

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Управління енергетичними процесами

(назва факультету)

Інтелектуальні системи енергоспоживання

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістра

(ступінь вищої освіти)

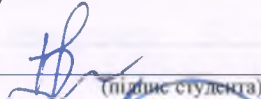
на тему: Удосконалення методологічних основ блискавкозахисту об'єктів енергетики

за освітньою програмою: Електротехнічні системи електроспоживання

зі спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: ЕС2121


(підпис студента)

/ Владислав БІДНОГОЛОВКА /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

/ доцент Андрій АНТОНОВ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

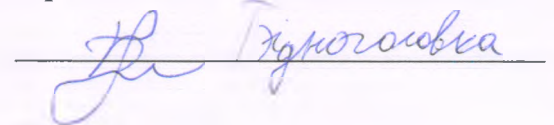
Нормоконтролер:


(підпис)

/ доцент Віталій ПЕРЦЕВИЙ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


Бідноголовка

Дніпро – 2022 рік

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Управління енергетичними процесами
Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)
Освітня програма: Електротехнічні системи електроспоживання
Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІСЕ



(підпис)

Дмитро БОСІЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата 05 09 22

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

магістр з електротехнічних систем
електроспоживання

(ступінь вищої освіти)

студенту БІДНОГОЛОВКИ Владиславу Димитрійовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення методологічних основ блискавкозахисту об'єктів енергетики

Керівник роботи: Антонов Андрій Владиславович к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"14" 04 2022 р.

№ 318ст

2. Строк подання студентом роботи: 16.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

Система блискавкозахисту об'єкту енергетики

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналіз існуючого стану системи блискавкозахисту в енергетиці

4.2 Дослідження методики розрахунку та методології експериментальних досліджень систем блискавкозахисту

4.3 Побудова імітаційної моделі дослідження системи блискавкозахисту

4.4 Верифікація результатів імітаційного моделювання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Улаштування існуючих систем блискавкозахисту. 2. Наслідки від прямого удару блискавки. 3. Методики розрахунку систем блискавкозахисту. 4. Конструкція генератора імпульсної напруги. 5. Процес створення імітаційної моделі в програмного середовищі PLECS. 6. Алгоритм експериментальних досліджень блискавкозахисту об'єктів енергетики. 7. Результати досліджень.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
1			
2			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Методики розрахунку систем блискавкозахисту та способи його облаштування	26.09.2022	
2	Удосконалення методологічних основ блискавкозахисту об'єктів енергетики	10.10.2022	
3	Експериментальні дослідження, верифікація результатів	14.11.2022	
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	16.12.2022	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	20.12.2022	

Студент

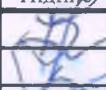
Владислав БІДНОГОЛОВКА

Керівник роботи

Андрій АНТОНОВ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ТА СПОСОБИ ЙОГО ОБЛАШТУВАННЯ.....	10
1.1 Аналіз застосування практик блискавкозахисту.....	10
1.2 Негативний вплив блискавки на об'єкти енергетики.....	15
1.3 Методики розрахунку систем блискавкозахисту.....	18
1.4 Методології експериментальних досліджень.....	23
2 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ.....	26
2.1 Допущення, узагальнення та врахування основних впливаючих факторів.....	26
2.2 Синтезування алгоритму експериментальних досліджень блискавкозахисту об'єктів енергетики.....	32
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ВЕРИФІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	36
3.1 Результати досліджень	36
3.2 Верифікація результатів, зрівняння з нормативними вимогами EN IEC 62305.....	38
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	45
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	47

					02.15.EC2121.KPM.2022–ПЗ					
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата						
Розробив		Бідноголовка В.		19.12	Удосконалення методологічних основ блискавкозахисту об'єктів енергетики		Літера	Аркуш	Акрушів	
Консульт.				19.12			М	Д	6	49
Керівник		Антонов А.В.		19.12			МОНУ, УДУНТ, ІСЕ, гр.EC2121			
Н. контр.		Перцевий В.О.								
Зав. каф.		Босий Д.О.		19.12						

РЕФЕРАТ

Магістерська робота має обсяг 49 сторінок, складається з 3 розділів та містить 32 ілюстрації, 9 таблиць, 25 використаних джерел.

Метою роботи є удосконалення методологічних основ блискавкозахисту об'єктів енергетики

Методи дослідження – в основу роботи покладені теоретичні та емпіричні методи дослідження. Для моделювання роботи системи з програмних пакетів обрано середовище PLECS.

Обробка отриманих результатів виконана на ЕОМ з використанням програмного засобу Excel.

У роботі аналізовано застосування практик блискавкозахисту . Оцінено негативний вплив блискавки на об'єкти енергетики, розглянуто методики розрахунків та методології експериментальних досліджень.

Одержано результати

1. Синтезовано алгоритм експериментальних досліджень блискавкозахисту об'єктів енергетики
2. Отримані результати імітаційного моделювання
3. Верифіковані результати, з нормативними вимогами EN IEC 62305
4. Удосконалено методологію розрахунку системи блискавкозахисту
5. Запропоновану методологію імплементовано в технологічні процеси ТОВ «Солар Стальконструкція».

Ключові слова: БЛИСКАВКА, ПЕРЕНАПРУГА, ОБ'ЄКТ ЕНЕРГЕТИКИ, АНАЛІЗ, МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ, МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ, СИСТЕМА БЛИСКАВКОЗАХИСТУ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСНИХ НАПРУГ, АЛГОРИТМ, ВЕРИФІКАЦІЯ.

ВСТУП

Електричні розряди, що виникають між хмарами та поверхнею землі, або між хмарами називають блискавкою. Процес електризації крапель або льодяних частинок відбувається в хмарах під час утворення опадів. Через сильні висхідні потоки повітря в хмарі з'являються окремі області, що несуть різні електричні заряди. Утворення блискавки відбувається за рахунок напруженості електричного поля, яка досягає пробивних параметрів у хмарі або між нижньою зарядженою ділянкою і землею.

Більш детально процес формування можна пояснити наступним чином: Кількість електронів, що рухаються від хмари до землі лавиноподібно зростає у вузькому повітряному каналі. Завдяки іонізованому каналу заряди починають рухатись з хмари. Цей процес призводить до появи лідера блискавки, який проходить 50...100 м а потім зупиняється на 10 мікросекунд, під час яких простір навколо головки лідера іонізується. Лідер блискавки проходить ту ж саму дистанцію поновлюючись в каналі. І це триває до тих пір поки лідер не доторкнеться поверхні землі.

Під час просування лідера напруга на кінцях посилюється у результаті, чого об'єкти, що виступають над поверхнею землі змушують стример викидатися, зливаючись з лідером та притягуючись з ним до точки, з якої цей стример з'явився. Саме на цій особливості блискавки ґрунтується використання блискавкоприймачів.

На завершальному етапі відбувається головний або зворотній (знизу догори) розряд блискавки по каналу. Він характеризується струмами 10000...100000 А, яскравість, істотно перевищує яскравість лідера, для якого характерна висока швидкість, що може доходити до ~100000 км на секунду, і наприкінці зменшуватись до ~10000 кілометрів на секунду. При головному розряді температура каналу блискавки може перевищувати 20000...30000° С. Довжина каналу блискавки при цьому може досягати 10 км, а діаметр – декілька десятків міліметрів.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іонізація каналу і його свічення зменшуються після проходження імпульсу. Струм блискавки триває соті секунди в заключній стадії, досягаючи від сотні до тисячі ампер. Ця особливість для затяжних блискавок, із-за яких виникають пожежі [1].

Прямий удар блискавки може спричинити пошкодження, травми та загибель людей, руйнацію електричного та електронного обладнання, вибух, утворення небезпечних речовин. Електронні системи надто чутливі до розряду блискавки. Щорічні збитки що викликані ударом блискавки складають декілька сотень мільйонів гривень.

Для забезпечення перехоплення та відведення струму блискавки в землю використовують зовнішню систему блискавкозахисту, яка тим самим захищає будинок від руйнувань.

Таким чином робота, що направлена на удосконалення методології розрахунку системи блискавкозахисту об'єктів енергетики з урахуванням параметрів для кожного об'єкту, що захищається є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Обране дослідження співпадає за науковими напрямками виконання робіт в Українському державному університеті науки і технологій.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є удосконалення методологічних основ блискавкозахисту об'єктів енергетики.

Завдання роботи:

- 1) Проаналізувати існуючий стан системи блискавкозахисту в енергетиці;
- 2) Оцінити існуючі негативні впливи та заходи їх мінімізації;
- 3) Дослідити методики розрахунку та методології експериментальних досліджень систем блискавкозахисту;
- 4) Побудувати імітаційну модель для дослідження системи блискавкозахисту;
- 5) Верифікувати результати імітаційного моделювання.

Об'єкт дослідження – Система блискавкозахисту.

Предмет дослідження – Об'єкт, що захищається системою блискавкозахисту.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Методи дослідження. – в основу роботи покладені теоретичні та емпіричні методи дослідження.

Для моделювання роботи системи з програмних пакетів обрано середовище PLECS. Обробка отриманих результатів виконана на ЕОМ з використанням програмного засобу Excel.

Наукова новизна та основні положення, які виносяться на захист:
Удосконалено методологію розрахунку системи блискавкозахисту об'єктів енергетики, яка відрізняється врахуванням параметрів кожного окремого захищаного об'єкту з забезпеченням координації систем захисту від блискавки.

Практичне значення отриманих результатів:

Розроблені методики та результати отримані імітаційним шляхом можуть бути використані в удосконаленні методологічних основ блискавкозахисту. Запропонована методологія імплементована в технологічні процеси ТОВ «Солар Стальконструкція».

Особистий внесок здобувача. Постановку мети та завдань дослідження виконано спільно з науковим керівником. Основні наукові положення, теоретичні дослідження, розрахунки, зіставлення та аналіз отриманих результатів отримані здобувачем самостійно.

Апробація результатів роботи. Виступ з доповіддю на 14-ї Міжнародній науково-практичній конференції студентів та молодих вчених «Сучасні транспортні технології», яка відбулася у м. Львів 08 грудня 2022 р.

Публікації

Публікація подана до друку.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ТА СПОСОБИ ЙОГО ОБЛАШТУВАННЯ

1.1 Аналіз застосування практик блискавкозахисту

Електроенергетика в сучасному світі для багатьох галузей є основою та займає левову частку обсягів використання. Промисловість, будівництво, транспорт, та сільське господарство є необхідним тому що вони відіграють важливу роль в сучасному світі, затримка в електропостачанні яких може призвести до значних збитків.

