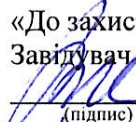


**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ**

«На правах рукопису»
УДК 621.311

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
 Кирик В.В.
(підпис) (ініціали, прізвище)
«12 12 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності **141** Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Спеціалізація – «Електричні системи і мережі»

на тему: Нелінійні обмежувачі перенапруг в розподільних мережах

Виконав: студент 2(6) курсу, групи ЕС-81мп
(шифр групи)

Ковбасюк Олександр Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові (підпис))

Науковий керівник професор, д.т.н. Кирик В. В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант проект підстанції доцент, к.т.н., Казанський С. В.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

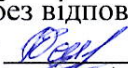
Консультант релейний захист ст. викладач, Хлистов В. М.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Консультант стартап-проект ст. викладач, Бахмачук С. В.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Консультант охорона праці професор, д.т.н. Третьякова Л. Д.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. Бардик Євген Іванович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

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

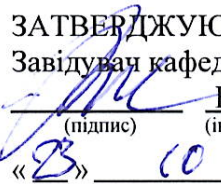
Студент  (підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра електричних мереж та систем

Рівень вищої освіти – магістерський за освітньо-науковою програмою
Спеціальність – **141** Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Спеціалізація – «Електричні системи і мережі»

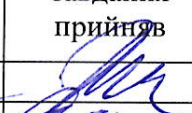
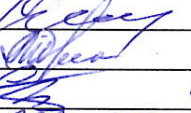
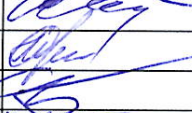
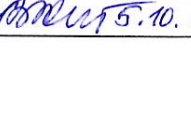
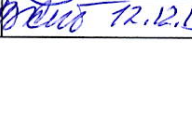
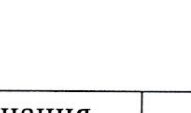
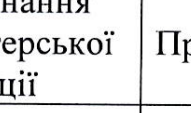
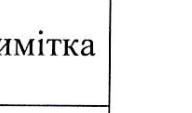
ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
 В.В. Кирик
(підпис) (ініціали, прізвище)
«23» 10 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Ковбасюку Олександрю Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Нелінійні обмежувачі перенапруг в розподільних мережах»,
науковий керівник дисертації зав. каф., д.т.н., проф. Кирик В.В.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом по університету від «15» листопада 2019 р. №3923-с
2. Строк подання студентом дисертації «11» грудня 2019 р.
3. Об'єкт дослідження: повітряні лінії електропередавання номінальною напругою 10 кВ.
4. Предмет дослідження: перехідні процеси в повітряних лініях електропередавання внаслідок впливу грозових перенапруг.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Захист розподільної мережі від зовнішніх перенапруг. 2. Проект електричної частини підстанції 110 кВ. 3. Релейний захист трансформатора. 4. Розробка стартап-проекту. 5. Охорона праці при монтажі засобів ОПН
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1. План підстанції 110/35/10 кВ 2. Головна схема електричних підстанції 110/35/10 кВ. 3. Розрізи та специфікація обладнання підстанції 4. Релейний захист трансформатора. 5. Імітаційна математична модель електричної мережі номінальною напругою 10 кВ. 6. Аналіз наведеної напруги на моделі при розряді блискавки в землю на відстані 25 м від ПЛ 10 кВ. 7. Аналіз наведеної напруги при різній віддаленості розряду блискавки від лінії (частина 1). 8. Аналіз наведеної напруги при різній віддаленості розряду блискавки від лінії (частина 2).

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1. Ковбасюк О.С. Захист розподільчих мереж від імпульсних перенапруг// Научная индустрия европейского континента.–2019.– №10.
2. Ковбасюк О.С. Кирик В.В. Наведена грозова перенапряга в розподільних мережах// «dynamics of the development of world science» - 2019 №1 (прийнята на публікацію)

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	зав. каф., д.т.н., проф.. Кирик В.В.		
Електрична частина	Казанський С.В. к.т.н.		
Охорона праці	Третьякова Л. Д., д-р техн. наук, проф.		
Економічна частина	Бахмачук С.В., ст. виклад.		
Релейний захист	Хлистов В.М ст. викл.		

9. Дата видачі завдання «23» грудня 2019р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Захист розподільної мережі від зовнішніх перенапруг	01.11.2019-15.11.2019	
2	Головна схема електричних підстанції 110/35/10 кВ	16.11.2019-20.11.2019	
3	Релейний захист трансформатора	21.11.2019-25.11.2019	
4	Розробка стартап-проекту	26.11.2019-30.11.2019	
5	Охорона праці при монтажі засобів ОПН	01.12.2019-05.12.2019	
7	Оформлення отриманих результатів.	06.12.2019-08.12.2019	
8	Оформлення технічних креслень.	09.12.2019-11.12.2019	

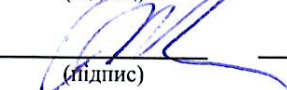
Студент


(підпис)

Ковбасюк О.С.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації


(підпис)

Кирик В.В.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка виконана на 127 сторінках формату А4, яка включає в себе 52 рисунків, 40 таблиць, 34 джерел використаної літератури. Графічна частина містить 8 аркушів технічних креслень форматом А1.

В дисертації розглянуто процес формування грозових перенапруг, їх вплив на повітряні лінії електропередавання, а також засоби підвищення грозостійкості електричних мереж. Проведено моделювання варіантів встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги на повітряних лініях електропередавання номінальною напругою 10 кВ при різних випадках розряду блискавки. Сформовано рекомендації щодо вибору оптимальних місць встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги для забезпечення захисту електричних мереж від грозових перенапруг.

Актуальність теми. Для повітряних ліній електропередавання є характерним вплив грозових перенапруг, що в більшості випадків призводять до пошкодження електротехнічного обладнання та переривання постачання електроенергії споживачам. В останні часи все більш широкого застосування набувають нелінійні обмежувачі перенапруги як засоби захисту електричних мереж від грозових перенапруг. Більшість нормативних документів рекомендують для забезпечення необхідного рівня грозозахисту встановлювати обмежувачі перенапруги на кожній опорі, що викликає певні ускладнення і не завжди може бути реалізоване на практиці. В зв'язку з цим, виникає необхідність в розробленні рекомендацій щодо визначення оптимальних місць для встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги, що дозволить обмежити перенапругу до допустимих рівнів та зменшити витрати на їх застосування.

Метою магістерської дисертації є визначення доцільності встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги для захисту повітряних ліній електропередавання від впливу грозових перенапруг в електричних мережах 10кВ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

- визначення основних характеристик ОПН;
- аналіз існуючих способів встановлення ОПН для захисту повітряних ліній;
- складання в середовищі MATLAB моделі електричних мереж 10 кВ;
- проведення моделювання різних варіантів встановлення ОПН;
- аналіз результатів та розроблення рекомендацій по встановленню ОПН.

Об’єкт дослідження: повітряні лінії електропередавання номінальною напругою 10 кВ.

Предмет дослідження: перехідні процеси в повітряних лініях електропередавання внаслідок впливу грозових перенапруг.

Методи дослідження. В основу роботи покладено імітаційне математичне моделювання процесів виникнення грозових перенапруг в повітряних лініях електропередавання номінальною напругою 10 кВ. Обробка результатів дослідження виконувалася з використанням сучасного прикладного програмного забезпечення: MathCAD та середовища SimPowerSystem пакету програм MATLAB.

Наукова новизна результатів полягає в розроблені імітаційних математичних моделей електричних мереж номінальною напругою 10 кВ для визначення оптимальних місць встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги.

Публікації за тематикою досліджень:

1. Ковбасюк О.С. Захист розподільчих мереж від імпульсних перенапруг// Научная индустрия европейского континенту. – 2019. – №10.
2. Ковбасюк О.С. Кирик В.В. Наведена грозова перенапруга в розподільних мережах// «dynamics of the development of world science» - 2019 №1 (прийнята на публікацію)

НЕЛІНІЙНИЙ ОБМЕЖУВАЧ ПЕРЕНАПРУГИ, ГРОЗОВІ ПЕРЕНАПРУГИ, БЛИСКАВКОЗАХИСТ, НАВЕДЕНА НАПРУГА, ГРОЗОВИЙ ІМПУЛЬС СТРУМУ.

ABSTRACT

Master's thesis consists of an explanatory note and graphical part. The explanatory note is made up of 127 pages of A4 format; it includes 52 figures, 40 tables, 34 references. The graphical part contains 8 sheets of A1 format technical drawings.

In the thesis the process of formation of lightning overvoltages, their influence on overhead transmission line, as well as means for increasing the lightning resistance of electric networks is considered. Modeling of variants of installation of surge arresters on 35 and 110 kV overhead transmission lines for different cases of lightning discharge is carried out. Recommendations on the selection of the optimal sites for installation surge arresters to protect electrical networks from the lightning overvoltages are formulated.

