрахунку і натурних вимірювань на електроустановках 110 і 330 кВ, що діють; найбільша розбіжність результатів не перевищує 19%.

6. Запропоновано варіант урахування умов ремонтно-експлуатаційного обслуговування ПЛ при роботах, які виконуються під наведеною напругою, на стадії проектування ПЛ. Для цього по алгоритму розрахунку наведеної напруги на робочому заземленні проводів ПЛ визначається те значення опору ЗП опор ділянки ПЛ, при якому вказана напруга не перевищує 42 В. Опір заземлення опор решти частини ПЛ визначається за умови незмінності значення допустимого числа грозових відключень всієї ПЛ з розрахунку на полюс лінійного вимикача при одному і тому ж значенні опору ЗП по всій довжині ПЛ чи при різних значеннях опору ЗП на ділянках довжини ПЛ.

7. Результати дисертаційної роботи впроваджені в Харківських магістральних електричних мережах Північної електроенергетичної системи НЕК «Укренерго», Державному проектно-вишукувальному і науково-дослідному інституті «Укренергомережпроект» та навчальний процес на кафедрі передачі електричної енергії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Березка С.К. Уточнение отдельных положений методики определения ожидаемого числа грозовых отключений воздушных линий электропередачи / С.К. Березка, А.А. Минченко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков : ХГПУ. – 1998. – Вып. 11. – С.110-112.
Пропозиції здобувача при виборі засобів грозозахисту ПЛ електропередавання за критерієм ухвалення рішення з урахуванням надійності електропостачання споживачів.

2. Березка С.К. Определение расходования ресурса выключателя присоединения воздушной линии электропередачи при грозовых отключениях / А.А. Минченко, С.К. Березка // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 1998. – Вып. 13. – С.49-52.
Здобувач отримав вираз для визначення числа спрацьовувань вимикача приєднання ПЛ при КЗ і двократному АПВ.

3. Березка С.К. Определение значений токов однофазных КЗ, коммутируемых выключателями при отключениях воздушной линии из-за грозы / С.К.

Березка, А.А. Минченко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков : ХГПУ. – 1998. – Вып. 16. – С.96.-98.

Здобувачем виконано рішення задачі визначення розрахункових значень струмів однофазного КЗ, комутованого вимикачем приєднання ПЛ електропередавання, у міру віддалення місця замикання на ПЛ від шин джерела живлення і з урахуванням значення опору, включеного в місці КЗ для одноланицюгової ПЛ.

4. Березка С.К. Программа расчета напряжения прикосновения при работах на воздушных линиях электропередачи в зонах действия наведенного напряжения / А.А. Минченко, В.И. Гуль, С.К. Березка // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 1998. – Вып. 16. – С. 99-101.

Здобувачем висвітлені особливості програми розрахунку найбільшого очікуваного значення наведеної напруги на відключеній ПЛ через вплив діючих ПЛ електропередавання.

5. Березка С.К. По вопросу, поднятому в статье «Электробезопасность при работе на проводах распределительных сетей, находящихся в зоне влияния ВЛ-35 кВ и выше» / А.А. Минченко, В.И. Гуль, С.К. Березка // Энергетика и электрификация. – К., 1999. – № 5. – С. 38-40.

Здобувач запропонував принцип реалізації програмного забезпечення для розрахунків наведеної напруги при роботах на відключених ПЛ в повнофакторній постановці цієї задачі.

6. Березка С.К. Анализ методик расчета удельного числа отключений воздушной линии электропередачи вследствие грозových разрядов / С.К. Березка // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХДПУ. – 2000. – Вип. 112. – С.83–86.

7. Березка С.К. Сравнение расчета наведенного напряжения на отключенной ВЛ 110 кВ "Луганская 220 - Горская" с данными натурных измерений // С.К. Березка, А.А. Минченко, Ю.Н. Веприк, Е.В. Сущенко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. – Вип. 35. – С. 9–14.

