Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ГРОЗОСТІЙКОСТІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ З ЗАХИЩЕНИМИ ПРОВОДАМИ

Данильченко Д.О. к.т.н.
Дривецький С.І. к.т.н.
Штангей І.О.

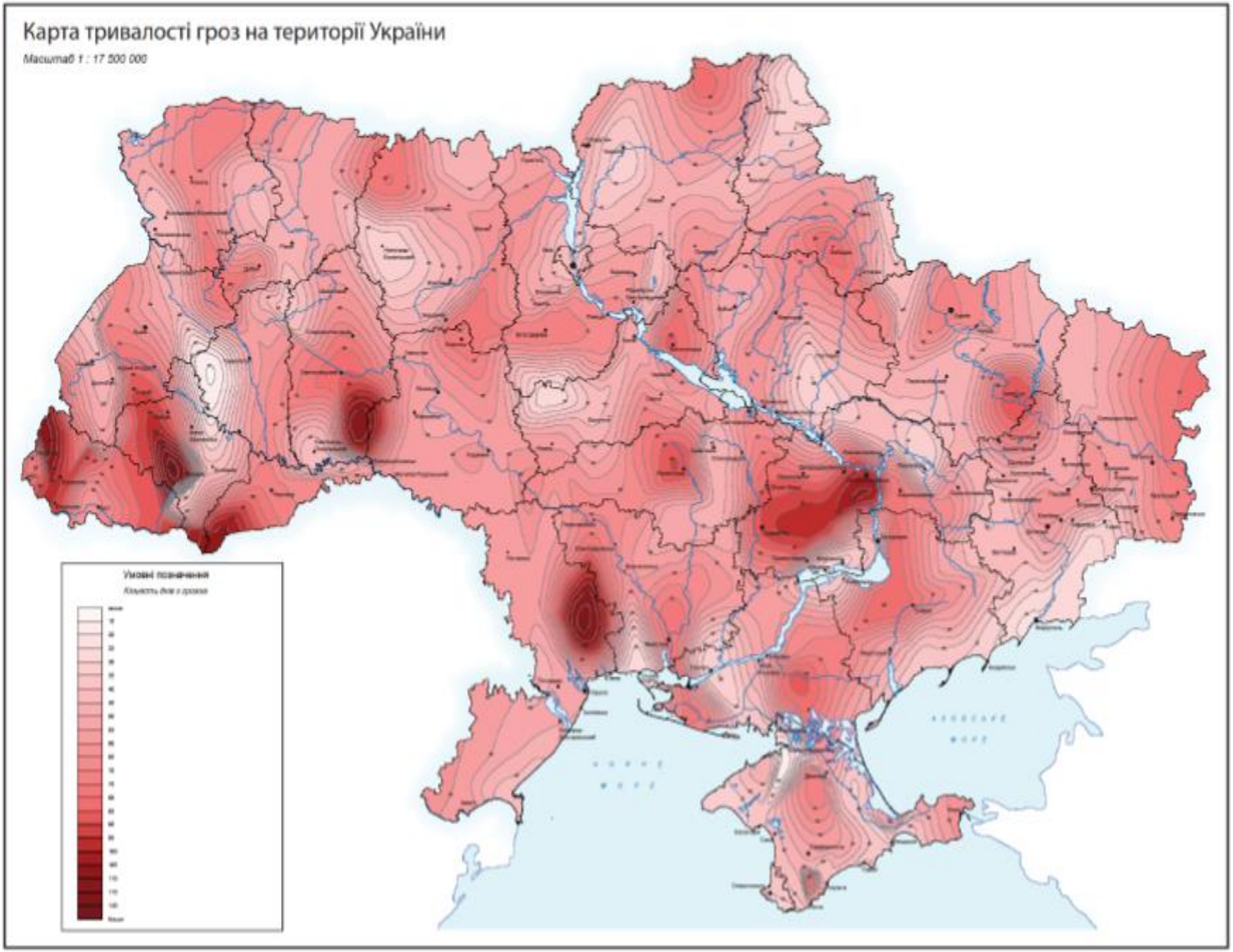
Харків - 2021

АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Якість забезпечення споживачів електроенергією безпосередньо залежить від надійності роботи розподільних електричних мереж, які є ключовою ланкою в системі електропостачання. З початком масового застосування на розподільних ПЛ 6-35кВ захищених проводів виникла необхідність прийняття обов'язкових технічних заходів по їх блискавкозахисту.