Relevance of the topic. For overhead transmission lines is a characteristic influence of lightning overvoltages, which in most cases lead to damage of electrical equipment and interruption of electricity supply to consumers. Recently, increasingly widespread uses are acquired surge arresters as a means of protecting electrical networks from the lightning overvoltages. Most regulatory documents recommend setting up surge arresters on each tower to provide the necessary level of lightning protection, which causes certain difficulties and can't always be realized in practice. In this connection, it is necessary to develop recommendations for determining the optimal places for the installation of surge arresters, which will allow limiting the overvoltage to the permissible level and reducing the cost of their use.

The purpose of the master's thesis is to develop recommendation for determining the optimal locations for the installation of surge arresters to protect overhead transmission lines from the effect of lightning overvoltages.

To achieve purpose, it is necessary to solve the following **tasks**:

- definition of the main characteristics of the surge arresters;

- analysis of existing methods for installing surge arresters for the protection of overhead transmission lines;
- compilation of a model 10 kV electric networks in MATLAB environments;
- simulation of different variants of setting of surge arresters;
- analysis of results and development of recommendations for the installation of surge arresters.

Object of the study: 10 kV overhead transmission lines.

Subject of the study: transient processes in overhead transmission lines due to the influence of lightning overvoltages.

Methods of research. The work is based on mathematical simulation of lightning overvoltage in 10 kV overhead transmission lines. The processing of the results of the research was carried out using modern applied software: MathCAD and environment SimPowerSystems of the MATLAB software package.

The scientific novelty of the results consists in the development of simulation mathematical models of 10 kV electric networks for determining the optimal locations for the installation of surge arresters.

Publication on research topic: Kovbasiuk, O. S. Protection of the branch circuits from the impulsive overvoltages. / The scientific industry of the European Continent. - 2019. - #10.

2. Kovbasiuk, S.O., Kyryk V.V. Induced lightening impulsive overvoltage // "Dynamics of the development of the world science" - 2019, #1 (taken on publication)

SURGE ARRESTER, LIGHTNING OVERVOLTAGE, LIGHTNING PROTECTION, INDUCED VOLTAGE, LIGHTNING IMPULSE CURRENT.

1 НЕЛІНАЙНІ ОБМЕЖУВАЧІ ПЕРЕНАПРУГ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

1.1 Формування іскрового розряду блискавки

Грозові хмари утворюються в результаті висхідних потоків теплого вологого повітря. Такі потоки є наслідком двох різних природних явищ. Теплові грози виникають при нерівномірному нагріванні повітря біля поверхні землі відповідно до рельєфу місцевості.

Грозову хмару, заряджене негативно, і земля, на поверхні якої створюються позитивні заряди, утворюють гігантський конденсатор, причому напруженість електричного поля у землі E може досягати 300 В / см , а у хмари 10 кВ / см , середня ж напруженість рідко перевищує 10 кВ / м . Однак в окремих місцях хмари і на гострих високих спорудах напруженість поля може досягати критичної, рівної $25 \dots 30 \text{ кВ / см}$, що створює умови для розвитку грозового розряду.

Відповідно до розподілу зарядів в хмарі найчастіше між хмарою і землею виникають розряди негативної полярності ($60 \dots 90\%$) у формі лінійчатої блискавки. Бувають інші форми блискавок, безпечні для електроустановок: кульова у вигляді кулі, що світиться і тихі розряди зі слабким світінням.

Предрозрядний процес зазвичай починається з впровадження лавини електронів - стримера від хмари до землі, тому що найбільша напруженість поля знаходиться в невеликому обсязі зарядів хмари, що представляє як би вістря електрода по відношенню до землі - плоскому електроду. Якщо є високі об'єкти і низька грозова хмара, вістрям стає об'єкт і розвиток розряду відбувається з об'єкта на хмару. При розвитку розряду з хмари, розташованого високо, на звичайні об'єкти напрямок стримера випадкове. Лише з певної висоти H , що дорівнює 20-кратній висоті об'єкта або громовідводу стример, починає орієнтуватися або обирати певний об'єкт. При висоті об'єкта більше 30 м висота орієнтування стримера $H = 600 \text{ м}$.

Тепловий вплив, незважаючи на дуже велику силу струму, не так велике через його короткочасність.

Механічний вплив проявляється в розколи і руйнування кам'яних і цегляних споруд, розщепленні і розкол дерев'яних опор і траверс внаслідок акустичного удару при розширенні каналу блискавки, дії електростатичних сил і випаровування вологи. Найбільші зусилля виникають при проходженні струму блискавки по вузьких щілинах і тріщинах.

Електромагнітний вплив особливо небезпечно, тому що в місці удару блискавки на об'єкті виникає потенціал в мільйони вольт, внаслідок чого з об'єкта на добре заземлені конструкції відбуваються вторинні розряди. Такі розряди всередині будівель небезпечні для життя людей і тварин, що опинилися на шляху розряду: між внутрішньою проводкою і добре заземленими конструкціями, водопровідними трубами і т. П.

Поблизу входу струму блискавки в землю на її поверхні з'являється такий же високий потенціал, як на об'єкті розряду: дереві, опорі, будівлі та споруді. Цей потенціал на поверхні землі різко знижується при видаленні від входу струму блискавки в землю і з'являється небезпека ураження людей і тварин кроковою напругою через різницю потенціалів між двома точками на поверхні землі. Особливо велика небезпека виникає при прямому ударі блискавки в дроти повітряних ліній електропередачі, зв'язку, радіо, якщо вони не мають відповідного захисту або цей захист є незадовільною. Під впливом високої напруги пошкоджується ізоляція обладнання і виникають аварії в електроустановках, а проникнення хвилі перенапруги по дротах повітряних ліній в житлові, виробничі будівлі викликає ураження людей, тварин і пожежі.

Такі ж наслідки викликають перенапруження, що виникають в повітряних лініях при прямих ударах блискавки поблизу них внаслідок електростатичного та електромагнітної індукції.

Набігаючі хвилі перенапруги. При русі грозової хмари на проводах ліній накопичуються заряди великої щільності поблизу формується розряду, який може знаходитися від лінії на відстані сотень метрів. У момент головного розряду заряди

на проводах втрачають з ним зв'язок і у вигляді електромагнітних хвиль поширюються в різні боки, де потенціал нижче. Струм в лінії визначається напругою в місці початку руху електромагнітної хвилі і хвильовим опором лінії. Завдяки наявності активного опору проводів, а також внаслідок коронування, амплітуда хвилі перенапруги зі збільшенням довжини пробігу зменшується і фронт її стає більш пологим. Однак середнє значення напруги хвилі дорівнює 200 кВ. Ізоляція трансформаторів і інших апаратів, а також кабелів напругою 10 ... 35 кВ не може витримати такого перенапруги, тому для захисту їх ізоляції встановлюють вентильні розрядники. При впливі хвилі перенапруги на лінійну ізоляцію ВЛ 6 ... 35 кВ відбувається розряд по її поверхні - перекриття, але потім електрична міцність ізоляторів відновлюється.

Висока вартість електрообладнання не дозволяє проектувати його з ізоляцією, яка витримала б будь-які перенапруги. За своєю природою ця небезпека не може бути усунута повністю, але її можна зменшити. З цієї причини, підхід до вирішення проблеми полягає в тому, щоб вбудувати захисні пристрої в мережу. Цей метод виявився найбільш рентабельним і надійним. Метод застосовується в мережах високого, середньої напруги, а також в мережах напругою до 1 кВ.

Величина перенапруги зазвичай визначається в умовних одиницях «Р.І.». Ця одиниця визначається як

$$1_{p.u} = \sqrt{2} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{3}}$$

де U_m - максимальне чинне значення лінійної напруги при нормальному режимі роботи мережі. Фактична напруга мережі зазвичай менше, ніж U_m .

Результати спостережень за грозовий діяльністю, як правило, представляються у вигляді наступних характеристик:

- грозові години (T_h);
- щільність розрядів блискавок на 1 кв. км земної поверхні протягом року (N_q);
- інтенсивність грози.

- Грозочаси в Україні становлять:
- 40-60 у Криму;
- 60-80 у центрі, на півночі і півдні;
- 80-100 на сході і заході;
- понад 100 в окремих регіонах Карпат і так званих зонах місцевих гроз (промислові райони, Київ та ін.).