Здобувачем дано співставлення результатів розрахунку і натурних вимірювань наведеної напруги на відключених ПЛ.

8. Березка С.К. Моделирование грозových перекрытий на воздушных линиях электропередачи с использованием метода статистических испытаний / В.И. Гуль, С.К. Березка // Энергетика и электрификация. – 2007. – №6. – С. 35-39.
Здобувач запропонував форму імпульсу струму блискавки найбільш близької до форми реальних імпульсів і алгоритм визначення параметрів запропонованої моделі форми імпульсу.

9. Березка С.К. Модель волны тока молнии при расчетах грозоупорности воздушных линий электропередачи / С.К. Березка, А.А. Минченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Електротехніка і енергетика”, випуск 11 (186). – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ». – 2011. – С. 41-43.

Здобувачем було вказано діапазон варіацій значень параметрів, необхідних для використання в розрахунках запропонованої моделі хвилі імпульсу струму блискавки.

10. Березка С.К. Усовершенствованная математическая модель грозозащиты воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше и результаты её испытаний / С.К. Березка, А.А. Минченко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – Вип. 41. – С. 23–28.
Здобувач навів основні положення удосконаленої моделі грозостійкості ПЛ напругою 110 кВ та вище, а також отримане ним у ході обчислювальних експериментів мінімальне число статистичних випробувань цієї моделі.

11. Березка С.К. Определение расчетных значений токов однофазных коротких замыканий, коммутируемых линейным выключателем при грозовых отключениях воздушной линии / А.А. Минченко, С.К. Березка // Електротехніка і електромеханіка. – 2011. – №1. – С. 39-45.

Здобувачем виконано рішення задачі визначення розрахункових значень струмів однофазного КЗ, комутованого вимикачем приєднання ПЛ, за віддаленням місця замикання на ПЛ від шин джерела живлення і з урахуванням значення опору, включеного в місці КЗ для двохланцюгової ПЛ.

12. Березка С.К. Выбор предельных значений сопротивления заземления опор воздушных линий электропередачи с использованием имитационного моделирования / А.А. Минченко, С.К. Березка // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – Вип. 23. – С.115-123.
Запропонована здобувачем імітаційна модель використання комутаційного ресурсу лінійних вимикачів через грозові відключення ПЛ напругою 110 кВ і вище.

13. Деклараційний патент на винахід № 46569 А Україна, МПК 6 H01R43/00. Спосіб заземлення відключеної повітряної лінії електропередачі, що знаходиться під наведеною напругою / С.К. Березка, А.А. Мінченко, В.І. Гуль, Д.П. Нікітенко, В.В. Апухтін, А.О. Кашин; заявник і патентовласник Національний технічний університет «ХПІ». – № 2001085866; заявл. 21.08.2001; опубл. 15.05.2002, Бюл. №5.

Здобувачем виконано програмне забезпечення, розрахунки та проведено обґрунтування способу заземлення відключеної ПЛ 220 кВ та вище під тросом.

14. Деклараційний патент на винахід № 55618 А Україна, МПК 7 H01R43/00. Спосіб заземлення відключеної повітряної лінії електропередачі, що знаходиться під наведеною напругою / С.К. Березка, О.І. Цимбал, А.А. Мінченко, В.І. Гуль; заявник і патентовласник Національний технічний університет «ХПІ». – № 2002010051; заявл. 03.01.2002; опубл. 15.04.2003, Бюл. №4.

Здобувачем виконано програмне забезпечення, розрахунки та проведено обґрунтування способу заземлення відключеної ПЛ 110 кВ під тросом.

15. Березка С.К. Направления совершенствования нормативно-технических требований к заземлению на воздушных линиях электропередачи / С.К. Березка, А.А. Минченко // Материалы международной научн.-техн. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». – Харьков: ХГПУ. – 1996. – С. 104.

Здобувач запропонував відмовитися від нормування значення опору заземлення опор ПЛ залежно від еквівалентного питомого опору ґрунту і перейти до нормування за показниками надійності електропостачання споживачів.