Особливістю проблеми блискавкозахисту ПЛЗ є те, що для мережі 6-35 кВ однофазне замикання на землю не є аварійною ситуацією та не підлягає обов’язковому відключенню. В разі відсутності спеціальних заходів, при дуговому перекритті ізолятора лінії, супроводжуваному пробоєм твердої ізоляції проводу, дуга промислової частоти, що утворюється, не має можливості переміщатися вздовж проводу (як при неізольованих проводах) і горить в місці пробою ізоляції до моменту відключення лінії або до погасання під дією інших чинників.

Про високий рівень актуальності роботи свідчать госпдоговірна та держбюджетна НДР МОН, що виконані авторами, а саме: «Розробка рекомендацій щодо захисту від перенапруг повітряних захищених електричних ліній 6-35 кВ» (№ ДР 0114U003936) та «Підвищення енергетичної безпеки та надійності системи електропостачання споживачів високої та надвисокої напруги військово-оборонного та промислового комплексу України» (№ДР 0118U003597).


Карта тривалості гроз на території України
Масштаб 1 : 17 500 000
Умовні позначення

Мета і задачі. Мета рообти полягає у підвищенні надійності захисту повітряних ліній електропередавання середніх класів напруги з захищеними проводами на основі врахування уточнених значень кількості уражень прямими ударами блискавки.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі дослідження:

– проаналізувати основні методи та засоби захисту ліній електропередавання від прямих ударів блискавки в Україні та світі;
– визначити основні параметри, що впливають на ураження блискавкою повітряних ліній середніх класів напруги та розробити принципи моделювання процесу враження на великомасштабних моделях;
– розробити план повнофакторного експерименту для дослідження ураження прямими ударами блискавки повітряних ліній з захищеними та голими проводами;
– провести експериментальні дослідження ураження прямими ударами блискавки повітряних ліній з захищеними та голими проводами;
– на базі отриманих результатів експериментальних досліджень, уточнити метод розрахунку кількості уражень повітряних ліній прямими ударами блискавки;
– розробити нові та удосконалити існуючі методи та засоби підвищення грозостійкості повітряних ліній з захищеними проводами.

ПОБУДОВА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ МОДЕЛІ

При проведенні досліджень, необхідно розуміти в який момент блискавка визначає куди вона буде бити. У літературі вказують, що вибір місця удару відбувається на висоті орієнтування.

Висоту орієнтування блискавки, можна визначити за допомогою емпіричної формули:

$$H_{ор} = 2\,I_м + 30\,(1 - e^{I_м/6,8})$$

Були розглянуті струми блискавки рівні 10 кА і 20 кА.

Для таких струмів висота орієнтування дорівнює 43 і 68 метрів відповідно.

В основу методу покладено припущення, що при наближення лідерного каналу від наземного об'єкта починає розвиватися зустрічний канал розряду, що й зумовлює удар блискавки в об'єкт. Найкоротша відстань між головкою лідера і точкою удару в момент початку розвитку зустрічного розряду тим більше, чим більше напруга між головкою лідера і заземленим об'єктом, а значить, більше заряд лідера і вище максимальне значення струму блискавки, що проходить через уражений об'єкт. Відстань орієнтування залежить від струму блискавки в першому компоненті удару і визначається за емпіричною формулою

$$H_о = 2\, I_б + 30\,(1 - e^{-Iб/6,8}),$$

де $H_о$ - висотою орієнтування блискавки в м; $I_б$ - струм блискавки в кА.

Користуючись заданим значенням $H_о$, можна побудувати зону захисту того чи іншого блискавковідводу. На рис. показано побудову зони захисту стрижневого блискавковідводу ($h < H_о$).