Об'єкти енергетики забезпечують не тільки виробництво а й виконують цілу низку важливих виробничо-технологічних процесів, внаслідок чого до них висувають вимоги нормативних документів, що роз'яснюють улаштування, побудову, вимоги до елементів електроустановок. До системи електропостачання належать агрегати, лінії електропередач, апарати, допоміжне обладнання, пристрої призначення яких: виробництво, передача, розподіл, або перетворення її в інший вид енергії. Від надійності роботи об'єктів енергетики залежить якість забезпечення споживачів електроенергією.

Останнім часом на планеті, та в Україні зокрема спостерігається значне збільшення активності блискавки, це призводить до більшої кількості уражень енергетичних об'єктів. Прямий удар блискавки спричиняє псування ізоляції проводу, пошкодженню ізоляторів, загорянню дуги, виведенні з ладу електричних та електронних пристроїв [2]. У разі пошкодження обладнання та апаратів виникає ймовірність небезпеки життю та здоров'ю людей. Тож необхідно приділяти належну увагу проектуванню, розрахункам та монтажу систем блискавкозахисту для унеможливлення створення руйнівних наслідків. На даний час основним документом що регламентує захист електричних та електронних систем від струмів блискавки є ДСТУ [3...6].

Вірно запроектована та побудована з дотриманням нормативних вимог система блискавкозахисту приймає на себе струм блискавки та відводить його

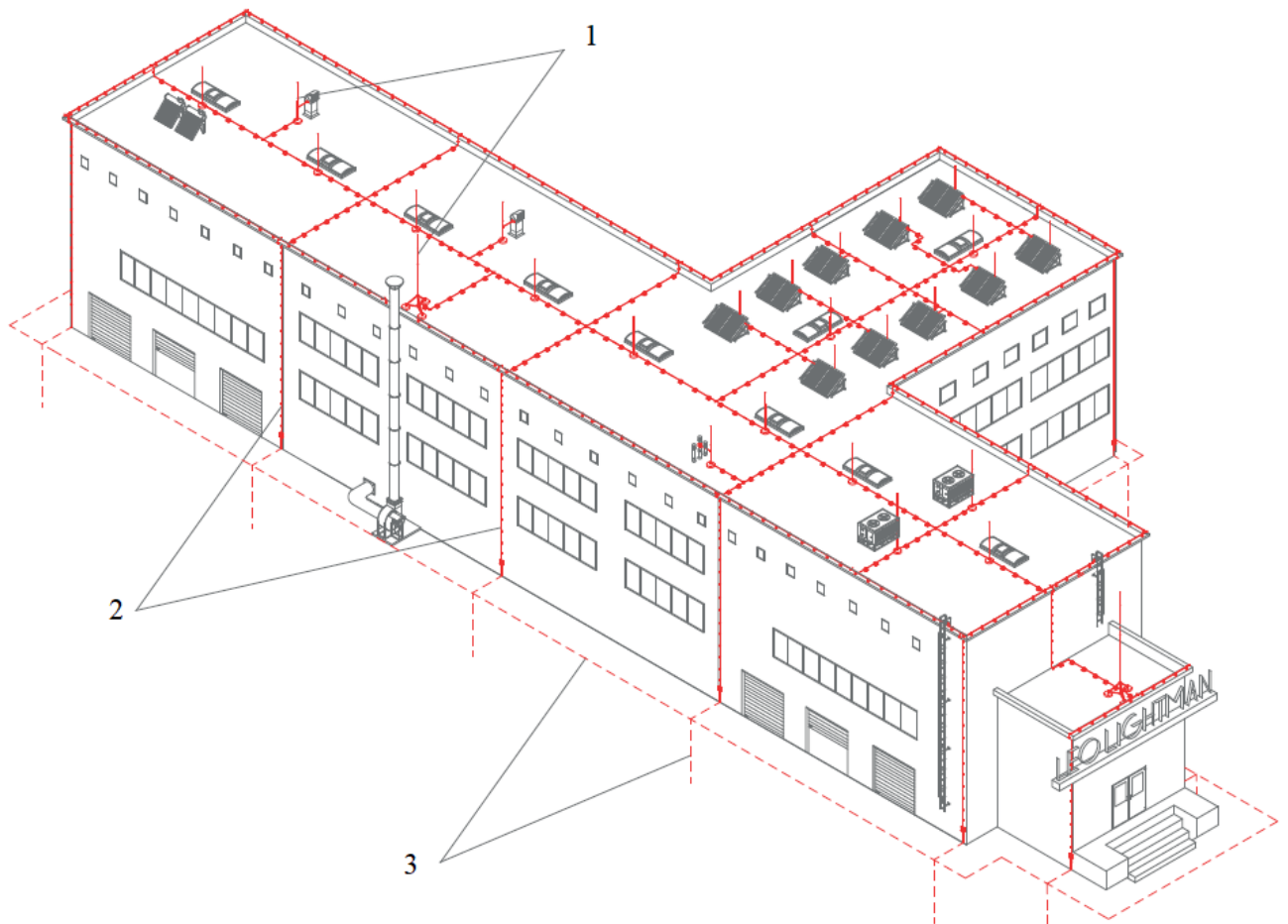
					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

через доземні провідники до системи земляного закінчення, де розсіюється імпульс розряду.

Основним призначенням системи блискавкозахисту є зниження матеріальної шкоди під час розряду блискавки в будівлю. Дана система складається із зовнішньої (рисунок 1.1), та внутрішньої системи блискавкозахисту (рисунок 1.2).

До зовнішньої системи блискавкозахисту відносять:

- блискавкоприймач;
- доземний провідник;
- контур уземлення.



1 – блискавкоприймач; 2 – доземний провідник; 3 – контур уземлення

Рисунок 1.1 – Узагальнений вигляд зовнішньої системи блискавкозахисту

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



Рисунок 1.2 – Пристрій внутрішньої системи блискавкозахисту

Основним призначенням блискавкоприймача (рисунок 1.3), є вловлювання прямих ударів блискавки забезпечуючи, в першу чергу, захист людей від ураження електричним струмом будівлі.



Рисунок 1.3 – Розташування блискавкоприймача для захисту СЕС

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Для безпечного відведення струму блискавки в землю використовують доземні провідники (рисунок 1.4), які повинні мати надійний контакт із системою уземлення для унеможливлення створення іскрінь та пробойів з іншими частинами електромереж.



Рисунок 1.4 – Улаштування струмовідводів по стіні будівлі для захисту СЕС

Задача контуру уземлення, (рисунок 1.5), є відвід струму блискавки в землю, вирівнювання потенціалів між доземними провідниками та контроль потенціалу поблизу провідних стін будівлі.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.5 – Улаштування контуру уземлення

До внутрішньої системи блискавкозахисту відносяться пристрої захисту від імпульсних перенапруг.

Основним призначенням яких є вирівнювання потенціалів в струмопровідних мережах та захист електричного та електронного обладнання. В якості основного пристрою для системи внутрішнього блискавкозахисту є ПЗІП (Пристрій захисту від імпульсних перенапруг). Принцип дії ПЗІП заснований на обмеженні імпульсних перенапруг до безпечного рівня в силових та телекомунікаційних мережах. Пристрій захисту встановлюють в мережах низької напруги, та в мережах передачі даних. ПЗІП реагує на імпульси, що створені розрядом блискавки.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1.2 Негативний вплив блискавки на об'єкти енергетики

Прямий удар блискавки може призвести до пошкоджень самої будівлі (споруди), її мешканців, зруйнуванням внутрішніх мереж, перебоїв з електропостачанням. Пошкодження й відмови можуть також поширюватись на будівлі або споруди що знаходяться поруч.

Основними характеристиками будівлі, на яку може вплинути блискавка є:

- конструкція: дерево; бетон; сталеві каркаси; цегла;
- призначення: житловий будинок; офіс; школа; лікарня; промислова зона;
- мешканці та вміст: люди й тварин; наявність горючих й негорючих матеріалів; електричні й електронні системи;
- приєднані лінії: живильні лінії; телекомунікаційні лінії; трубопроводи;
- межі поширення небезпеки: будівля з утрудненою евакуацією; будівля, що становить небезпеку для оточення; будівля, що становить небезпеку для довкілля.

Джерелом пошкоджень блискавки є його імпульсний струм. Залежно від точки удару відносно будівлі (споруди) розрізняють: спалахи блискавки у будівлю (споруду); спалахи блискавки поблизу будівлі (споруди); спалахи блискавки у лінію; спалахи блискавки поблизу лінії.

Спалахи блискавки у будівлю призводять до механічних руйнувань, пожеж, вибухів внаслідок високої температури каналу блискавки, ушкоджень людей та тварин через напругу дотику і крокову напругу, відмову або збій внутрішніх систем [3].

Наслідки від прямого влучання блискавки в будинок зображено на рисунку 1.6.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6 – Руйнування покрівлі будівлі

Кожне пошкодження, що стосується будівлі може спричинити загибель людей, втрату культурних цінностей, економічні втрати. В результаті перенапруг, що спричинені ударом блискавки виникають перебої в електричних і електронних мережах, відбувається їх руйнування (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Зруйнована сонячна панель внаслідок прямого удару блискавки

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті прямого удару блискавки в повітряну лінію низької напруги можливе проникнення струму блискавки в будинок, який підключений до цієї мережі. Для електрообладнання, що знаходиться в кінці даної лінії існує велика загроза пошкоджень (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Зруйноване електрообладнання

До заходів захисту, які мінімізують загрозу для життя внаслідок дії електричного струму відносять:

- ізолювання струмопровідних частин;
- фізичне обмеження;
- попереджувальні написи та плакати;
- еквіпотенційні сполучення блискавки.

Для зменшення відмов електричних та електронних систем використовують такі заходи захисту:

- улаштування уземлення та сполучення;
- магнітне екранування;
- ізолювальні інтерфейси.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання даних заходів дає можливість мінімізувати ризики до допустимого рівня. Найбільш прийнятні засоби захисту здійснюються залежно від типу пошкоджень, технічних й економічних аспектів [3].

1.3 Методики розрахунку систем блискавкозахисту

Для ефективного перехоплення розрядів блискавки, потрібно правильно визначити розташування елементів системи блискавкозахисту. Для цього існують наступні методи:

- метод сфери, що котиться;
- метод захисного кута;
- метод блискавкоприймальної сітки.

Кожен з методів має свої особливості й використовується для різних форм покрівлі будинку чи споруди.

Для визначення розташування елементів системи блискавкозахисту за допомогою методу сфери, що котиться застосовують сферу радіусом r , яка котиться навколо будівлі, доки вона торкнеться з площиною землі та об'єктом який здатен діяти в якості провідника блискавки (рисунок 1.9).