16. Березка С.К. Усовершенствованный алгоритм определения наведенного потенциала в отдельных точках по длине отключенной воздушной линии электропередачи / С.К. Березка, А.А. Минченко, В.И. Гуль // Тез. докл. пятой

Украинской н.-техн. конфер. "Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике" – Харьков : ХГПУ. – 1996. – С.50-52.

Здобувачем запропоновано вдосконалений алгоритм розрахунку найбільшого очікуваного значення наведеної напруги на відключеній ПЛ через вплив діючих ПЛ електропередавання.

17. Березка С.К. Алгоритм и программа определения расчетного значения наведенного потенциала в отдельных точках по длине отключенной воздушной линии электропередачи и напряжения прикосновения на многократных местах работы вследствие влияния близко трассируемых воздушных линий / А.А. Минченко, В.И. Гуль, С.К. Березка // Тез. докл. 15 Росс. конф. "Неразрушающий контроль и диагностика" – М., 1999. – С. 64.

Здобувачем висвітлені особливості алгоритму та програми розрахунку найбільшого очікуваного значення наведеної напруги на відключеній ПЛ через вплив діючих ПЛ.

18. Березка С.К. Удосконалювання моделювання грозозахисту повітряних ліній електропередавання напругою 110 кВ та вище / С.К. Березка, А.А. Мінченко // Тези доповідей XIX Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я". – Харків, НТУ "ХПІ". – 2011. – С. 195.

Здобувач запропонував при моделюванні грозозахисту ПЛ накопичувати базу даних параметрів моделі струму блискавки та враховувати густину розподілу імовірності закону розподілу амплітуди та максимальної крутизни струму блискавки при розрахунках очікуваного питомого числа грозових відключень.

19. Березка С.К. Врахування умов ремонтно-експлуатаційного обслуговування повітряних ЛЕП, що знаходяться під дією наведеної напруги, при виборі граничного значення опору заземлення опор / С.К. Березка // Тези доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" – Харків, НТУ "ХПІ". – 2012. – Ч.ІІ. – С. 202.

АНОТАЦІЇ

Березка С.К. Визначення граничних значень опору заземлення повітряних ліній електропередавання з використанням методу імітаційного моделювання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2013.

Дисертацію присвячено удосконаленню метода вибору граничних значень опору заземлення повітряних ліній електропередавання 110 кВ та вище з тросом. Що покращить ефективність експлуатації електричних мереж.

Удосконалено методику розрахунку грозостійкості повітряних ліній з використанням імітаційного моделювання процесів при перекритті лінійної ізоляції при враженнях блискавкою повітряної лінії. Запропоновано використовувати розрахунковий вираз випробувального імпульсу третього порядку як модель струму блискавки. Для поширених схем мережі отримано розрахункові вирази струмів однофазного КЗ, що комутує вимикач приєднання повітряної лінії при грозових відключеннях. Удосконалено метод вибору граничних значень опору

заземлення повітряних ліній електропередавання з використанням методу імітаційного моделювання. Розроблено алгоритм розрахунку наведеної напруги на робочому заземленні проводів повітряних ліній у повнофакторній постановці цієї задачі. Запропоновано на стадії визначення граничного значення опору заземлення повітряних ліній варіант урахування умов ремонтно-експлуатаційного обслуговування повітряних ліній при роботах, які виконуються під наведеною напругою.

Ключові слова: електрична мережа, повітряна лінія, опір заземлення, критерій готовності устаткування, грозостійкість, ресурс вимикача, наведена напруга, імітаційне моделювання.

Березка С.К. Определение предельных значений сопротивления заземления воздушных линий электропередачи с использованием метода имитационного моделирования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции, сети и системы. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2013.