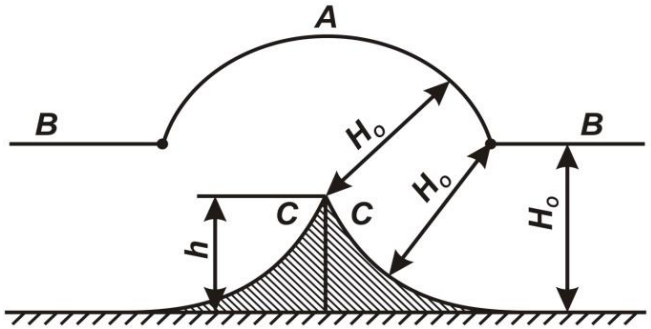


Рисунок - Перетин зони захисту стрижневим громовідводи висотою h при $H_о > h$

РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ПРЯМИХ УДАРІВ БЛИСКАВКИ

При розгляді нормативних документів і проектних норм фактори впливу типу дроту на розрахунок уражуваності не було. Оскільки основним критерієм вважається кількість прямих ударів блискавки в лінію, який розраховується за формулою:

$$N_{пуб}=0.067*n*2*3*H_{під}*L$$

Де, n – кількість грозових годин на рік;
L - довжина лінії, м;
$H_{під}$ – висота підвісу проводів.

У цій формулі $2*3*H_{під}$ означає зону захоплення, для всіх типів ліній і класів напруг. Для перевірки цього твердження проведемо наступну серію експериментів і визначимо зону захоплення прямих ударів блискавки для різних конфігурацій моделі.

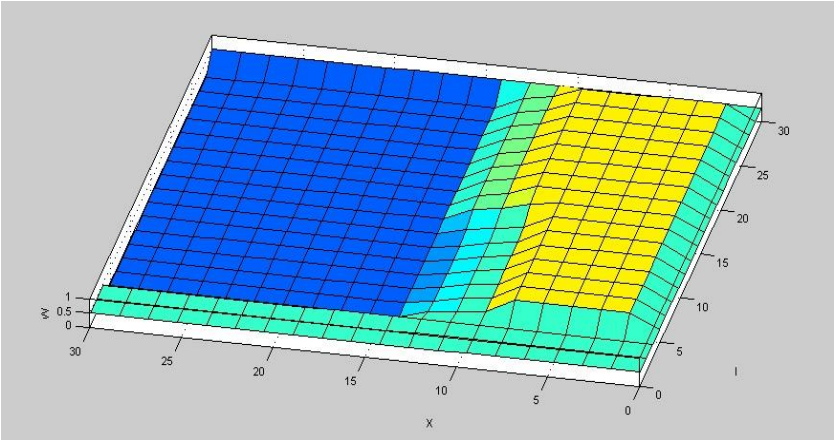
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Модельні значення зони захоплення прямого удару блискавки в дроти

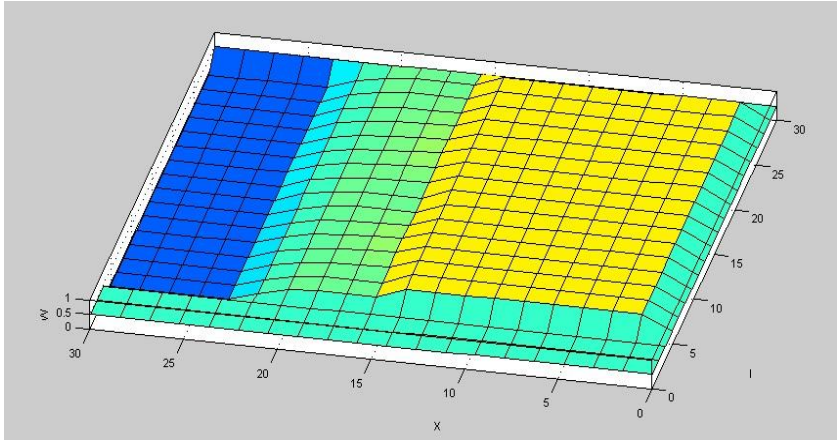
Висота підвісу проводу, $H_{під}$, м	Відстань, з якої провід приймає прямі удари, X, м	
	СІП 3 1*50-20	АС – 50/8
0,2	0,25	0,37
0,35	0,425	0,62
0,13	0,17	0,245
0,22	0,27	0,4

Як бачимо з отриманих результатів, зона захоплення блискавки захищеного проводу в 1.5 рази менше зони захоплення неізольованого дроту.