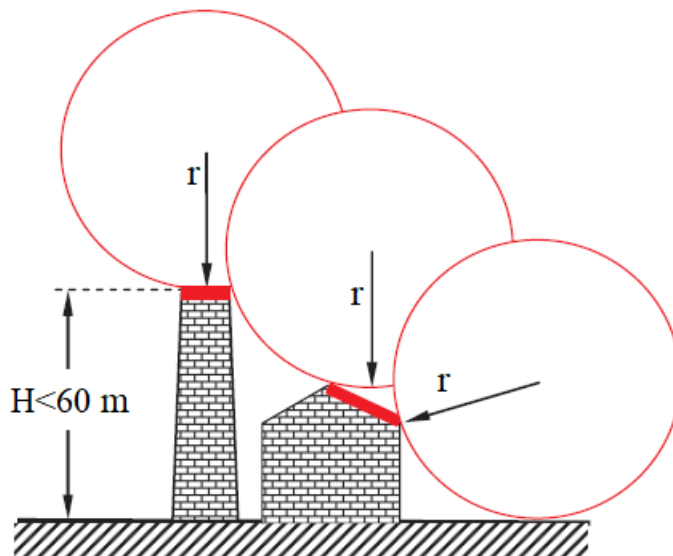


Рисунок 1.9 – Узагальнений вигляд методу сфери, що котиться

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Виходячи з цього, елементи системи блискавкозахисту повинні бути встановлені в усіх точках, або сегментах, які контактують із сферою радіус якої відповідає визначеному рівню захисту. Значення радіусу сфери, що котиться залежно від класу блискавкозахисту наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Значення радіусу сфери, що котиться відповідно до класу блискавкозахисту

Клас блискавкозахисту	Радіус сфери, що котиться г, м
I	20
II	30
III	45
IV	60

Якщо сфера, що котиться, торкається елементу блискавкозахисту і площини на якій той встановлений, та не має спільних точок із об'єктом, що захищається, то споруда вважається захищеною. Зважаючи на це можна зробити висновок, що площа розташована між елементом системи блискавкозахисту та землею, яких торкається сфера, що котиться, але в який вона не потрапляє можна назвати захищеною. Дана методика є найточнішою, та може бути використана для розрахунку зон захисту в усіх випадках, тому що цей метод фізично підтверджений та створений з електрогеометричної моделі блискавки.

Для захисту будинків простої форми, або конструкцій які знаходяться на дахах споруд таких як: антени, вентиляційне обладнання, комини, застосовують метод захисного кута, але тільки в тому випадку, якщо висота елементу системи блискавкозахисту не є більшою ніж радіус сфери, що котиться, відповідного класу блискавкозахисту. Розташування блискавкоприймача (рисунок 1.10) визначається таким чином, щоб споруди, що захищаються були всередині уявного конуса, створеного під кутом α до вертикалі [5].

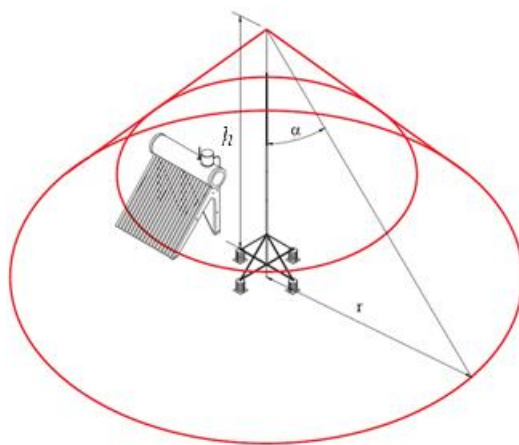


Рисунок 1.10 – Узагальнений вигляд методу захисного кута

Для визначення кута α необхідно скористатися залежністю, на якій відображено висоту блискавкоприймача h та вибраного класу блискавкозахисту. Якщо параметри знаходяться за межами кривої, тоді потрібно розраховувати за допомогою сфери, що котиться. Залежність захисного кута α від висоти блискавкоприймача h (рисунок 1.11).

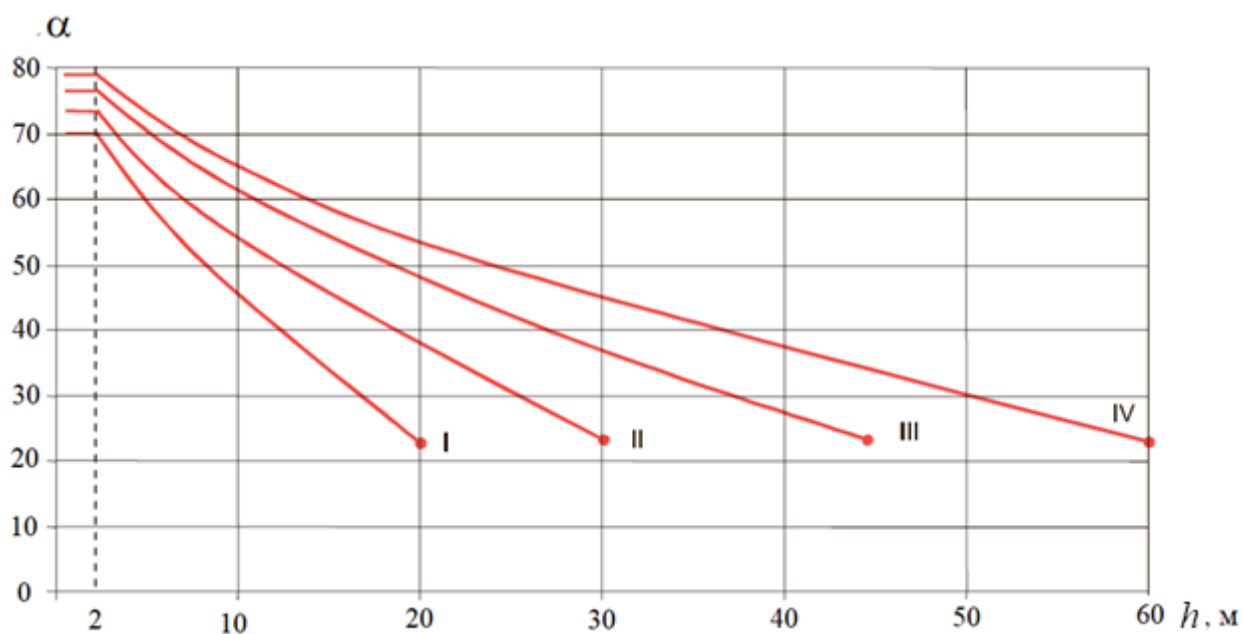


Рисунок 1.11 – Залежність захисного кута α від висоти блискавкоприймача h

Можливо знайти радіус захисного конуса за допомогою формули, для цього тригонометричною властивістю та отримаємо результат співвідношення:

$$r = h \times \operatorname{tg} \alpha, \quad (1.1)$$

де h - висота блискавкоприймача, м;

α - захисний кут.

Для захисту плоских покрівель будівель в основному використовують метод блискавкоприймальної сітки. Цей метод заснований на прокладенні металевих провідників з визначеним кроком чарунки, який залежить від категорії блискавкозахисту. Розмір чарунок сітки від класу блискавкозахисту наведено в табл. 1.2

Таблиця 1.2- Розмір чарунок сітки від класу блискавкозахисту

Клас блискавкозахисту	Розмір чарунок сітки, м
I	5x5
II	10x10
III	15x15
IV	20x20

Метод сітки може бути використаний лише за певних умов, а саме:

-провідники сітки розташовані по:

- 1) краю даху та виступах;
- 2) конику покрівлі, якщо ухил перевищує 1/10;
- 3) бокових поверхнях будівлі, висота яких перевищує 60 м.

- розміри сітки не перевищують значень, вказаних в табл.1.2;

- наявність двох різних шляхів для проходження струму блискавки;

- за зовнішні контури перехоплювачів не повинні виступати жодні металеві частини;

- провідники перехоплювачів проходять найкоротшими прямими шляхами.

Приклад розташування блискавкоприймальної сітки для плоского даху (рисунок 1.12) та похилого даху (рисунок 1.13).

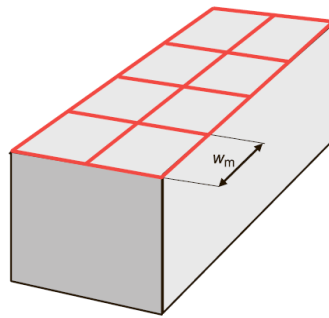


Рисунок 1.12 – Вигляд блискавкоприймальної сітки для плоскої покрівлі

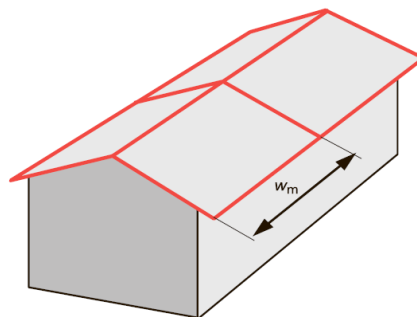


Рисунок 1.13 – Вигляд блискавкоприймальної сітки для похилої покрівлі

У випадку коли висота будівлі перевищує 60 м, то рекомендовано зробити блискавкоприймальну сітку з усіх сторін на рівні від 80 % висоти будівлі до даху[5]. Приклад розташування для даного випадку (рисунок 1.14).

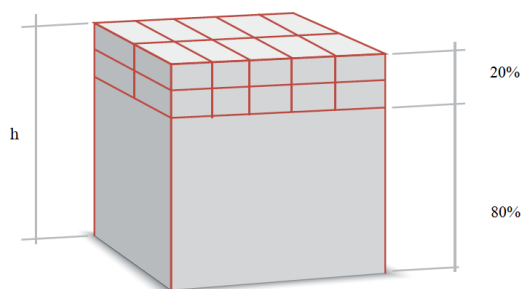


Рисунок 1.14 – Улаштування блискавкоприймальної сітки від бічних ударів

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

1.4 Методології експериментальних досліджень

Під час експлуатації на ізоляцію електрообладнання можуть впливати грозові перенапруги.

Перенапруги характеризуються наступним чином:

- тривалість існування підвищеної напруги;
- період коливання напруги;
- тривалість аперіодичного імпульсу напруги.

До пошкодження та руйнування електрообладнання можуть призвести навіть короткочасні перенапруги.

Розряди блискавки характеризуються досить великими імпульсами при короткому часі впливу на ізоляцію. Вони виникають через прямий удар блискавки, який загрожує лінійному та підстанційному обладнанню. Для імітації впливу блискавки на ізоляцію електрообладнання використовують генератори імпульсних напруг (ГІН). Найбільш розповсюдженим вважається ГІН винайдений Ервіном Марксом у 1924 році, та виготовлений у 1926 році.