Орієнтовно зв'язок між грозогодинами Th і щільністю розрядів Nq (розряди в землю) для умов України може бути встановлено виходячи з припущення, що на кожен грозовий день доводиться від 1,5 до 2,0 грозогодин. Зауважимо, що високе значення, яке фігурує при визначенні класу блискавкозахисту згідно з німецьким стандартом DIN V ENV 61024-1, становить лише $Nq = 4,5$ ударів / кв. км на рік. В Україні інтенсивність гроз не є меншою, а в окремих регіонах є й помітно більше, ніж у країнах Центральної і Північної Європи, де питанням блискавкозахисту приділяють значно більше уваги, ніж у нас

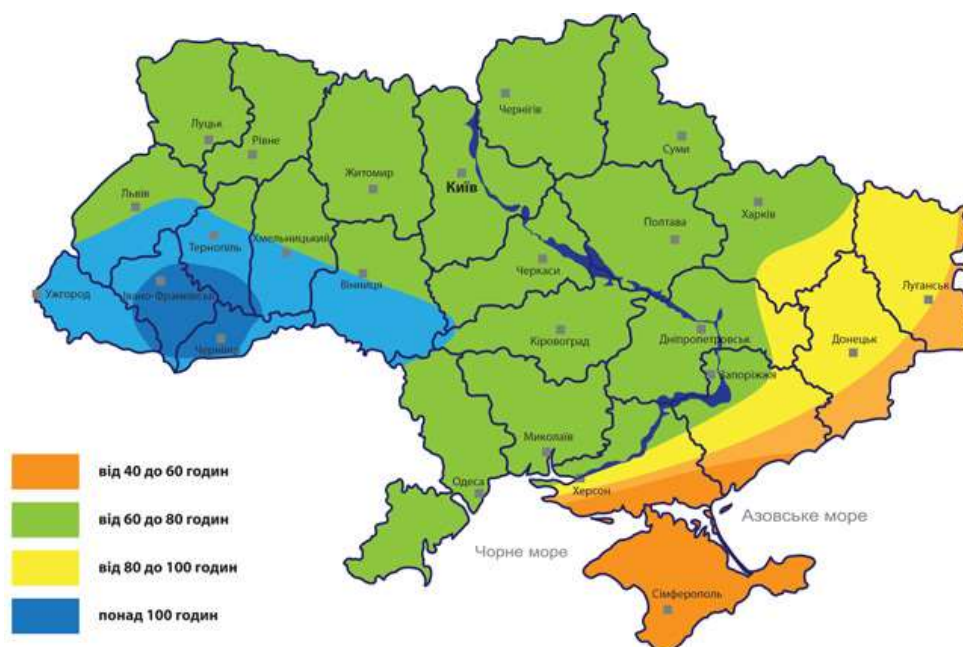


Рисунок. 1.1 – Карта середньої тривалості гроз на рік в годинах для території України.

1.2 Довго-іскрові розрядники - особливий клас грозозахисних пристроїв

Принцип дії всіх видів РДІ полягає в обмеженні грозових перенапруг на ПЛ за рахунок іскрового перекриття, по поверхні ізоляційного тіла розрядника, з довжиною каналу розряду, яка кілька разів перевищує будівельну висоту захищається ізоляції, і гасінні супроводжуваних струмів промислової частоти за рахунок забезпеченого таким чином зниження величини середнього градієнта робочої напруги вздовж каналу грозового перекриття.

Головною перевагою класу довго-іскрових розрядників є їх неохильність руйнувань і пошкоджень грозовими і дуговими струмами, оскільки вони протікають повз апаратів, по повітрю уздовж їх поверхні.

Це унікальне для грозозахисних апаратів якість поряд з конструктивною простотою зумовило можливість їх успішного застосування в якості ефективного і надійного засобу захисту повітряних ліній і електричних мереж від грозових перенапруг і їх наслідків.

Технічні характеристики петлевого розрядника РДП-10-4-УХЛ1.

Розрядник призначений для захисту повітряних ліній електропередачі напругою 6, 10 кВ трифазного змінного струму з захищеними і неізольованими проводами від індуктироваться грозових перенапруг і їх наслідків і розрахований для роботи на відкритому повітрі при температурі навколишнього повітря від мінус 60 ° С до плюс 50 ° С протягом 30-ти років.

Конструктивний ескіз, який показує загальний вигляд і основні складові частини розрядника наведено на рис.1.2а. Розрядник складається з зігнутого у вигляді петлі металевий стержня, покритого шаром ізоляції з поліетилену високого тиску. Кінці ізольованою петлі закріплені в затиску кріплення, за допомогою якого розрядник приєднується до штиря ізолятора на опорі ПЛ. У середній частині петлі поверх ізоляції розташована металева трубка. На дроті ПЛ, навпроти металевий трубки розрядника, закріплюється універсальний затиск для створення необхідного повітряного іскровий проміжку S.

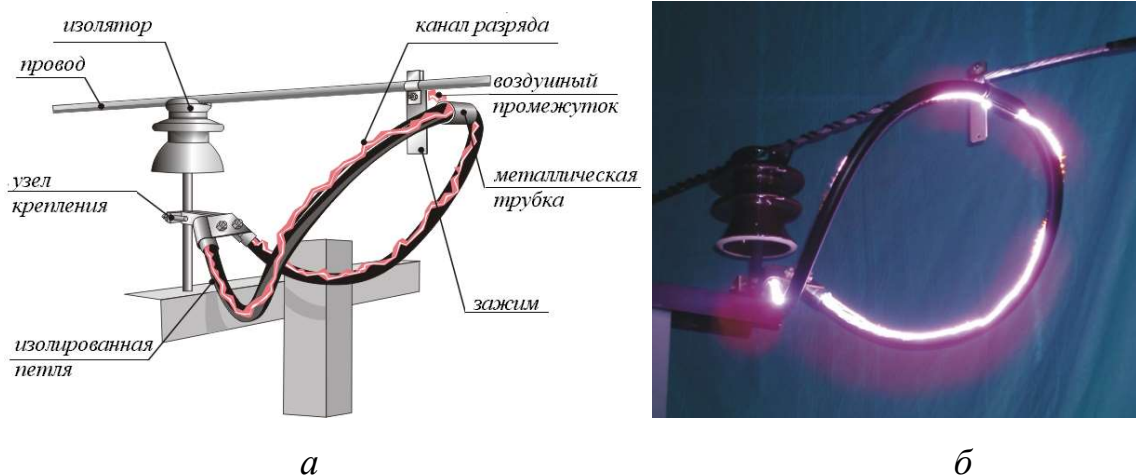


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд петлевого розрядника на опорі ПЛ: а – конструктивний ескіз; б – фотографія випробувань на макеті.

Закріплення ізольованою петлі розрядника на ПЛ виконується за допомогою затиску кріплення. Затиск кріплення виготовлений зі сталі, покритої захисним шаром цинку, і має конструкцію, що забезпечує надійне кріплення розрядника до елементів арматури ПЛ. Конструкція затиску кріплення розрядника може бути змінена і мати форму, адаптовану під конкретні умови кріплення розрядника на опорі ПЛ.

Універсальний затискач для проводу виготовлений зі сталі, покритої захисним шаром цинку. Конструкція затиску дозволяє встановлювати його як на неізолюванні, так і на захищені дроти, затиск для яких має прокушувач шипи.

Принцип роботи розрядника заснований на використанні ефекту ковзаючого розряду, який забезпечує велику довжину імпульсного перекриття по поверхні розрядника, і запобігання за рахунок цього переходу імпульсного перекриття в силову дугу струму промислової частоти.

При виникненні на дроті ПЛ індукційного грозового імпульсу іскровий повітряний проміжок S між проводом ПЛ і металевою трубкою розрядника пробивається, і напруга прикладається до ізоляції між металевою трубкою і металевим стрижнем петлі, які мають потенціал опори.

Під впливом прикладеного імпульсного напруги вздовж поверхні ізоляції петлі від металевої трубки до затиску кріплення розрядника (по одному, або по обох плечах петлі) розвивається ковзний розряд. Внаслідок ефекту ковзаючого розряду вольт-

секундна характеристика розрядника розташована нижче, ніж вольт-секундна характеристика ізолятора, тобто при впливі грозового перенапруження розрядник перекривається, а ізолятор немає.

Після проходження імпульсного струму блискавки розряд гасне, не переходячи в силову дугу, що запобігає виникненню короткого замикання, пошкодження проводу і відключення ПЛ.

На рис.1.2 б представлений момент спрацьовування розрядника при впливі грозового імпульсу перенапруги під час лабораторних випробувань на повномасштабній моделі траверси ПЛ 10 кВ.

Найбільша напруга при стандартній формі імпульсу 1,2 / 50 мкс, при якому забезпечується захист розрядником ізолятора, називається «напругою координації».

Розрядник призначений для захисту ПЛ 6, 10 кВ від індукційних грозових перенапруг, які, як уже зазначалося, становлять більшість від загального числа грозових перенапруг, здатних призводити до перекриття ізоляції.

Відомо, що величина індукційних перенапруг не перевищує значення 300 кВ, і це дозволяє при правильній організації грозозахисту виключити можливість одночасного перекриття двох або трьох фаз на одній опорі і, відповідно, міжфазних КЗ. Для цього необхідно встановлювати по одному розрядники на опору з чергуванням фаз, наприклад, на першій опорі розрядник встановлюється на фазу А, на другий - на фазу В, на третій - на фазу С і т.д.

При такій системі установки індуковане на лінії грозове перенапруження призводить до перекриття розрядників на різних фазах сусідніх опор і утворення контуру міжфазного замикання супроводжуючого струму напруги промислової частоти, в який включені спрацювали розрядники та опору заземлення опор R_z , що обмежують цей струм на рівні кількох сотень ампер, сприяючи його гасіння та запобігання відключення ПЛ.

Розрядні характеристики РДП-10 забезпечують те, що жоден з ізоляторів всіх трьох фаз в даній схемі не перекривається, оскільки кожен з них захищений розрядником, встановленим електрично паралельно йому і розташованим або безпосередньо поруч з ізолятором, або на сусідній опорі.

При рівнях індукційних перенапруг, близьких до імпульсної напруги спрацьовування розрядника, можливе перекриття розрядника лише на одній опорі, що приводить до однофазного замикання на землю. Струм замикання при цьому не перевищує 10-20 А, і петлевий розрядник із загальною довжиною перекриття 80 см гарантовано виключає виникнення силовий дуги.