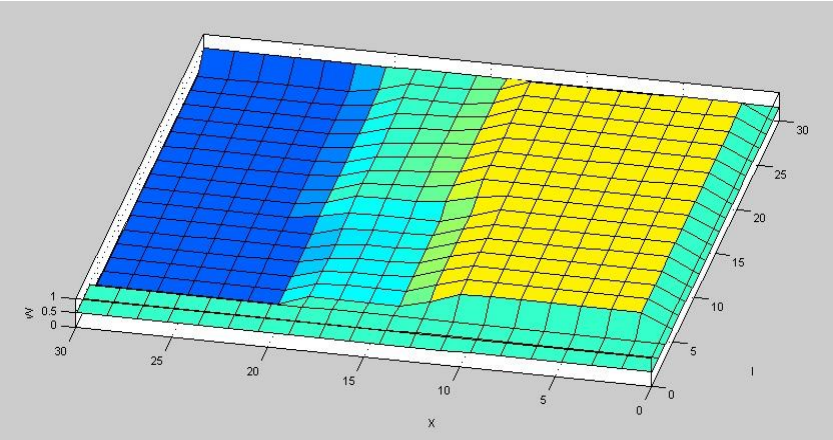
ПОБУДОВА МОДЕЛІ НЕЧІТКИХ МНОЖИН



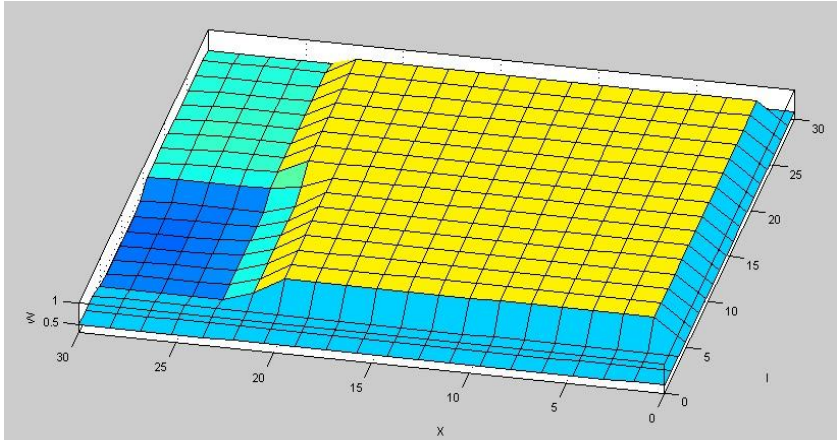
6 кВ і тип дроту (захищений провід)



35 кВ і тип дроту (захищений провід).