В процесі прямого ураження блискавкою на енергетичні об'єкти впливають імпульсні напруги, які мають швидко наростаючу форму. Швидкість наростання цієї напруги залежить від процесів формування розряду блискавки.

Для випробувань електричної міцності ізоляції імпульс відповідає параметрам 1.2/50 мкс (рисунок 1.15).

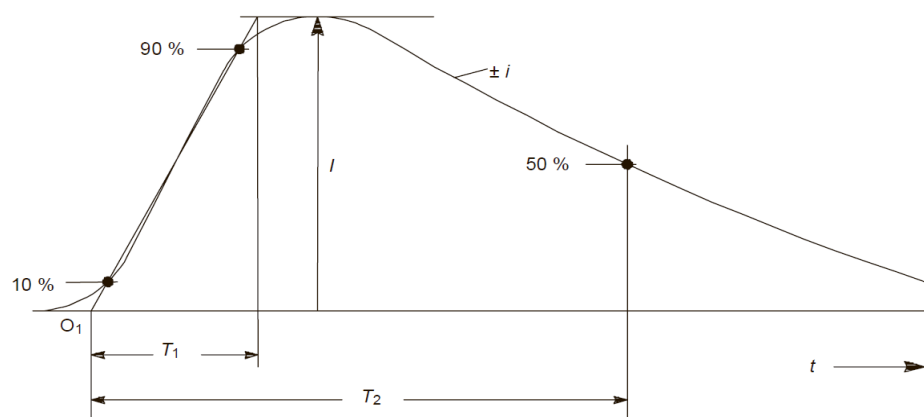


Рисунок 1.15 – Форма імпульсу напруги

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Така форма розряду блискавки була визначена на основі спостережень та досліджень та рекомендована Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) для використання у випробуваннях ізоляції електрообладнання. Для цієї форми імпульсу характерна тривалість фронту 1,2 мкс та тривалість до напівспаду 50 мкс [7...15]. Утворення цієї форми можливо з використанням генераторів імпульсних напруг (ГІН). В електроенергетиці ГІН (рисунок 1.16) використовують для: тестування блискавкоприймачів, які захищають об'єкти від прямого удару блискавки, випробування ізоляції трансформаторів, реакторів, вимикачів, ізоляторів.



Рисунок 1.16 – Зовнішній вигляд багатокаскадного ГІН

Конструктивно ГІН можуть виготовляють з елегазовою, оливковою, або повітряною ізоляцією. Для деяких конструкцій ГІН використовують герметизацію конденсаторів та резисторів, при цьому розрядники розташовують на повітрі [16...21]. Розряд конденсаторів генератору імпульсних напруг під час пробою повітря (рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 – Розряд конденсаторів генератора імпульсних напруг

Висновок до розділу

В першому розділі було розглянуто проблематику та визначено напрямки досліджень. Проаналізовано стан системи блискавкозахисту в енергетиці.

Оцінено негативні наслідки та запропоновано заходи щодо їх мінімізації.

Обрано форму розряду блискавки для подальшого аналізу. Проаналізовано можливості ГІН для створення розряду блискавки.

Розглянуто конструктивні особливості та сфери застосування ГІН.

.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ БЛИСКАВКОЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

2.1 Допущення, узагальнення та врахування основних впливаючих факторів

Для імітації моделювання скористаємось програмним середовищем PLECS, (рисунок 2.1), розроблений компанією Plexim [22], так як ця програма дозволяє змодельовати електричні та електронні схеми, зробити аналіз, відобразити перехідні процеси, що відбуваються в схемах.

Після етапу складання схеми, введемо параметри часу замикання контактів ключа (рисунок 2.2), та одного опору зарядного резистора (рисунок 2.3).

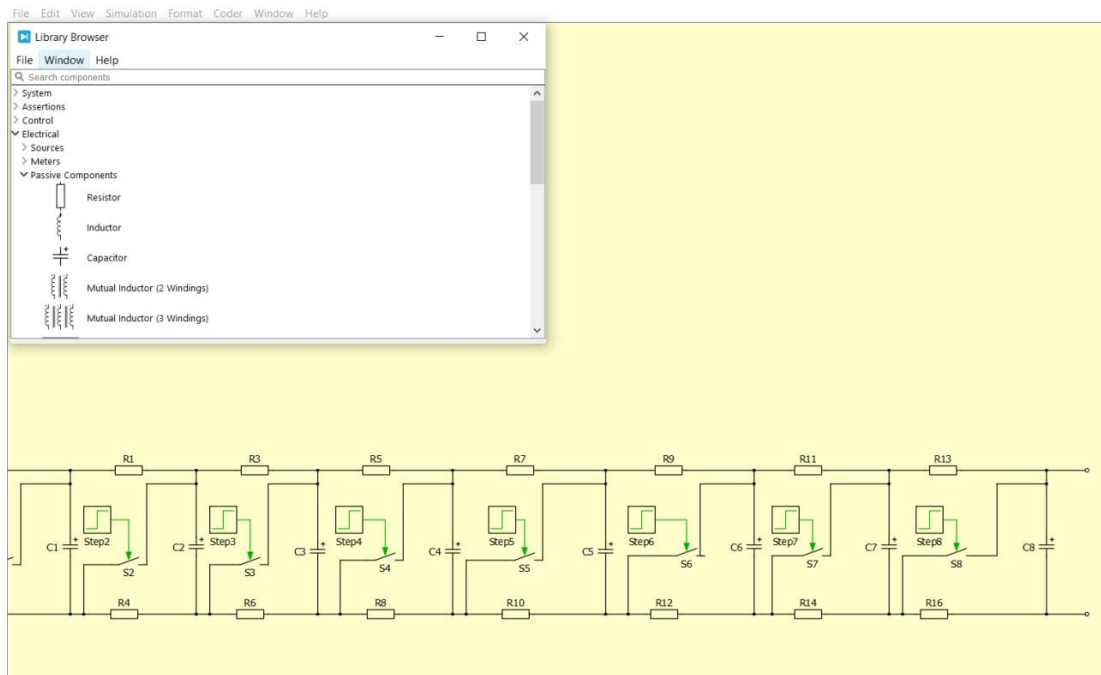


Рисунок 2.1 – Процес створення імітаційної моделі в програмному середовищі PLECS

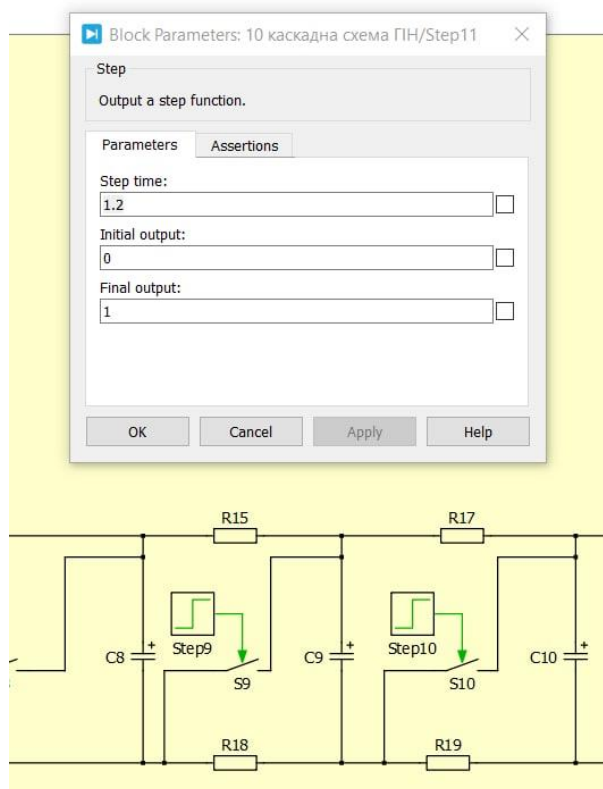


Рисунок 2.2 – Введення часу спрацювання ключа

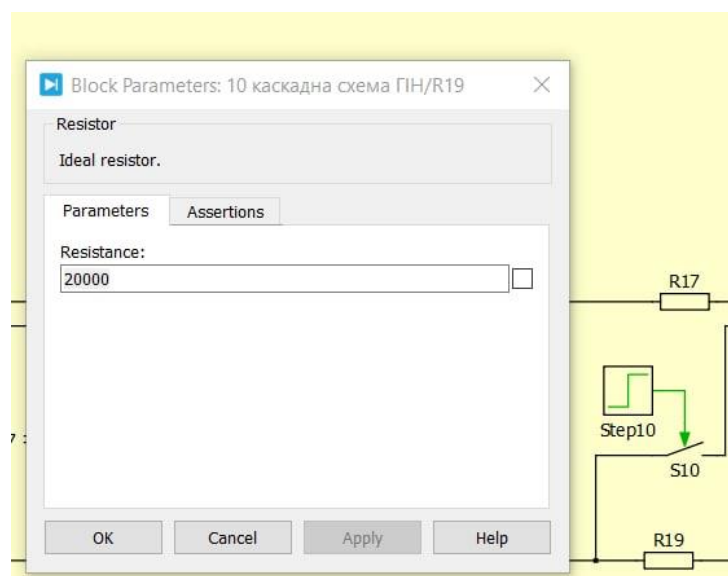


Рисунок 2.3 – Введення опору для зарядного резистора

До основних елементів даної схеми відносяться:

- високовольтний трансформатор;
- схема випрямлення;
- конденсатори;

- резистори;
- іскрові проміжки;
- досліджуваний об'єкт.

Схеми ГІН мають досить різноманітні конструктивні особливості, однак для отримання високої напруги розряду блискавки скористаємось удосконаленою 10-каскадною схемою ГІНу з ємнісними накопичувачами, яка дозволяє враховувати параметри досліджуваного об'єкта рисунок 2.4.