На основі вищенаведених засобів захисту з'явився новий клас - обмежувачі перенапруги нелінійні, що володіють безліччю достоїнств і задовольняють сучасним вимогам.

1.3 Обмежувачі перенапруг нелінійні

Обмежувачі перенапруг нелінійні (ОПН) призначені для використання в якості основних засобів захисту електрообладнання станцій і мереж від комутаційних і атмосферних перенапруг на класи напруг від 0,38 до 110 кВ для мереж змінного струму і на напругу від 3,3 до 27,5 кВ для рухомого складу і систем електропостачання енергооб'єктів, промислової частоти 48-62 Гц

При їх розробці були використані останні технологічні досягнення і досвід експлуатації ОПН у вітчизняній і зарубіжній практиці. Обмежувачі рекомендується застосовувати замість вентильних розрядників відповідних класів напруги при проектуванні, експлуатації, технічному переозброєнні і реконструкції електроустановок.

ОПН-КР призначені для надійного захисту електрообладнання в мережах класу напруги 6-10 кВ з ізольованою або резонансно заземленою нейтраллю. Рекомендуються для використання в розподільних мережах для захисту трансформаторів і двигунів. Виготовляються для внутрішньої установки (УХЛ2 по ГОСТ 15150) і призначені для експлуатації на висоті над рівнем моря до 1000 м при температурі навколишнього середовища від мінус 60 ° С до плюс 55 ° С і вологості навколишнього середовища:

- середньорічне значення 80% при 15 ° С;
- верхнє значення 100% при 25 ° С.

ОПН-РТ призначені для гарантованого захисту найбільш відповідального електроустаткування в мережах класу напруги 3-10 кВ з ізолюваною або резонансно заземленою нейтраллю.

Типи ОПН-РТ рекомендується застосовувати в умовах частих і інтенсивних впливів перенапруг для захисту трансформаторів електродугових печей, ізоляції кабельних мереж, електричних генераторів, двигунів і т.п. Призначені для експлуатації на висоті над рівнем моря до 1000 м при температурі навколишнього середовища від мінус 60 ° С до плюс 55 ° С для внутрішньої установки (УХЛ2 по ГОСТ 15150). Вологість навколишнього середовища в експлуатації:

- середньорічне значення 80% при 15 ° С;
- верхнє значення 100% при 25 ° С.

ОПН - 35,110, призначені для захисту електрообладнання підстанцій та повітряних ліній електропередачі від грозових і комутаційних перенапруг в мережах класу напруги 35 кВ з ізолюваною або компенсованою нейтраллю і 110 кВ з ефективно заземленою нейтраллю. Призначені для експлуатації на висоті над рівнем моря до 1000 м при температурі навколишнього середовища від мінус 60 ° С до плюс 55 ° С в умовах зовнішньої установки (УХЛ1 по ГОСТ 15150). Вологість навколишнього середовища в експлуатації:

- середньорічне значення 80% при 15 ° С;
- верхнє значення 100% при 25 ° С.

ОПН - 6, 10 призначені для захисту електрообладнання розподільних пристроїв і апаратів від грозових і комутаційних перенапруг в повітряних мережах класу напруги 6-10 кВ з ізолюваною або резонансно заземленою нейтраллю. Обмежувачі можуть бути використані всюди, де раніше передбачалося застосування вентильних розрядників РВО. Призначені для експлуатації на висоті над рівнем моря до 1000 м при температурі навколишнього середовища від мінус 60 ° С до плюс 55 ° С в умовах зовнішньої установки (УХЛ1 по ГОСТ 15150). Вологість навколишнього середовища в експлуатації:

- середньорічне значення 80% при 15 ° С;
- верхнє значення 100% при 25 ° С.

Поряд з відомими перевагами металооксидних обмежувачів перенапруг, таких, як відсутність супроводжуючого струму після загасання хвилі перенапруги, Ви постійно з'єднані з мережі, що захищається, здатність поглинати великі енергії, тощо. ОПН мають додатковим набором привабливих характеристик завдяки застосуванню металооксидних резисторів з незмінними характеристиками в поєднанні із застосуванням унікальної технології складання в полімерний корпус:

- не потребує обслуговування протягом усього терміну служби;
- необмежений комутаційний ресурс;
- глибокий рівень обмеження перенапруг;
- широкий номенклатурний ряд робочих напруг;
- стабільність нестаріючих характеристик;
- вибухобезпечність і сейсмостійкість;
- висока надійність в експлуатації;
- стійкість до атмосферних забруднень;
- зручність вбудовування в розподільчі пристрої;

При експлуатації ОПН не потрібно застосування лічильника спрацьовування, в наслідок необмеженого комутаційного ресурсу.

Зовнішній вигляд обмежувачів перенапруг усіх типів серії TEL представлений на ілюстрації нижче.

Обмежувачі перенапруг виготовляються з порцелянової і полімерної зовнішньої ізоляцією. ОПН з порцелянової ізоляцією є високовольтний апарат в порцеляновій покришці на основі оксидно-цинкових високонелінейних варисторів, без іскрових проміжків. ОПН з полімерною ізоляцією виконані у вигляді одиничного нелінійного варистора, обпресувано в оболонку з полімерного матеріалу.

Застосування полімерів для виробництва зовнішньої ізоляції ОПН дозволило розробити обмежувачі, здатні експлуатуватися як в районах з високою забрудненістю, так і в сейсмонебезпечних районах і в умовах сильної вібрації і частих ударів. Полімерні корпусу забезпечують вибухобезпечність ОПН, оскільки при підвищенні тиску всередині корпусу розкриваються отвори в склопластикової

трубі, заповнені гумовим покриттям, і відбувається зниження тиску. Розлітаються тільки гумові пробки, не викликаючи яких-небудь пошкоджень.

Обмежувачі в полімерних корпусах менше пошкоджуються при транспортуванні, зберіганні і монтажі. Обмежувачі серії ОПН 6 + 110 кВ виготовляються двох типів: опорному і підвісному. Залежно від типу виконання виконується і комплектація апаратів фланцями відповідної конструкції. Що не має аналогів у вітчизняній та світовій практиці метод безшовного пресування кремнійорганічних гум гарячої вулканізації дозволяє формувати надійне захисне покриття з кремнійорганічної гуми з будь-якої необхідної на практиці розвиненістю зовнішньої поверхні (довжиною шляху витoku). Одночасно заповнення внутрішньої порожнини компаундом, що володіє високою адгезією, і з склопластиком і з керамікою, підвищує номінальний розрядний струм і пропускну здатність ОПН при грозових імпульсах струму.

1.4 Конструкція ОПН

Обмежувачі представляють собою високовольтні апарати, що складаються з послідовно з'єднаних металооксидних резисторів, що мають нелінійну вольтамперних характеристику і розміщених всередині ізоляційного корпусу. Високонелінійная вольтамперная характеристика резисторів дозволяє забезпечити безперервне і безпечне перебування ОПН під напругою, забезпечуючи при цьому глибокий рівень захисту електрообладнання при виникненні перенапруги.

При виготовленні ОПН використовуються нелінійні металооксидних резистори з незмінними характеристиками кращих світових виробників. Власна технологія збірки нелінійних резисторів в діелектричний полімерний корпус унікальна і аналогів в світовій практиці не має.

При складанні обмежувачів типів ОПН-КР, ОПН-РТ і ОПН -6, 10 колонка резисторів полягає між металевими електродами і впресовується в оболонку із спеціального атмосферостійкого полімеру, який забезпечує необхідні механічні та ізоляційні властивості обмежувача. Обмежувачі ОПН -6, 10 додатково покриваються

оболонкою з силіконової гуми. Ця конструкція відмінно зарекомендувала себе при різних умовах експлуатації, включаючи райони з високим рівнем атмосферних забруднень. Обмежувачі типу ОПН - 110 представляють собою апарати вертикальної установки опорного типу. Міцний склоепоксидний циліндр з послідовно з'єднаними резисторами всередині забезпечує прекрасні механічні властивості. Металеві фланці і силіконова ізоляція, утворює одночасно як зовнішню ізоляційну поверхню, так і внутрішню ізоляцію колонки резисторів, визначають задані ізоляційні властивості обмежувача. Вибухобезпека обмежувача забезпечується наявністю запобіжного пристрою для зниження тиску, виконаного у вигляді спеціальних противибухових отворів. Обмежувачі ОПН -35, 110, не вимагають застосування екранного кільця завдяки комп'ютерному комплектування ОПН резисторами з параметрами, відповідними розрахункової нерівномірності розподілу напруги по висоті ОПН. Загальним перевагою в конструкціях обмежувачів ОПН є відсутність повітряних порожнин всередині корпусу, що виключає виникнення перекриття внутрішньої ізоляції обмежувача і його вихід з ладу з цієї причини.

1.5 Принцип дії ОПН

Розрядник складається з двох електродів і дугогасительного пристрою.