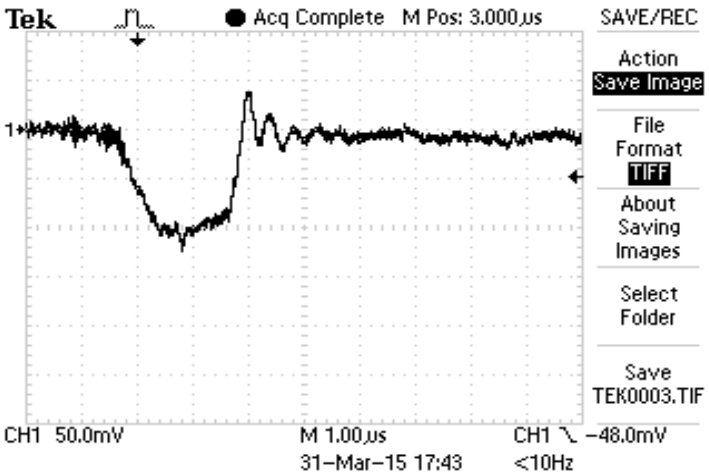


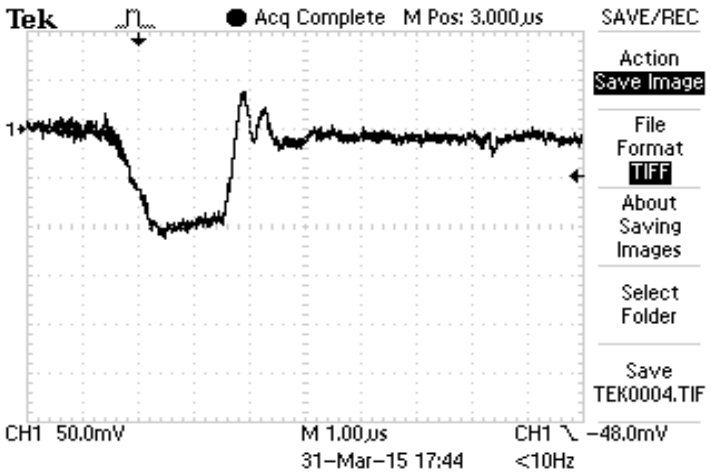
6 кВ і тип дроту (неізольований провід)



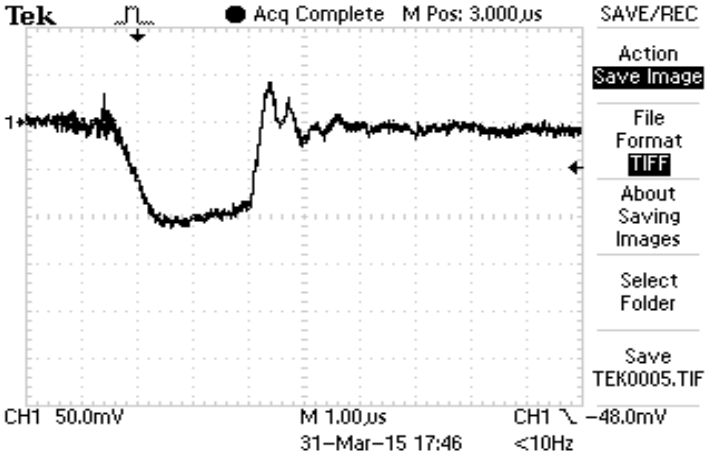
35 кВ і тип дроту (неізольований провід)

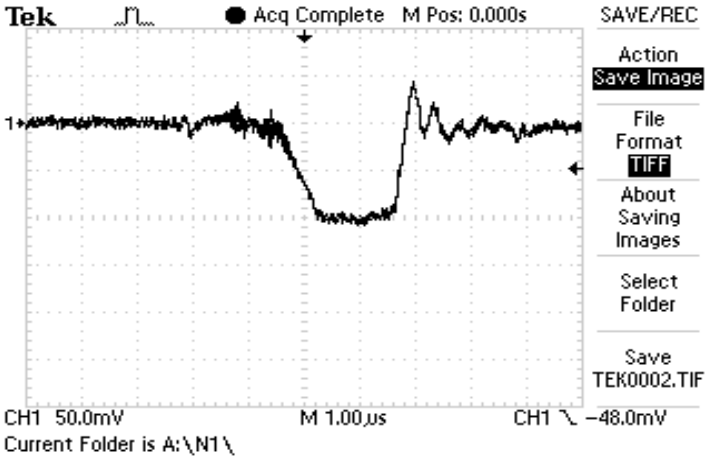
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМИ І ВЕЛИЧИНИ ІНДУКОВАНИХ ПЕРЕНАПРУГ