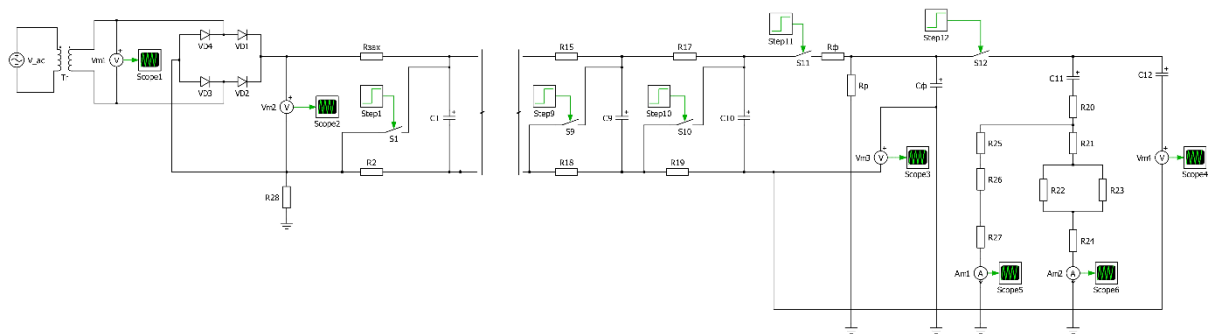


Рисунок 2.4 – Схематичне зображення ГІН

В ГІН використовується відносно повільне накопичення енергії в конденсаторах ввімкнених паралельно від високовольтних випрямлячів (рисунк 2.5). Конденсатори C заряджаються через систему послідовно ввімкнених опорів: один опір $R_{защ}$, який називають захисним, та декілька однакових опорів R_0 ($R_1...R_{19}$), які називають зарядними.

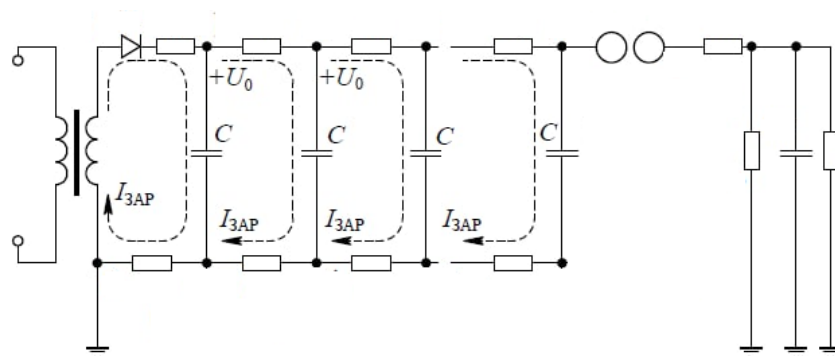


Рисунок 2.5 – Процес накопичення енергії в конденсаторах

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

При розряді конденсатори перемикаються в послідовне з'єднання. Напруга між початком та кінцем цього ланцюга сумується. Перемикання з паралельного на послідовне здійснюється, як правило іскровими проміжками. Ключі $S_1...S_{10}$ спрацьовують, моделюючи розрядні проміжки ГІН (рисунок 2.6).

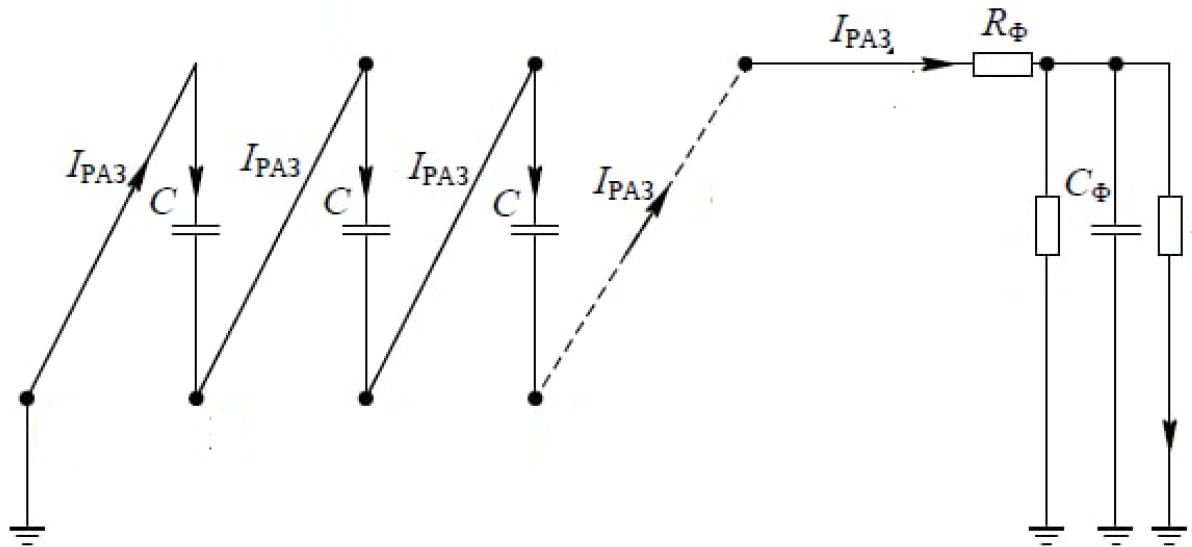


Рисунок 2.6 – Схема розряду генератора імпульсних напруг

Таким чином в роботі ГІН відбувається дві стадії: стадія зарядки конденсаторів та стадія їх розрядження.

В якості стандартної хвилі прийнята хвиля з параметрами:

- тривалість фронту хвилі (t_ϕ) – $1,2 \pm 0,4$ мкс;
- тривалість хвилі (t_g) – 50 ± 10 мкс.

Для отримання фронту хвилі, що відповідає стандарту, необхідно на виході ГІН підключити ємність, яку називають фронтовою C_ϕ .

Тривалість фронту хвилі можна порахувати по формулі:

$$t_\phi = R_\phi \times C_\phi = 1,2 \times 10^{-6}, \quad (2.1)$$

де, R_ϕ -фронтний опір, Ом;

C_ϕ -фронтна ємність, Ф.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для формування хвилі, що відповідає стандарту, необхідно забезпечити спад напруги на 50 % від максимуму за 50 мкс [8]. Цього можна досягти, якщо на виході ГІН підключити опір, який називають розрядним R_p .

Тривалість хвилі можна визначити порахувати по формулі:

$$t_g = C_{екв} \times R_p = 50 \times 10^{-6}, \quad (2.2)$$

де, $C_{екв}$ -еквівалентна ємність, Ф;

R_p -розрядний опір, Ом

Для розрахунку еквівалентної ємності використовуємо формулу:

$$C_{екв} = \frac{C}{n}, \quad (2.3)$$

де, C - ємність конденсатора, Ф;

n -кількість каскадів

Заносимо вхідні данні до табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Параметри схеми ГІН

$R_{зах}$, кОм	R_{1-19} , кОм	C_{1-10} , мкФ	C_ϕ , мкФ	U , кВ
25	20	5	1	110

Розрахунковим шляхом визначимо параметри десятиступінчатої схеми ГІН для імітації грозового імпульсу та занесемо їх до табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Розрахункові параметри схеми ГІН

R_ϕ , Ом	R_p , Ом
1,2	100

В даному дослідженні замість іскрових проміжків, використаємо вимикачі із часом замикання контактів 1 с, імітуючи час потрібний для розвитку розряду блискавки в генераторі імпульсних напруг.

Склавши імітаційну модель розряду блискавки, візьмемо до уваги параметри елементів зовнішнього блискавкозахисту для подальшого розрахунку. Завдяки отриманим параметрам можна розрахувати опір, який буде впливати на струм блискавки що розподіляється між елементами блискавкозахисту та конструкціями будівлі.

В якості блискавкоприймача приймемо алюмінієвий провід діаметром 16 мм та довжиною 3 м.

Для бетонної основи [23], що утримує блискавкоприймач приймемо висоту 0,65 м

Висоту конструкції будинку взято 4 м

В якості доземного провідника приймемо сталевий дріт діаметром 8 мм та довжиною 10 м.

В якості контуру уземлення приймемо полосу сталеву оцинковану $30 \times 3,5$ мм довжиною 10 м.

Умовні позначення елементів системи блискавкозахисту для багатокаскадної ГІН представлені на таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Умовні позначення елементів системи блискавкозахисту

R_{20}	Опір блискавкоприймача
R_{21}	Опір бетонної основи
R_{22}	Опір армованого бетону
R_{23}	Опір конструкції будинку
R_{24}	Опір уземлення будинку
R_{25}	Опір доземного провідника
R_{26}	Опір смуги оцинкованої
R_{27}	Опір контуру уземлення

Для розрахунку опорів компонентів системи блискавкозахисту скористаємось формулою:

$$R = \rho \frac{L}{S}, \quad (2.4)$$

де, ρ - питомий опір провідника, Ом $\times$ мм² / м;

L - довжина провідника, м;

S - площа поперечного перерізу, мм².

Отриманні результати занесемо до табл. 2.4

Для розрахунку, прийнято опір контуру уземлення 10 Ом [24]. Занесемо розрахункові данні до табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Опори компонентів

R_{20} , мкОм	R_{21} , кОм	R_{22} , кОм	R_{23} , МОм	R_{24} , Ом	R_{25} , мОм	R_{26} , мОм	R_{27} , Ом
792	650	400	4	10	39,14	13,047	10

2.2 Синтезування алгоритму експериментальних досліджень блискавкозахисту об'єктів енергетики

Спираючись на імітаційну модель ГН, представимо аналіз даного дослідження у вигляді алгоритму за допомогою елементів блок-схеми. Для побудови алгоритму блок-схеми використано програмне забезпечення Diagrams. net. (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Узагальнений вигляд блок-схеми експериментального дослідження

В цьому алгоритмі, зобразимо процеси в елементах блок-схеми (рисунок 2.8).

На першому етапі даної блок-схеми елемент відображає аналізування об'єкту дослідження та збір вихідних даних, тобто здійснюється аналіз існуючих систем блискавкозахисту та об'єкту дослідження для подальшого використання в імітаційній моделі.