Один з електродів кріпиться до ланчки що захищається, другий електрод заземлюється. Простір між електродами називається іскровим проміжком. При певному значенні напруги між двома електродами іскровий проміжок пробивається, знімаючи тим самим перенапруження з ділянки, що захищається ланцюга. Одне з основних вимог, що пред'являються до розрядники - гарантована електрична міцність при промисловій частоті (розрядник не повинен пробиватися в нормальному режимі роботи мережі).

Після пробою імпульсом іскровий проміжок досить іонізований, щоб пробитися фазною напругою нормального режиму, в зв'язку з чим виникає коротке замикання і, як наслідок, спрацьовування пристроїв релейного захисту, які захищають

цю ділянку. Завдання дугогасного пристрою - усунути це замикання в найбільш короткі терміни до спрацювання пристроїв захисту.

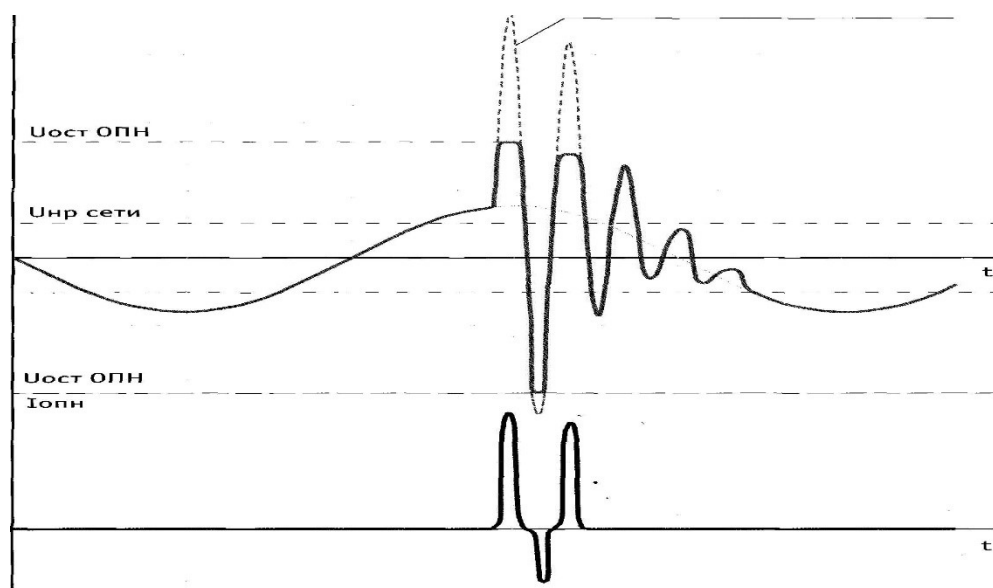


Рисунок 1.3 – Графік зміни струму і напруги на ОПН при підвищенні впливає напруги.

1.6 Вибір обмежувачів перенапруг

Впровадження захисних апаратів нового покоління стикається з значними труднощами їх правильного застосування. В першу чергу це пов'язано з недостатністю нормативних документів, що регламентують правильне використання ОПН в мережах 0,38 - 110 кВ. Перед енергетичними підприємствами, як правило, виникають два взаємо протилежних один одному завдання. З одного боку глибоко обмежити перенапруги, а з іншого забезпечити надійну роботу самого апарату. Якщо пріоритет при виборі параметрів ОПН віддавати першому завданні, то знизиться надійність роботи ОПН. У зворотному випадку підвищуються впливу на ізоляцію електрообладнання.

При виборі ОПН необхідно вирішити такі основні завдання:

- ОПН повинен обмежити комутаційні і грозові перенапруги до значень, при яких забезпечується надійна робота ізоляції захищаються електроустановок;
- ОПН повинен надійно працювати, не втрачаючи своєї термічної стійкості, при безперервному впливі найбільших робочих напруг мережі;
- ОПН повинен надійно працювати, не втрачаючи своєї термічної стійкості, при впливі квазістаціонарних перенапруг в робочих і аварійних режимах;
- ОПН повинен бути вибухобезпечний при протіканні струмів КЗ в результаті внутрішніх пошкоджень;
- ОПН повинен відповідати механічними кліматичних умов експлуатації.

Для вирішення перерахованих завдань необхідна наступна інформація про параметри мережі та обладнання:

- найбільша робоча напруга мережі;
- режим заземлення нейтралі;
- схема і структура захищається підстанції зазначенням відстаней між апаратами;
- структура мережі, прилеглої до підстанції, де встановлюються ОПН;
- значення струмів КЗ;
- найімовірніші види грозових і внутрішніх перенапруг;
- дані про склад релейного захисту та автоматики уставках часу спрацьовування різних пристроїв захисту;
- відомості про характеристики генераторів, трансформаторів, синхронних компенсаторів, електродвигунів і іншого навантаження;
- допустимий рівень ізоляції обладнання.

У мережах 6-35 кВ, що працюють з ізольованою нейтраллю або з компенсацією ємнісного струму замикання на землю і допускають необмежено тривале існування однофазного замикання на землю, найбільша робоча тривало допустима напруга

обмежувача вибирається більшим чи рівним найбільшій робочій напруги електрообладнання для даного класу напруги або найбільшій робочій напруги мережі.

$$U_{н.р} \geq U_{н.р. об},$$

де $U_{н.р}$ – допустима робоча напруга ОПН,

$U_{н.р. об.}$ – найбільша робоча напруга, що захищається.

Якщо тривалість однофазного замикання на землю обмежується, то найбільше тривало допустима робоча напруга ОПН має задовольняти наступні умови:

$$U_{н.р} \geq U_{н.р. об.}/Kt$$

де Kt - коефіцієнт, що дорівнює відношенню допустимого підвищення напруги протягом часу t_k найбільш довгому при допустимій робочій напрузі обмежувача. Значення Kt визначають для значення часу однофазного замикання на землю по залежності "напруги - час" для випадку з попередніми навантаженням нормованих імпульсом енергії.

Час існування однофазного замикання на землю визначають за даними експлуатації для місця установки ОПН.

Нормовані значення для $U_{н.р.}$ дійсні для температури навколишнього середовища до 45°C з урахуванням додаткового нагріву від сонячної радіації. Якщо є інші джерела підвищення температури навколишнього середовища, то необхідно збільшити значення $U_{н.р.}$. Як правило, це необхідно при використанні ОПН, вбудованих в електрообладнання (силові трансформатори, осередки КРУ та інші види обладнання).

Якщо температура навколишнього середовища перевищує 45°C , то $U_{н.р.}$ збільшують на 2% для кожних 5°C підвищення температури навколишнього середовища. У ряді випадків ОПН встановлюють на шинах підстанції або на шинах у внутрішніх розподільних пристроях (осередках КРУ або КСВ). В цьому випадку необхідно враховувати можливий нагрів ОПН від мідних або алюмінієвих шин.

Розрахункова температура шин, до яких може бути приєднаний ОПН, становить 70°C . У цьому випадку найбільше тривало допустиме напруження ОПН необхідно збільшити на 10% в порівнянні з паспортними умовами експлуатації.

Вибір ОПН по номінальному розрядному струму здійснюється в разі встановлення його для захисту від грозових перенапруг.

У всіх випадках номінальний розрядний струм приймають рівним 5кА.

Номінальний розрядний струм приймають рівним 10 кА в наступних випадках:

- в районах з інтенсивною грозовий діяльністю більше 50 грозових годин на рік;
- в схемах грозозахисту двигунів і генераторів, приєднаних до ПЛ;
- в районах з високим ступенем промислових забруднень (IV ступінь забруднення атмосфери) або, якщо обмежувач розташований в 1000-менш метрах від моря;
- в схемах грозозахисту, до яких пред'являються підвищені вимоги до надійності.

1.7 Місця установки ОПН для захисту від грозових перенапруг

При захисті трансформатора від грозових перенапруг ОПН повинен встановлюватися на трансформаторі що захищається до комутаційного апарату.

В РУ 3-10 кВ при виконанні зв'язку трансформаторів з шинами за допомогою кабелів відстань від ОПН до трансформатора і апаратів не обмежується. При застосуванні повітряного зв'язку з шинами РУ відстань від ОПН до трансформатора і апаратів не повинна перевищувати 60 м при ВЛ на дерев'яних опорах і 90 м на металевих і залізобетонних опорах. В РУ 35- 220 кВ відстань до шин, включаючи відгалуження від обмежувача до об'єкта, що захищається, вибирається відповідно до рекомендацій ПУЕ.

Завдання зниження рівня ізоляції ЛЕП вирішується не тільки за рахунок поліпшення захисних характеристик нелінійних обмежувачів (вдосконалення структури матеріалу і конструкції варисторів, форсування їх охолодження в апараті,

залівки НР полімерними композиціями і т.п.), але і оптимізацією схеми ОПН і форми його приєднання до мережі. Описані вище обмежувачі включені між фазним проводом і землею (рис. 1.4 а) і, таким чином, призначені для обмеження перенапруг, що впливають на ізоляцію електрообладнання відносно землі. Однією з найважливіших завдань, вирішення якої практично неможливо за допомогою вентилярних розрядників, є глибоке обмеження міжфазних перенапруг. Застосування нелінійних обмежувачів в полімерних корпусах підвісного виконання, розрахованих на тривалий вплив лінійного найбільшого робочої напруги лінії і приєднаних між фазними проводами (рис. 1.4, б), природним чином вирішує цю проблему.