Форма напруги, що подається





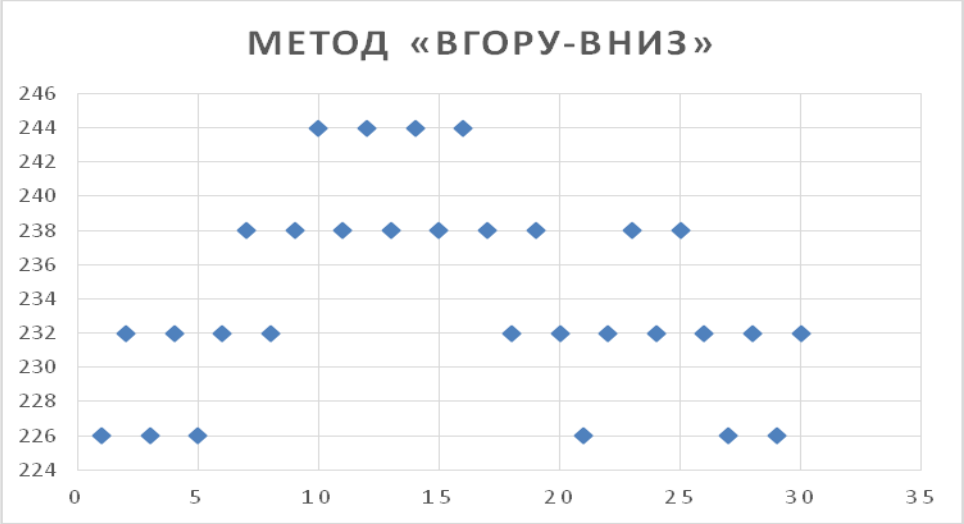
Форма наведеної на захищеному проводі перенапруги

Дослідження $U_{50\%}$ системи «провід - ізолятор»

Наступним етапом досліджень, було знаходження 50%-вої перенапруги, що виникає при пробої системи «провід-ізолятор». Використовуючи метод «вгору-вниз», який передбачає застосування до об'єкту однакових за формою і різних для кожного з наступних дослідів за значенням напруг в залежності від результату попереднього додатку.

Даний метод випробування, який застосовують в основному при випробуваннях імпульсними напругами, має ту перевагу, що вимагає найменшого числа дослідів для визначення 50%-ої розрядної напруги з заданою точністю. Його застосовують, головним чином в тих випадках, коли значення стандартного відхилення унормовано і потрібно визначити тільки 50% -ву розрядну напругу.

Загальний вигляд системи «ізольований провід - ізолятор



Графік за результатами досліджень методу «вгору-вниз»

Розрахунки наведених перенапруг

$$U_{інд} = 30 \cdot \frac{h_{ср}}{b} \cdot I_м$$

З огляду на, що відстань від точки удару блискавки в землю до проводу ЛЕП, як було доведено раніше дорівнює $2h_{ср}$ для ліній електропередачі напругою 6 кВ з ізольованими проводами і $3h_{ср}$ для ліній з напругою 35 кВ відповідно до неізольованих проводів, так звані зони захоплення лінії, тоді ми отримуємо наступну формулу:

$$U_{інд} = 30 \frac{h_{ср}}{2h_{ср}} \cdot I_м;$$

$$U_{інд} = 30 \frac{h_{ср}}{3h_{ср}} \cdot I_м;$$

Виконавши скорочення ми отримуємо:

$$U_{інд} = 15 \cdot I_м;$$

$$U_{інд} = 10 \cdot I_м$$

Значення небезпечних струмів блискавки рівні:
для ліній 6 кВ - 15,6 кА;
для ліній 35 кВ - 23,5 кА

З огляду на енергетичні характеристики джерела напруг і отримані раніше дослідні значення величини наведеної розрядом перенапруги ми отримали середнє значення струму блискавки в експериментальній моделі:

$I_м$=3,31 кА

Сумарне число грозових вимкнень в рік лінії 35 кВ з неізольованими проводами

$$n_{\Sigma}=n_{\text{пуб}}+n_{\text{інд}}$$

де $n_{\text{пуб}}$ і $n_{\text{інд}}$ – питоме (на 100 км і 100 грозових годин) число грозових відключень ПЛ від прямих ударів блискавки і внаслідок індукованих перенапруг відповідно.