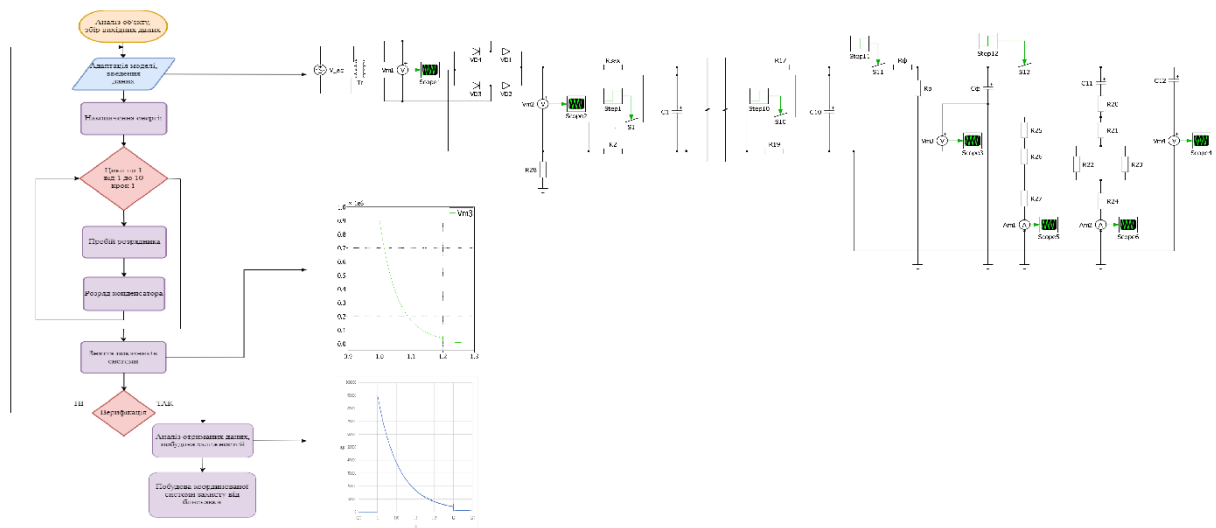


Рисунок 2.8 – Деталізований вигляд блок-схеми експериментального дослідження

Другий етап відображає адаптацію моделі, введення даних, тобто вводяться данні, які були отримані розрахунковим шляхом для складання імітаційної моделі котра буде застосовуватися для моделювання експериментальної установки ГН;

Третій етап відображає накопичення енергії в конденсаторах ввімкнених паралельно, тобто їх зарядження через систему послідовно ввімкнених зарядних опорів.

Четвертий етап відображає розрядження конденсаторів, які під час пробою з'єднані паралельно. Так як в імітаційному моделюванні була використана десятикаскадна схема ГН, то зобразимо відповідний цикл в даній блок-схемі.

Після того як відбувається пробій іскрового проміжку, то напруга на кінці конденсатора сумується на кожному каскаді, внаслідок чого на наступний каскад подається напруга більша, ніж попередня, в результаті відбувається пробій наступного розрядника за яким послідує розряд конденсатора. Даний цикл зупиниться якщо відбудеться розряд останнього конденсатора.

П'ятий етап відображає результати дослідження а саме зняття показників, які

Шостий етап являє собою умову, яка потрібна для того щоб верифікувати отримані показники з нормативним документом ДСТУ. Якщо показники збігаються з регламентованими вимогами, то переходимо до наступного етапу. Якщо не дотримуються умова, то треба переглянути умови другого пункту.

Сьомий етап представляє собою побудову координованої системи захисту від блискавки на основі даних отриманих імітаційним шляхом.

Висновок до розділу

В другому розділі розраховано параметри схеми ГІН, що дозволяють отримати показники блискавки, при її при розряді. Проаналізована форма імпульсу, яка проходить через елементи зовнішньої системи блискавкозахисту.

Зібрано в програмного середовищі PLECS генератор імпульсної напруги, завдяки якому зображено як буде відбуватися розподіл струму під час розряду блискавки.

В програмному середовищі Diagrams. net. створено алгоритм, який показує послідовність дій для розрахунку експериментального дослідження блискавкозахисту.

Побудована система дозволяє отримати результати імітаційного моделювання, завдяки чому досягається створити алгоритм дій для розрахунку досліджу, що в свою чергу свідчить про побудову координованої системи захисту від блискавки.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ВЕРИФІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Результати досліджень

За результатами імітаційного моделювання отримано дані які показують значення показників під час роботи генератора імпульсних напруг під час розряду блискавки. Конвертуємо отримані масив даних в середовище Excel (рисунок 3.1).

	A	B	C
1	Time	Am2	
2	1,2	0,09867	
3	1,2	0,04977	
4	1,2	0,0257	
5	1,2	0,01183	
6	1,2	0,00573	
7	1,2	0,00328	
8	1,2	0,00243	
9	1,2	0,00214	
10	1,2001	0,00199	
11	1,2001	0,00184	
12	1,2001	0,0017	
13	1,2001	0,00157	
14	1,2001	0,00145	
15	1,2001	0,00134	
16	1,2002	0,00126	
17	1,2002	0,00119	
18	1,2002	0,00107	
19	1,2002	0,00098	
20	1,2002	0,00091	
21	1,2002	0,00085	
22	1,2003	0,00083	

Рисунок 3.1 – Фрагмент отриманих показників

На основі отриманих даних будуємо залежності, які дають змогу аналізувати роботу каскадного ГІН в момент розряду блискавки. Залежність струму розряду блискавки від часу з урахуванням опорів бетонних конструкцій зображено на рисунку 3.2.

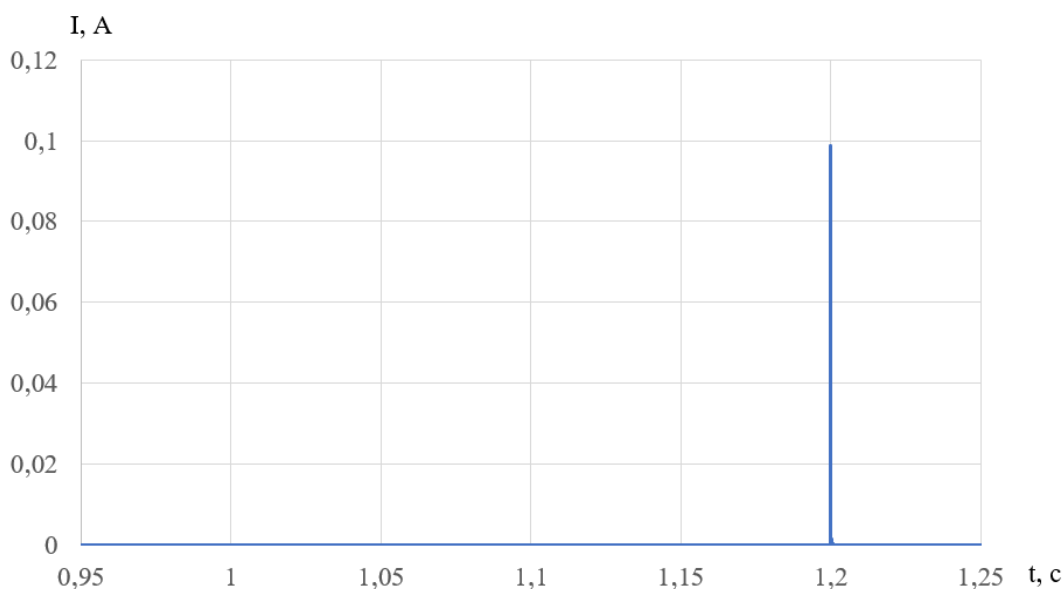


Рисунок 3.2 – Значення струму блискавки, який проходить конструкцією будівлі

Проаналізувавши залежності, можемо сказати що пробій виникає після замикання контактів, які слугують в ролі іскрових проміжків, та досягає пікового значення 0,1 А. Отримано залежність струму розряду блискавки від часу з урахуванням опорів компонентів блискавкозахисту (рисунок 3.3).

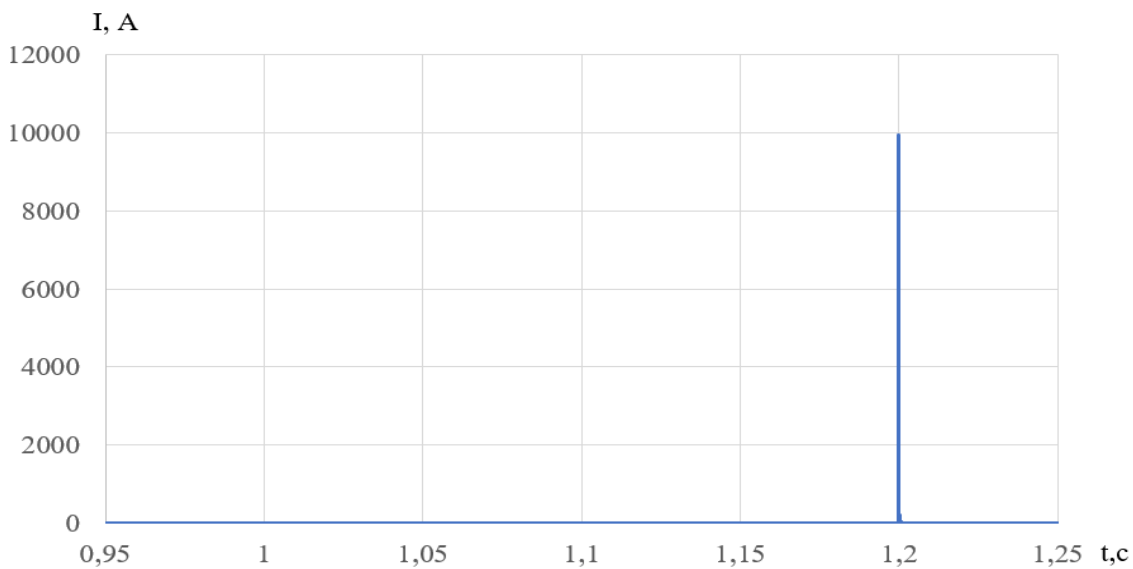


Рисунок 3.3 – Значення струму блискавки, який проходить елементами блискавкозахисту

Струм досягає свого максимального значення в 10 кА в момент замикання контактів.

Отримано пікове значення напруги, яке становить 900 кВ під час послідовного замикання ключів (рисунок 3.4).

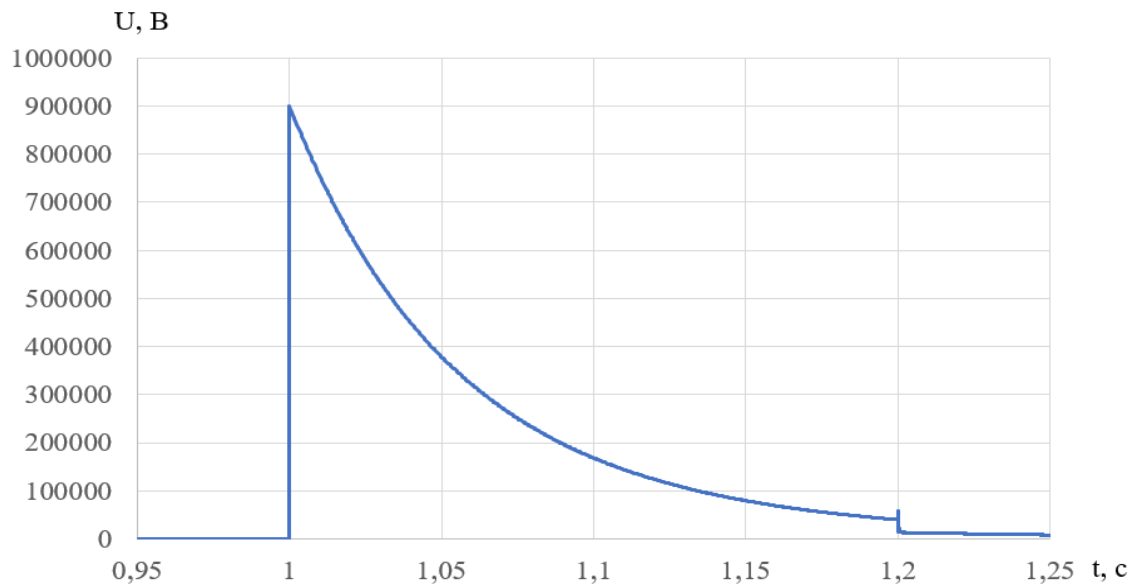


Рисунок 3.4 – Значення напруги на кінці ГІН

Виходячи з результатів залежності отримаємо, що в момент замикання контактів на 1 с, напруга різко підвищується до значення 900 кВ, а потім поступово спадає до 0.