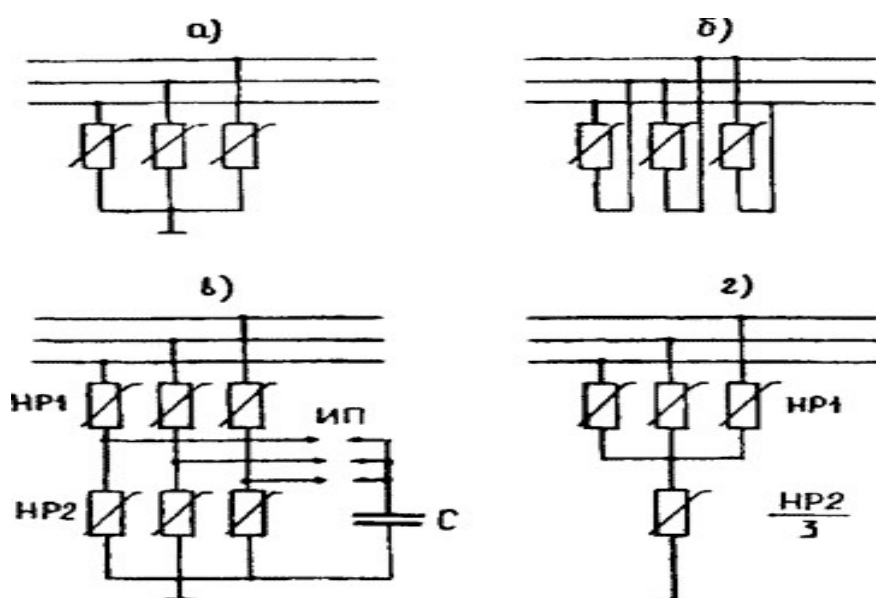


Рисунок 1.4 – Схеми нелінійних обмежувачів перенапруг і їх приєднання до електричних мереж

На одній типовій підтримуючій або натяжна опорі ПЛ без будь-якої істотної зміни її конструкції може бути розміщено два трифазних комплекти підвісних ОПН: обмежувачі фаза-земля підвішуються паралельно гірляндам ізоляторів або (при відповідному збільшенні механічної міцності на розрив) замість гірлянд і з'єднуються з фазними проводами і землею; обмежувачі міжфазних перенапруг підвішуються до гірлянд нижче фазних проводів і приєднуються між фазами. Також представляється

перспективним установка підвісних обмежувачів в РУ електростанцій і підстанцій, що дозволяє істотно скоротити їх площу. Низькі механічні характеристики електротехнічного фарфору на розрив не дозволяють виготовляти підвісні ОПН в порцелянових корпусах. Однак розроблена і успішно застосовується конструкція ОПН опорного виконання, що дозволяє одночасно обмежувати як перенапруги щодо землі, так і міжфазні перенапруги. Схема такого захисного апарату, який отримав найменування ОПНІ, наведена на рис. 1.4, в.

Нелінійний робочий резистор кожної фази ОПНІ розділений на дві послідовно з'єднані частини (НР1 і НР2). Всі фази обмежувачів з'єднані між собою іскровими проміжками, включеними зіркою. Середня точка зірки через ємність С з'єднана з землею. У нормальному експлуатаційному режимі фазна напруга діє на послідовно з'єднані резистори НР1 і НР2. При набіганні на апарат хвиль комутаційних перенапруг, які завжди несиметричні, пробиваються іскрові проміжки ІП, резистори НР2 всіх фаз виявляються з'єднаними паралельно, а резистори НР1 - попарно послідовно між відповідними фазними провідниками. Таким чином, всі нелінійні робочі резистори трьох фаз обмежувачів утворюють чотирипромінні зірку. Очевидно, що така схема об'єднаного захисного апарату дозволяє обмежувати як фазні, так і міжфазні перенапруги, причому рівні залишаються напруг можуть регулюватися відповідним підбором значень НР1 і НР2.

1.8 Визначення місць розміщення нелінійних обмежувачів перенапруги на повітряній лінії електропередавання номінальною напругою 10 кВ.

Для математичного моделювання грозових перенапруг в розподільних мережах використано програмне середовище MATLAB. Було створено імітаційну модель мережі номінальною напругою 10 кВ, яка наведена на рис. 1.5. Дана модель містить 10 блоків «Лінія». Кожен блок являє собою одноланцюгову повітряну лінію довжиною 65 км, яка виконана на залізобетонних опорах з трикутним розташуванням фаз і представлена на рис. 1.6.

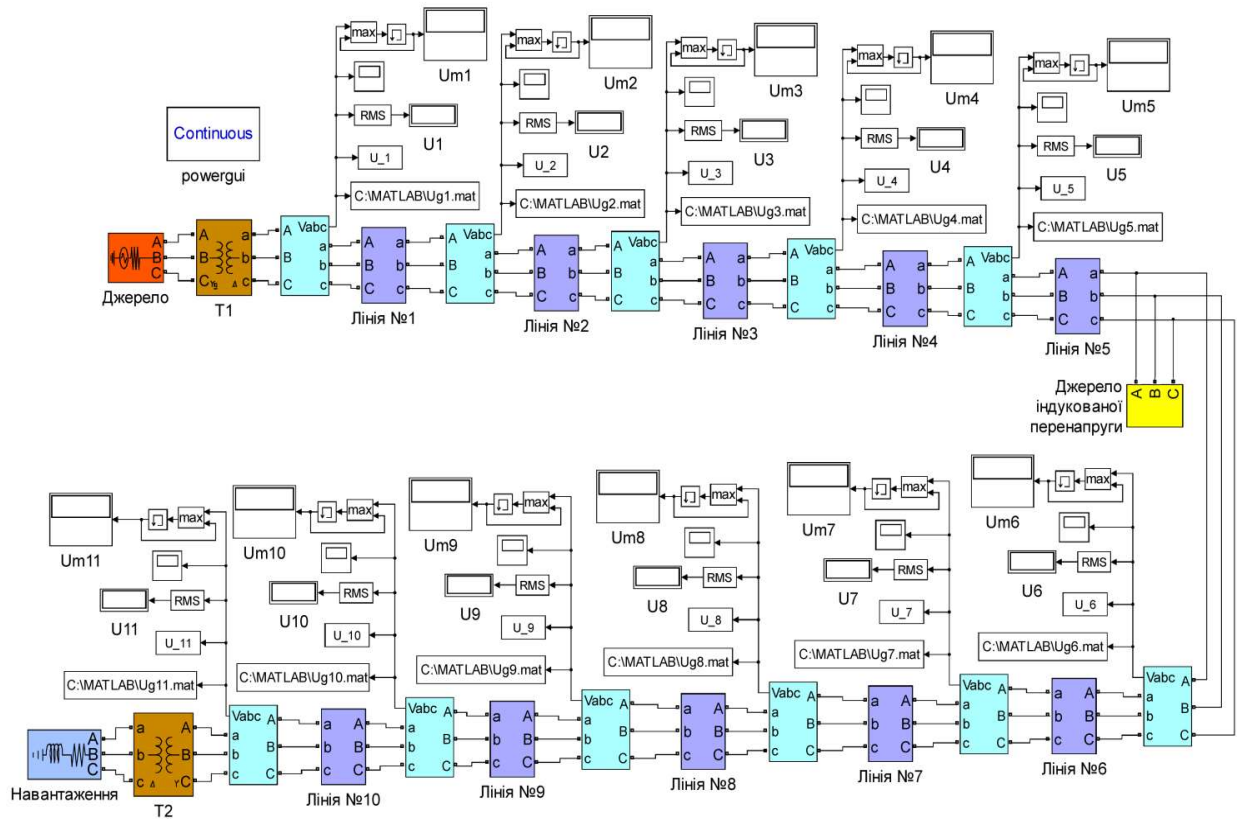


Рисунок 1.5 – Модель мережі номінальною напругою 10 кВ

Модель має два трансформатори ТМН-6300/110 та ТН-63/10, джерело живлення, вимірювальні блоки, напругою 115 кВ, навантаження та джерело індукованої перенапруги.

Для моделювання ЛЕП використані трифазні RLC-ланки, в які занесені розраховані параметри проводів. Моделі опор вводять в місці з'єднання прогонів повітряної лінії електропередавання, які являють собою набір індуктивностей. Значення цих індуктивностей розраховується на основі геометрії опори та погонних індуктивностей її елементів. Кожна опора, при цьому, має заземлюючий пристрій, який моделює активний опір, що зв'язаний із опорою. У вигляді набору ємностей виконані гірлянди ізоляторів, які на кожній із опор відокремлюють фазні проводи від траверс.