Число грозових відключень ПЛ 35 кВ від прямих ударів блискавки

$$n_{\text{ПУБ}}=N^{*}_{\text{ПУБ}}\,[P_{\text{п3}}\cdot P_{\text{д}\,\Sigma}+(P_{\text{п2}}-P_{\text{п3}})\cdot P_{\text{д}}\,]\,(1-P_{\text{АПВ}})=$$

$$=103{,}8\cdot[0{,}219\cdot 0{,}815+(0{,}256-0{,}219)\,]\cdot 0{,}3=6{,}7 \text{ відкл / рік.}$$

$$n_{\text{ІНД}}=[N_{\text{инд 3}}P_{\text{д}\,\Sigma}+(N_{\text{інд 2}}-N_{\text{Інд 3}})\,P_{\text{д}}\,]\,(1-P_{\text{АПВ}})=[0{,}12\cdot 0{,}815+(2{,}28-0{,}12)\cdot 0{,}3]=0{,}4 \text{ відкл / рік.}$$

Сумарна кількість грозових вимкнень розглянутої лінії 35 кВ

$$n_{\Sigma}=n_{\text{пуб}}+n_{\text{інд}}=6{,}7+0{,}4=\text{відкл / рік}$$

Сумарне число грозових вимкнень в рік лінії 35 кВ із захищеними проводами

Число грозових відключень ПЛ 35 кВ від прямих ударів блискавки

$$n_{ПУБ} = N^*_{ПУБ}\,[P_{п3} \cdot P_{д\,\Sigma} + (P_{п2} - P_{п3}) \cdot P_д\,]\,(1 - P_{АПВ}) =$$

$$= 103{,}8 \cdot [0{,}133 \cdot 0{,}815 + (0{,}161 - 0{,}133)\,] \cdot 0{,}3 = 4{,}3 \text{ відкл /рік.}$$

$$n_{інд} = [N_{інд\,3} P_{д\,\Sigma} + (N_{інд\,2} - N_{інд\,3})\,P_д\,]\,(1 - P_{АПВ}) = [0{,}103 \cdot 0{,}815 + (0{,}697 - 0{,}103) \cdot 0{,}3] = 0{,}2 \text{ відкл /рік.}$$

Сумарна кількість грозових вимкнень розглянутої лінії 35 кВ

$$n_{\Sigma} = n_{пуб} + n_{інд} = 4{,}3 + 0{,}2 = 4{,}5 \text{ відкл /рік.}$$

КОМБІНОВАНА ЛІНІЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

За отриманими результатами досліджень було запропоновано створити комбіновану лінію яка має як захищені, так і неізольований провід.

На даній картинці представлено розташування проводів на опорі.

На бічних фазах захищені дроти, на середній фазі неізольований провід.

Була створена така експериментальна модель і проведено 5 серій експериментів по 100 ударів в кожній серії.

Всі удари були в неізольований провід.

Така конструкція дозволить уникнути прямих ударів в захищені проводи, тому що всі удари будуть доводиться в неізольований провід.

При цьому зберігатися всі переваги захищених проводів.

РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

• на основі дослідження літературних джерел виконано аналіз методів та засобів захисту ліній електропередавання від атмосферних перенапруг в Україні та світі;

• визначено основні параметри, що впливають на ураження блискавкою повітряних ліній середніх класів напруги та розроблено принципи моделювання процесу уражуваності ПЛ прямими ударами блискавки та індуктованими перенапругами на великомасштабних моделях;

• розроблена експериментальна модель для дослідження уражуваності прямими ударами блискавки повітряних ліній з захищеними та неізольованими проводами;

• проведена перевірка адекватності обраної експериментальної моделі для дослідження уражуваності прямими ударами блискавки повітряних ліній з захищеними та неізольованими проводами

• розроблено план повнофакторного експерименту для дослідження уражуваності прямими ударами блискавки повітряних ліній з захищеними та неізольованими проводами;

• проведено експериментальні дослідження уражуваності атмосферними перенапругами повітряних ліній з захищеними та неізольованими проводами;

• на базі отриманих результатів експериментальних досліджень, уточнено метод розрахунку кількості уражень повітряних ліній прямими ударами блискавки, що враховує тип використаних проводів;

• розроблено новий метод захисту захищених проводів від прямих ударів блискавки, комбіновану лінію електропередавання, який базується на особливостях ліній з ізольованою нейтраллю;

Результати конкурсної роботи було впроваджено у АК «Харківобленерго» та у навчальний процес в НТУ «ХПІ».