3.2 Верифікація результатів, зрівняння з нормативними вимогами EN IEC 62305

Згідно з нормативним документом IEC 62305 введено чотири рівні захисту, так як для кожного з них встановлено максимальні та мінімальні параметри, які не будуть перевищувати природних параметрів струмів блискавки. Максимальні значення параметрів використовують для розроблення елементів блискавкозахисту а саме:

- поперечний переріз провідників;

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- роздільна відстань для запобігання небезпечному іскрінню;
- максимальний струм пристрою захисту від імпульсних перенапруг.

Так як елементи зовнішнього блискавкозахисту знаходяться під впливом погодних умов то виникає умова появи корозії наслідком якої є втрата фізичних властивостей компонентів. Тому для цих елементів вказані мінімальні геометричні розміри, та поперечні перерізи, що забезпечують надійність використання системи блискавкозахисту. Значення про мінімальні відстані наведено в табл.3.1

Таблиця 3.1 – Мінімальні розміри та поперечні перерізи елементів блискавкозахисту

Матеріал	Форма	Мінімальні розміри		
		Струмовідвід	Блискавкоприймач	Провідник заземлювача
Оцинкована сталь	Круглий	50мм ² (Ø8мм)	176мм ² (Ø15мм)	78мм ² (Ø10мм)
	Плоский	50мм ² (Ø20x2,5мм)	-	90мм ² (Ø30x3мм)
	Тросовий	50мм ²	-	-
	Трубчастий	-	-	-
Мідь	Круглий	50мм ²	176мм ² (Ø15мм)	50мм ² (Ø8мм)
	Плоский	20x2,5мм (50мм ²)	-	50мм ² (20x2,5мм)
	Тросовий	50мм ²	-	50мм ² (Ø8мм)
Нержавіюча сталь	Круглий	Ø8мм (50мм ²)	176мм ² (Ø15мм)	78мм ² (Ø10мм)
	Плоский	20x2,5мм (50мм ²)	-	100мм ² (Ø25x4мм)
	Тросовий	50мм ²	-	-
Алюміній	Круглий	Ø8мм (50мм ²)	176мм ² (Ø15мм)	-
	Тросовий	50мм ²	-	-
Сплав алюмінію	Круглий	Ø8мм (50мм ²)	-	-
	Плоский	20x2,5мм(50мм ²)	176мм ² (Ø15мм)	-
	Тросовий	50мм ²	-	-

Так як в якості провідників використовують різні метали, кожен з яких має свій електрохімічний потенціал, то ігнорування цього фактору може призвести до підвищенні перехідного опору, що в свою чергу призведе до виходу з ладу всієї системи блискавкозахисту, що створює загрозу для життя людей. Дані,

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

щодо з'єднання провідників, що мають різний електрохімічний потенціал наведено в табл 3.2.

Таблиця 3.2 – Сумісність провідників, що мають різний потенціал

Матеріал	Сталь гарячого цинкування	Нержавіюча сталь	Алюміній	Мідь
Сталь гарячого цинкування	+	Н	Н	-
Нержавіюча сталь	Н	+	Н	Н
Алюміній	Н	Н	+	-
Мідь	-	Н	-	+

Знак (+) означає добру сумісність

Знак (Н) означає нейтральну сумісність

Знак (-) означає погану сумісність

Категорично забороняється контактування міді з оцинкованою сталлю або алюмінієм.

Мінімальні значення параметрів струму блискавки використовують для отримання радіуса сфери, що котиться, дані яких занесено до табл. 3.3

Таблиця. 3.3 – Мінімальні параметри блискавки

Критерій перехоплення	Мінімальний піковий струм , кА	Радіус сфери, що котиться, м
I	3	20
II	5	30
III	10	45
IV	15	60

Піковий струм створений за допомогою імітаційної моделі відповідає III рівню блискавкозахисту.

Спираючись на показники, які отримані в програмному середовищі PLECS з використанням впливаючих факторів, одержано напругу 900 кВ, яку отримано на виході ГІН під час його розряду. Ці дані дозволяють нам зрозуміти що під час прямого удару блискавки створена загроза для електричних та електронних систем які знаходяться всередині будівлі, оскільки дана напруга перевищує пробивну напругу ізоляції. Для захисту від вищевказаних перенапруг використовують ПЗП, та систему зрівнювання потенціалу.

Система зрівнювання потенціалів представляє собою навмисне з'єднання всіх струмопровідних частин будинку з головною шиною уземлення з використанням спеціальної шини зрівнювання потенціалів, за допомогою яких під час прямого удару блискавки потенціал всіх елементів приєднаних до цієї шини однаковий [5].

До струмоведучих частин споруд належать:

- металеві конструкції;
- металеві труби внутрішніх комунікацій будинку;
- зовнішні металеві оболонки ліній живлення та зв'язку;

Треба з'єднувати вищевказані лінії в одній точці (рисунок 3.5) якщо це неможливо реалізувати то в якості винятку можна використовувати кільцеве еквіпотенційне з'єднання.

Внаслідок застосування системи зрівнювання потенціалів, не виникає умов для створення електричного пробою і як наслідок небезпечного іскріння в момент удару блискавки так як різниця потенціалів буде дорівнювати нулю на всіх струмопровідних елементах. В якості шини вирівнювання потенціалів використовують колодки, який витримують струм до 100 кА. (рисунок 3.6).

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

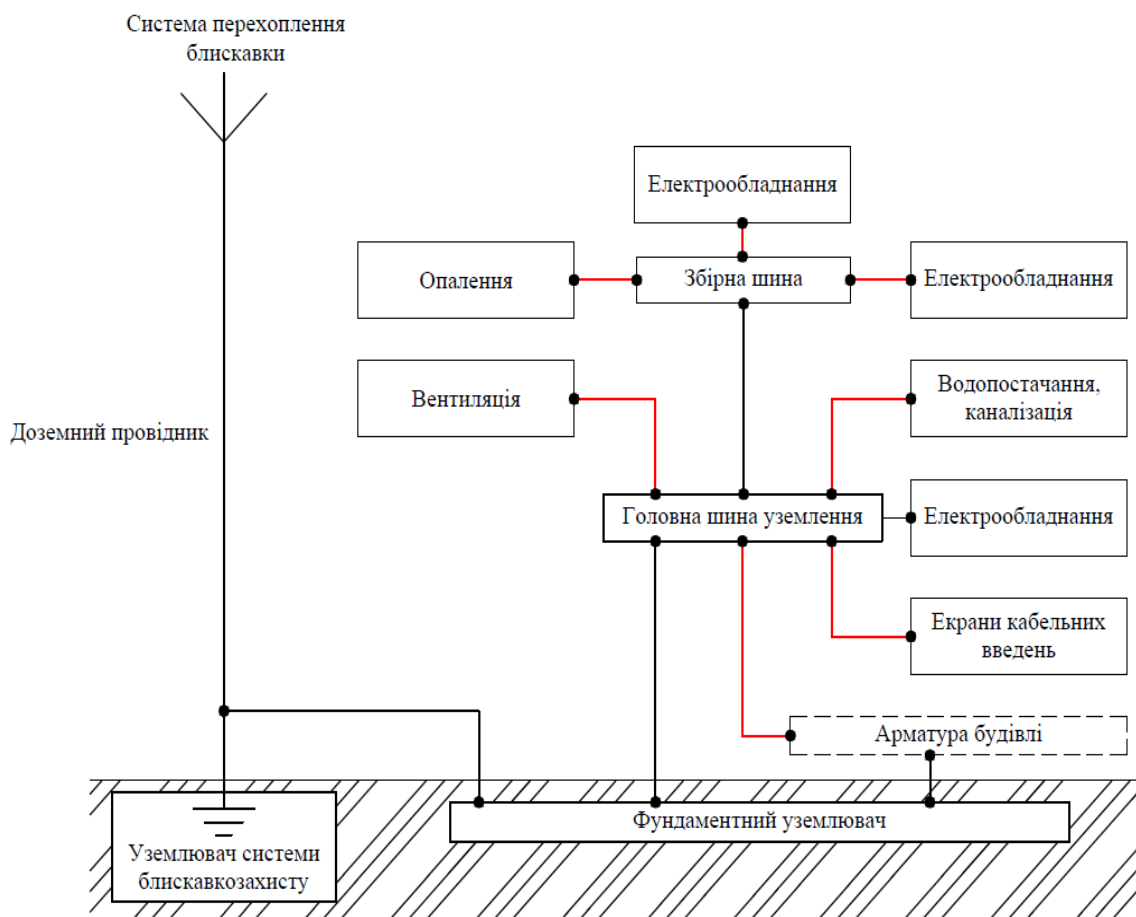


Рисунок 3.5 – Система зрівнювання потенціалів



Рисунок 3.6 – Шина вирівнювання потенціалів

Для обмеження імпульсних напруг до безпечного рівня передбачено використання ПЗІП, який має в своєму складі варистор, та при появі імпульсу спрацьовує, вирівнює напругу до безпечного рівня.

Розділяють три класи ПЗІП за призначенням:

- клас 1-для захисту від імпульсів 10/350 мкс;

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- клас 2- для захисту від імпульсів 8/20 мкс;
- клас 3- захист кінцевого споживача.

Ввімкнення ПЗІП відбувається паралельно, і в нормальному робочому режимі ніяк не впливає на роботу інших пристроїв та компонентів електросистеми. Види імпульсів, від яких захищають ПЗІП (рисунок 3.7). У вигляді суцільної лінії зображено імпульс 10/350 мкс, а у вигляді пунктирної імпульс 8/20мкс.