Анализ методов расчета ожидаемого удельного числа грозовых отключений воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше показал необходимость отображения в них расчетного импульса волны тока молнии, адекватно отображающего физику процесса при ударе молнии в воздушную линию, в т.ч. нулевую производную тока молнии в начальный момент времени. В качестве расчетного импульса предложено использовать расчетное выражение испытательного импульса третьего порядка. Моделирование волны импульса тока молнии в этом случае предполагает численное решение системы трансцендентных уравнений, для чего целесообразно использовать метод Монте-Карло.

Усовершенствована методика определения ожидаемого числа грозовых отключений воздушных линий электропередачи путем представления в ней предложенной формы волны импульса тока молнии и определения статистической вероятности перекрытия линейной изоляции с помощью многократных испытаний стохастической модели перекрытия гирлянды изоляторов, что реализует, в отличие от существующих, принцип взаимной независимости амплитуды и максимальной крутизны тока молнии. Установлено, что число статистических испытаний при моделировании грозозащиты воздушной линии напряжением 110 кВ и выше должно быть не менее 10^5 .

Для распространенных расчетных схем сети получено решение задачи расчета тока однофазного КЗ, коммутируемого выключателем присоединения воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше, по мере удаления места замыкания от шин источника питания и с учетом влияния значения сопротивления, включенного в месте замыкания.

Усовершенствован метод определения предельных значений сопротивления заземления опор воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше, основанный на реализации критерия обеспечения готовности оборудования энергосистемы. В отличие от существующего, в усовершенствованном

методе впервые применена имитационная модель расходования коммутационного ресурса линейного выключателя.

Разработан алгоритм определения наибольшего ожидаемого значения наведенного напряжения на рабочем заземлении на заземляющее устройство опоры воздушной линии электропередачи из-за влияния действующих воздушных линий, реализованный в виде программы.

Предложен вариант учета на стадии проектирования воздушных линий условий ремонтно-эксплуатационного обслуживания при работах, которые выполняются на воздушных линиях под наведенным напряжением. Создан программный комплекс для определения предельных значений сопротивления заземляющего устройства опор воздушных линий, построенный на указанных ранее базовых алгоритмах и с возможностью введения ограничений на значение сопротивления заземляющих устройств опор, отображающего функцию обеспечения электробезопасности при работах под наведенным напряжением на воздушной линии.

Ключевые слова: электрическая сеть, воздушная линия, сопротивление заземления, критерий готовности оборудования, грозоупорность, ресурс выключателя, наведенное напряжение, имитационное моделирование.

Berezka S.K. Defining of thresholds earth resistance on overhead transmission lines using the simulation. – A manuscript.

Dissertation for the degree of Ph.D., specialty 05.14.02 - power stations, networks and systems. – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, 2013.

The dissertation is devoted to the improvement of method of selection of grounding resistance limit value on overhead transmission lines 110 kV and above with a rope. This will improve the operational efficiency of power networks.

Method for calculating storm resistance of overhead lines using simulation processes in linear ceiling insulation in lightning overhead line is improved. An expression test pulse as a third-order model of the lightning current is used. For common network diagrams calculation expressions single-phase short-circuit currents that commutes switch accession of the line when lightning trip is obtained. Method of selection threshold earth resistance overhead transmission lines using the simulation is improved. The algorithm of calculation the induced voltage on wires grounding of overhead lines in full factorial formulation of this problem is developed. The variant accounting terms repair of maintenance of overhead lines for activities that are performed under the given voltage, the stage of determining the threshold resistance grounding routes.

Key words: electric network, overhead line, grounding resistance, readiness test equipment, lightning strength, switch resource, given voltage, simulation.



Підписано до друку 06.02.14р. Формат 60х84 "6. Папір офсетний.
Друк ксерографічний. Ум. друк. арк. 1,28. Обл.-вид. арк. 1,1.
Тираж 100 прим. Зам. №07-14

Надруковано ТОВ «Видавництво «Форт»
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
ДК№333 від 09.02.2001р.
61023, м. Харків, а/с 10325. Тел. (057)714-09-08