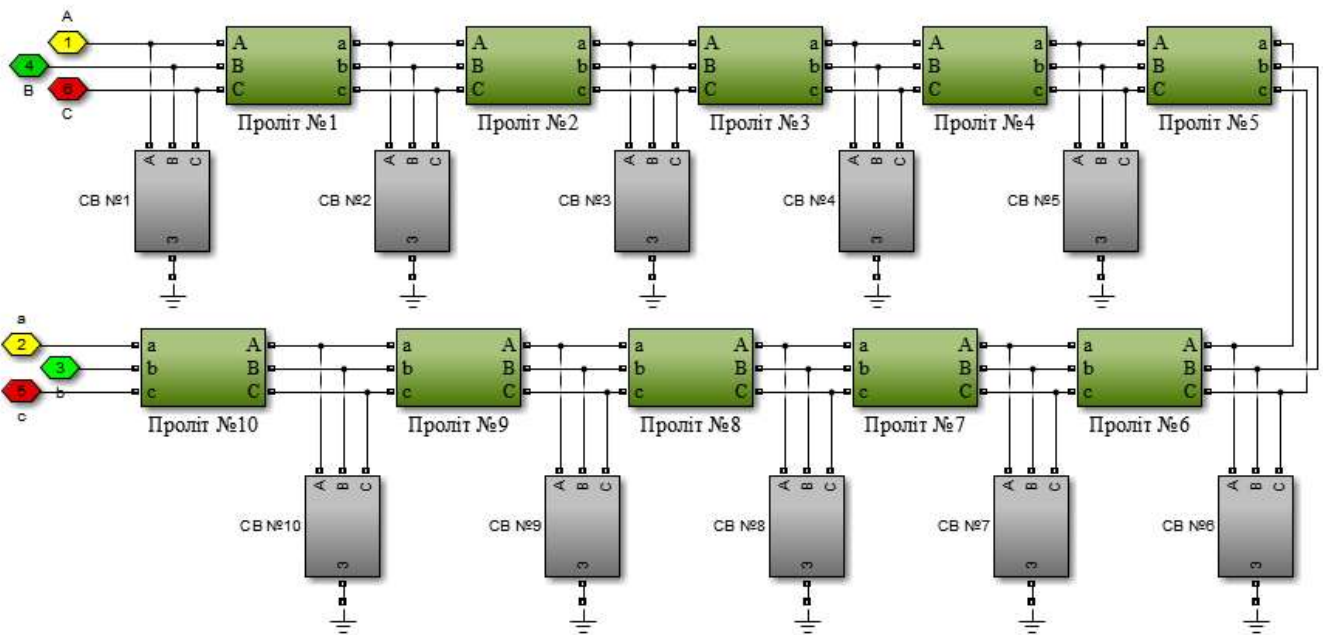


Рисунок 1.6 – Схема блоку «Лінія»

Для повітряної лінії моделювання виконується в трифазній постановці залежно до власних конструктивних характеристик, таких як тип фазних проводів, тип опори, кількість ізоляторів в гірлянді, довжина прогону та значення опору заземлення опори.

Опори можна моделювати за такими варіантами:

- однаковими, що найбільше застосовуються для ПЛ належного класу номінальної напруги та відповідають типовій конструкції проміжної опори;
- різними, що відрізняються залежно від вибраної ділянки конкретної ПЛ.

В двох випадках схема заміщення опори ПЛ являє набір індуктивностей, значення яких розраховується відповідно до відомої геометрії опори, що зображена на рис. 1.7. Для даної моделі взяті залізобетонні опори СВ105-5. Параметри цих опор розраховуються відповідно до монтажною схемою опори [20]. Погонна індуктивність опори прийнята 1 мкГн/м, а елементів опори 1,03 мкГн/м [8].

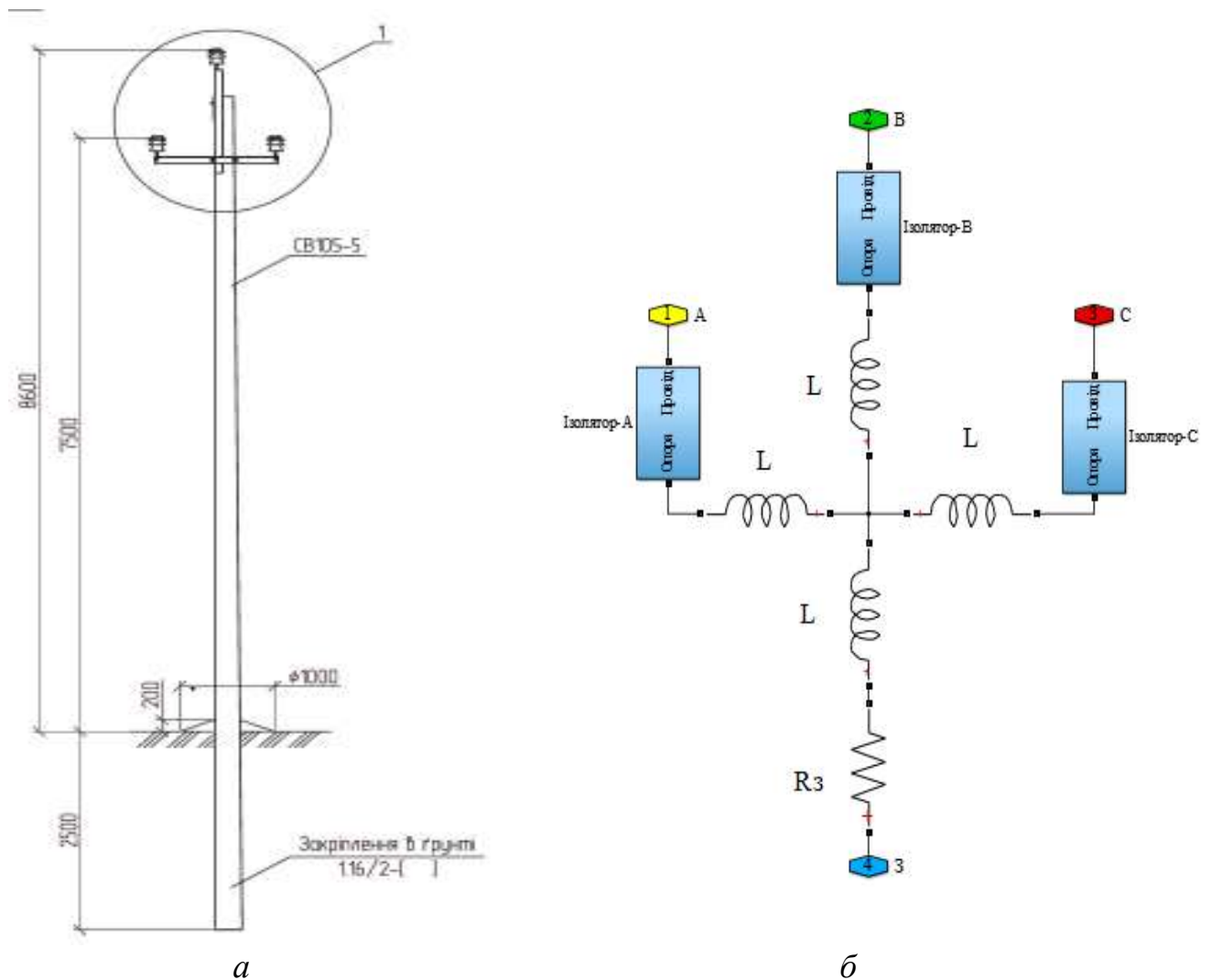


Рисунок 1.7 – Опора повітряної лінії електропередавання 10 кВ: а – монтажна схема опори СВ105-5; б – схема заміщення опори ПЛ

При розрахунку грозових перенапруг потрібно враховувати значення імпульсного опору, проте в нормативних документах відносно опор та протоколах вимірювань вказується опір "розтіканню", який отриманий для постійного струму. Задля того, щоб уникнути ускладнення розрахункової моделі, візьмемо опір заземлюючого пристрою що рівний 10 Ом, відповідно рекомендацій [13].

Ділянки, які представлені між опорами змодельовані у вигляді RLC-ланки. Ці ланки моделюють фазні проводи. В залежності від обраного типу стійки та з урахуванням довжини ізоляторів задається взаємне розміщення фазних проводів.. Довжини прогонів можуть бути прийняті однаковими, які мають певне середнє

значення (для ПЛ 10 кВ це значення рівне 65 м) або різними, залежно від ділянки повітряної лінії.

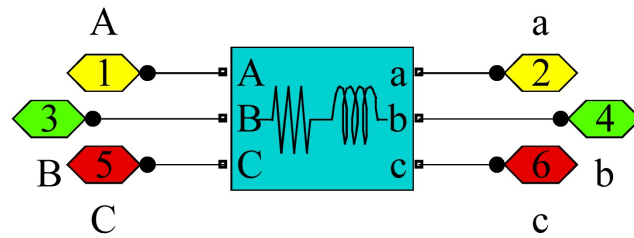


Рисунок 1.8 – Схема заміщення прогону повітряної лінії 10 кВ

Фазними проводами було вибрано провід типу АЖ-70, параметри якого приведені в табл. 1.1.

В моделі прогону потрібно розрахувати і задати величину активного опору та індуктивності ділянки ЛЕП. Питомий активний опір візьмемо з табл. 1.1, а для визначення питомої індуктивності необхідно спочатку розрахувати середньгеометричну відстань між проводами фаз. Розрахуємо цю відстань за наступною формулою:

$$D_{\text{сг}} = \sqrt[3]{D_{\text{AB}} \cdot D_{\text{BC}} \cdot D_{\text{AC}}} = \sqrt[3]{1210 \cdot 1130 \cdot 1244} = 1193,69 \text{ мм},$$

де D_{AB} , D_{BC} та D_{AC} – дійсні відстані між проводами фаз.