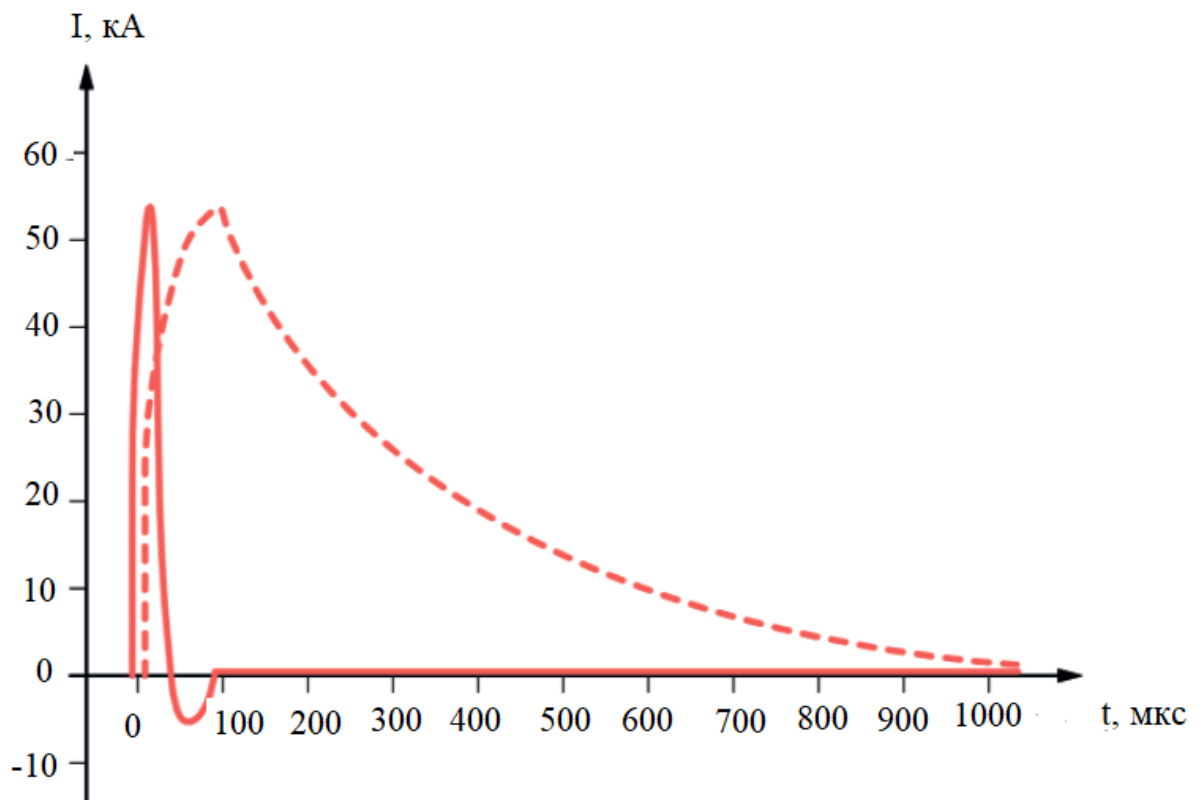


Рисунок 3.7 – Види імпульсних перенапруг

ПЗІП 1 класу призначені для захисту електрообладнання від перенапруги яка виникла внаслідок прямого удару блискавки в систему блискавкозахисту. Основне місце розташування у ввідно-розподільчому пристрої (ВРП) , або в головному розподільчому щиті (ГРЩ).

ПЗІП 2 класу призначені для захисту від комутаційних перенапруг, яка виникає при перехідних процесах. Чутливими до такого виду перенапруг є системи управління, комп'ютерів. Встановлюються в головних і вторинних розподільних щитах.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

ПЗІП 3 класу призначені для захисту окремого споживача від залишкових перенапруг, які виникають між фазним провідником та нейтраллю після спрацювання ПЗІП першого та другого класу.

Висновок до розділу

В третьому розділі знято показники для подальшого аналізу, побудовано залежності для подальшої їх верифікації згідно з нормативним документом. Оскільки данні отримані імітаційним шляхом співпадають зі значеннями параметрів блискавки згідно ІЕС 62305, то наступним кроком згідно з побудованим алгоритмом є побудова координованої системи захисту від блискавки. Удосконалено методологію розрахунку системи блискавкозахисту об'єктів енергетики, яка відрізняється врахуванням параметрів кожного окремого захищуваного об'єкту з забезпеченням координації систем захисту від блискавки.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В першому розділі було розглянуто проблематику та визначено напрямки досліджень. Проаналізовано стан системи блискавкозахисту в енергетиці.

Оцінено негативні наслідки та запропоновано заходи щодо їх мінімізації.

Обрано форму розряду блискавки для подальшого аналізу. Проаналізовано можливості ГІН для створення розряду блискавки.

Розглянуто конструктивні особливості та сфери застосування ГІН.

Розглянуто конструктивні особливості та сфери застосування генератору імпульсних напруг.

В другому розділі розраховано параметри схеми ГІН, що дозволяють отримати показники блискавки, при її розряді. Проаналізована форма імпульсу, яка проходить через елементи зовнішньої системи блискавкозахисту.

Зібрано в програмного середовищі PLECS генератор імпульсної напруги, завдяки якому зображено як буде відбуватися розподіл струму під час розряду блискавки.

В програмному середовищі Diagrams. net. створено алгоритм, який показує послідовність дій для розрахунку експериментального дослідження блискавкозахисту.

Побудована система дозволяє отримати результати імітаційного моделювання, завдяки чому досягається створити алгоритм дій для розрахунку досліду, що в свою чергу свідчить про побудову координованої системи захисту від блискавки.

В третьому розділі знято показники для подальшого аналізу, побудовано залежності для подальшої їх верифікації згідно з нормативним документом. Оскільки данні отримані імітаційним шляхом співпадають зі значеннями параметрів блискавки згідно ІЕС 62305, то наступним кроком згідно з побудованим алгоритмом є побудова координованої системи захисту від блискавки. Удосконалено методологію розрахунку системи блискавкозахисту

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

об'єктів енергетики, яка відрізняється врахуванням параметрів кожного окремого захищуваного об'єкту з забезпеченням координації систем захисту від блискавки.

Запропонована методологія імплементована в технологічні процеси ТОВ «Солар Стальконструкція».

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.Денис О.Т., Жарков В.Є. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування системи блискавкозахисту / О. Т. Денис., В.Є Жарков-ТзОВ "Торговий Дім"Систем Безпеки", 2016
- 2.Данильченко Д. / О. Захист ліній електропередавання з захищеними проводами від прямих ударів блискавки / Д.О. Данильченко – Харків: НТУ «ХПІ», 2018
3. ДСТУ EN 62305-1:2012 «Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи» Видання 2.0 2010-12
4. ДСТУ EN 62305-2:2012 «Захист від блискавки. Частина 2. Порядкування ризиком» Видання ДП «УкрНДНЦ» Київ
5. ДСТУ EN 62305-3:2012 «Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей» Видання 2.0 2010-12
6. ДСТУ EN 62305-4:2012 «Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах»
7. Kulicke, B.: Digitalprogramm NETOMAC zurSimulation elektromechanischer und -magnetischerAusgleichsvorgänge in Drehstromnetzen,Elektrizitätswirtschaft, Heft 1 (1979)
8. Петровський М.В. Техніка високих напруг/ М.В. Петровський-СумДУ,2015.
9. International Standard IEC 71-2: Insulation co-ordination Part 2: Application guide, 1996., pp.18-23
10. CIGRE WG 33.01: Guide to procedures forestimating the lightning performance of transmissionlines, CIGRE Technical Brochure 63 (1991)
11. IEEE Working Group on lightning performance of transmission lines: A simplified method forestimating lightning performance of transmissionlines,IEEE Trans PAS 104 (1985)
12. J. Elovaara, K. Foreman, A. Schei, O. Völcker:Temporary overvoltages and their stresses on metaloxide surge arresters, Electra 128 (1990), pp.114-125.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. The Application and Selection of Lightning Arresters By Larry Pryor, P.E., GE, Sr. Specification Engineer

14. Text book of “Lightning and Lightning Protection System” by Thomas Misciawicz

15. “The Basis of Conventional Lightning Protection Technology” by John M. Tobias, P.E. Chairperson, Federal Interagency Lightning Protection User Group Electronics Engineer Department of the Army, Communications Electronics Command.

16. “Lightning Protection for Gas-Pipelines installed under the Ground” by Hitoshi Kijima, Kenji Takato, Kazuo Murakawa

17. C. B. Moore, W. Rison, J. Mathis, G. Aulich, “Lightning Rod Improvement Studies”, Journal of Applied Meteorology, vol. 39, pp. 593- 609, May 2000.

18. G. Berger, “Determination of the Inception Electric Field of the Lightning Upward Leader”, Proc. 8th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH’93), Japan, vol. 3, pp. 225-228, 1993.

19. S. Grzybowski, C. D. Taylor, B. Rodriguez-Medina, C. Bean, D. Haygood, “Emission Current from Static Dissipator Devices at Switching Impulses”, Proc. VIII International Symposium on Lightning Protection, Brazil, pp. 201-206, 2005.

20. S. Grzybowski, C. D. Taylor, C. Bean, H. Gupta, J. Grasty, “Experimental Study of Emission Current from Lightning Protection Devices under Rain and Wind Conditions,” Proc. IX International Symposium on Lightning Protection, Brazil, pp 244-249, 2007.

21. S. Grzybowski, A. L. Libby, E. B. Jenkins, and C. R. Davis, “DC Dissipation Current from Elements Used for Lightning Protection on 115 kV Transmission Lines,” in Proc. IEEE SoutheastCon’ 91 Conference, VA, USA, pp. 1250-1254, 1991.

22. Посібник користувача в пз PLECS THE SIMULATION PLATFORM FOR POWER ELECTRONIC SYSTEMS/ USER MANUAL від компанії Plexim

23. Лемешев М.С., Березюк О.В. АНТИСТАТИЧНІ ПОКРИТТЯ ІЗ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОГО БЕТОНУ / М.С. Лемешев, О.В. Березюк// Науково-

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічний журнал “Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”
Вінницький національний технічний університет

24. ПРАВИЛА УЛАШТУВАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК/ Відокремлений підрозділ «Науково-проектний центр розвитку Об’єднаної енергетичної системи України» державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго» (НПЦР ОЕС України) // Київ, Міненерговугілля України, 2017.

25. Методичні рекомендації до виконання та порядку захисту магістерських робіт/ уклад.: О.В. Жевжик, І.Ю. Потапчук; Український державний університет науки і технологій.- Д.: Вид-во Український державний університет науки і технологій, 2022.

					02.15.EC2121.MP.2022-ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		