НАУКОВА НОВИЗНА

1) Удосконалено метод моделювання об’єктів для дослідження блискавкозахисту, який відрізняється від існуючих тим, що коефіцієнт моделювання розраховано за допомогою висоти орієнтування блискавки, це дозволило спростити побудову експериментальної моделі для досліджень ураження блискавкою об’єктів.

2) Отримав подальший розвиток метод розрахунку кількості прямих ударів блискавки для визначення блискавкостійкості повітряних ліній середніх класів напруги, який відрізняється від відомих врахуванням конструкції використаних проводів, що дозволяє підвищити точність виконання розрахунків.

3) Отримала подальший розвиток математична модель для розрахунку кількості прямих ударів блискавки, яка відрізняється від відомих тим, що її параметри визначаються на основі методу нечіткого виводу Мамдані, це дає можливість врахувати варіаційну складову вихідних даних.

4) Вперше запропоновано метод блискавкозахисту повітряних ліній з захищеними проводами, який використовує неізольований фазний провід для захисту від прямих уражень блискавкою, що дозволить практично виключити прямі удари блискавки у захищені проводи.

5) Науково обґрунтована та експериментально підтверджена незмінність форми імпульсу блискавки, який впливає на ізоляцію ПЛ із захищеними проводами та має назву індукованих перенапруг, що дозволило визначити кількість захисних апаратів необхідну для захисту ПЛ.

6) Науково та експериментально визначена електрична міцність ізоляції системи захищений провід-ізолятор, що дозволить підвищити точність розрахунків грозостійкості ПЛ.

7) Вперше отримано метод визначення грозостійкості ПЛ із захищеними проводами, який урахувує електричну міцность ізоляції системи захищений провід-ізолятор, що дозволить підвищити точність розрахунків.

8) Отримав подальший розвиток метод визначення кількості небезпечних впливів на ізолятор ПЛ, який відрізняється від існуючих уточненням кількості впливів індукованих перенапруг за рахунок урахування величини електричної міцності системи захищений провід-ізолятор, що дозволяє на етапі проектування підвищити точність розрахунків.

ПРАКТИЧНА ЗНАЧИМІСТЬ

Для електроенергетичної галузі України практична значимість полягає в тому, що на підставі виконаних досліджень визначені способи підвищення ефективності функціонування електричних мереж шляхом вдосконалення методики розрахунку зони захоплення блискавки повітряними лініями середніх класів напруги з урахуванням типу проводу. Такий підхід дозволить розраховувати кількість прямих ударів блискавки у повітряні лінії з неізольованими та захищеними проводами на етапі проектування повітряних ліній. Окрім того, результати досліджень допоможуть більш коректно підійти до питання вибору захисного обладнання та дозволить розрахувати сумарну кількість грозових відключень ліній електропередавання напругою 35 кВ. Запропоноване конструктивне виконання ПЛ з використанням, у якості засобу захисту від блискавки, фазного неізольованого проводу дозволить суттєво підвищити експлуатаційну надійність ПЛЗ при збережені всіх її переваг.

Результати роботи були впроваджені: - у АК «Харківобленерго» для розрахунку зони захоплення блискавки повітряними лініями середніх класів напруги з урахуванням типу проводу, що дозволило більш точно визначати кількість прямих ударів блискавки у повітряні лінії; - у навчальному процесі кафедри передачі електричної енергії Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” для студентів спеціальностей 141 спеціальності за спеціалізаціями: 141-02 «Електричні системи та мережі» під час викладання курсів лекцій з дисциплін «Техніка та електрофізика високих напруг», «Системоутворюючі мережі та їх режими», «Проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв», «Сучасні методи і засоби блискавкозахисту», під час написання курсових та дипломних проектів, випускних кваліфікаційних робіт.