Таблиця 1.1 – Розрахункові дані проводу АЖ-70

Параметр	Значення
Опір постійному струмові при $+20^{\circ}\text{C}$, R_0 , Ом/км	0,475
Діаметр проводу, $d_{\text{пр}}$, мм	10,7
Переріз проводу, $S_{\text{пр}}$, мм ²	69,3
Допустимий тривалий струм, $I_{\text{доп}}$, А	-

Погонну індуктивність проводу можна визначити за таким виразом:

$$L_0 = 4,605 \cdot 10^{-4} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot D_{\text{сг}}}{d_{\text{пр}}} \right) + 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot \mu =$$

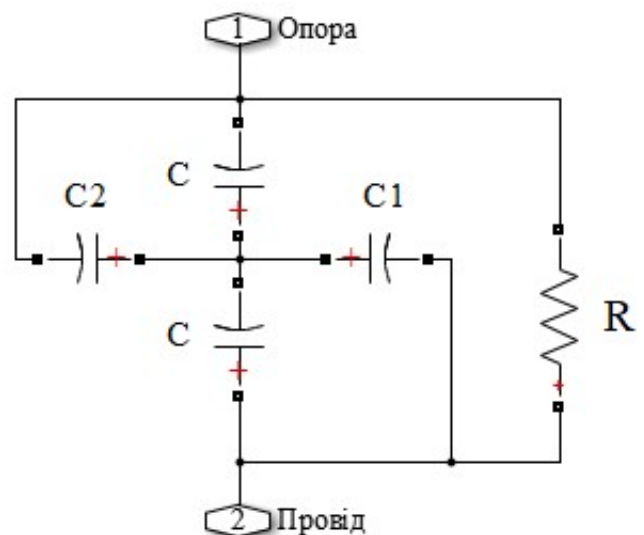
$$= 4,605 \cdot 10^{-4} \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 1193,69}{10,7} \right) + 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1 = 0,00113 \text{ Гн/км},$$

де μ – відносна магнітна проникність матеріалу з якого виконаний провід (для проводів із кольорових металів $\mu = 1$).

На даній лінії використаний ізолятор типу ШФ-20Г. Порцеляновий штировий ізолятор ШФ-20Г призначений для ізоляції і кріплення неізольованих та ізольованих проводів на повітряних лініях електропередач і в розподільчих пристроях електростанцій і підстанцій змінного струму напругою до 20 кВ частотою до 100 Гц при температурі навколишнього повітря від -60°C до -50°C . Ізолятор ШФ-20Г - є найпоширенішим штирьовим порцеляновим ізолятором для ліній з неізольованими і ізольованими проводами.



а



б

Рисунок 1.9 – Ізолятори ПЛ: а – загальний вигляд ізолятора ШФ-20Г

б – схема заміщення гірлянди ізоляторів в моделі MATLAB

Таблиця 1.2 – Параметри підвісного ізолятора ШФ-20Г

Параметр	Значення
Мінімальне механічне руйнівне навантаження, кН	13
Будівельна висота, мм	127
Довжина шляху витоку, мм	400
Пробивна напруга в ізоляційному середовищі, кВ	85
Випробувальна напруга при випробуванні на пробій імпульсною напругою в повітрі, кВ	135
Маса, кг	3,5

В математичній моделі можна застосовувати різні моделі нелінійних обмежувачів перенапруг, як складні, що мають кілька нелінійних опорів, з'єднаних один з одним з використанням резисторів, ємностей та індуктивностей, так і прості у вигляді нелінійного опору. При вирішенні більшості задач більш ніж достатньо є представлення обмежувача перенапруги у вигляді одного нелінійного активного опору [23]. Вольт-амперна залежність цього опору задається аналітичним виразом:

$$U = A \cdot I^{\alpha},$$

де U – напруга ОПН; A – коефіцієнт, що визначає нелінійність вольт-амперної характеристики ОПН; I – струм, який проходить крізь обмежувач перенапруг; α – показник степеня.

Для моделювання нелінійного обмежувача перенапруги ОПНп-10/550/12,0 УХЛ1 [17], загальний вигляд якого зображений на рис. 1.10, застосовується блок Surge Arrester, що влаштований в середовищі SimPowerSystems. Параметри нелінійного обмежувача перенапруги ОПНп-10/550/12,0 УХЛ1 приведені в табл. 1.3.

В даній моделі ЛЕП застосовуються два понижувальних трансформатори ТДН-6300/110 та ТМ-63/10, параметри яких наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.3 – Параметри нелінійного обмежувача перенапруги ОПНп-10/550/12,0 УХЛІ

Параметр	Значення
Клас напруги, кВ	10
Найбільша тривало допустима робоча напруга, дійсне значення, кВ	12,0
Номінальна напруга, дійсне значення, кВ	15,0
Номінальний розрядний струм 8/20 мкс, кА	10
Пропускна здатність, А	330
Струм витоку, мА	1
Питома енергія, кДж/кВ	3,24
Струм вибухобезпеки, кА	10

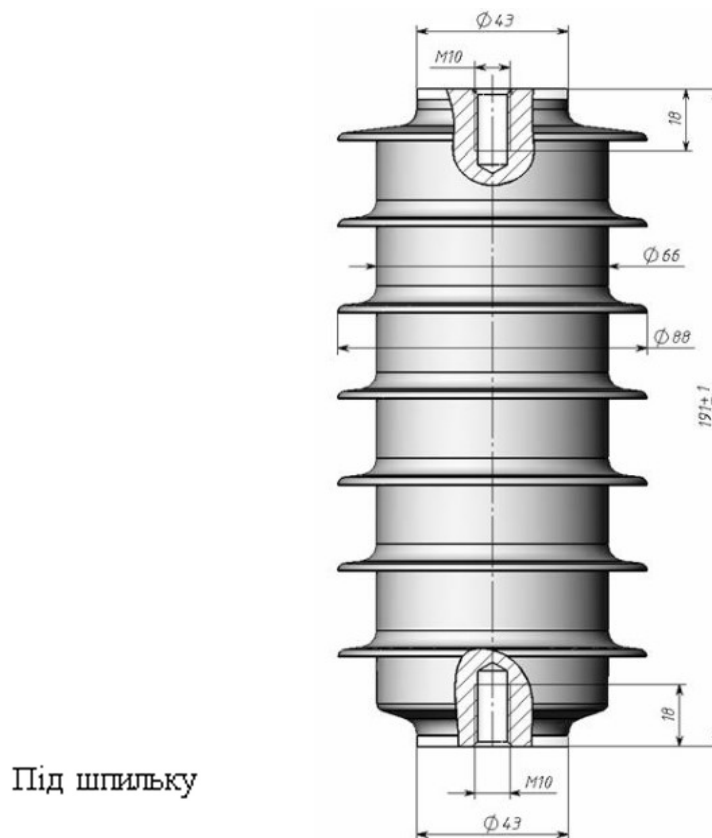


Рисунок 1.10 – Загальний вигляд обмежувача ОПНп-10/550/12,0 УХЛІ

Таблиця 1.4 – Паспортні дані силових трансформаторів

Тип трансформатора	S_H , МВА	U_H , кВ		$U_{k\%}$, %	ΔP_k , кВт	ΔP_{xx} , кВт	I_{xx} , %	Схема з'єднання обмоток
		ВН	НН					
ТДН-6300/110	6,3	115	11	10,5	44	10	1	$Y_H/\Delta-11$
ТМН-63/10	0,063	10	0,4	4,5	1,27	0,27	2,4	Y/Y_H

В програмному середовищі MATLAB для моделювання трансформаторів потрібно розрахувати такі величини:

1. Фазні напруги обмоток ВН і НН:

$$U_{ф.ВН} = \frac{U_{H.ВН} \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = \frac{115000}{\sqrt{3}} = 66395,29 \text{ В},$$

$$U_{ф.НН} = U_{H.НН} \cdot 10^3 = 11000 \text{ В}.$$

2. Номінальні лінійні струми обмоток ВН і НН:

$$I_{л.ВН} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{H.ВН}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 115} = 31,63 \text{ А},$$

$$I_{л.НН} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{H.НН}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 11} = 330,665 \text{ А}.$$

3. Номінальні фазні струми обмоток ВН і НН:

$$I_{ф.ВН} = I_{л.ВН} = 31,63 \text{ А},$$

$$I_{ф.НН} = \frac{I_{л.НН}}{\sqrt{3}} = \frac{330,664}{\sqrt{3}} = 190,91 \text{ А}.$$

4. Струм і напруга кола намагнічування трансформатора:

$$I_0 = 0,01 \cdot I_{ф.ВН} \cdot I_{xx} = 0,01 \cdot 31,629 \cdot 1,0 = 0,316 \text{ А},$$

$$U_0 = U_{\phi.вн} = 66395,28 \text{ В.}$$

5. Повний опір кола намагнічування силового трансформатора:

$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0} = \frac{66395,281}{0,316} = 209920,63 \text{ Ом.}$$

6. Активний опір кола намагнічування силового трансформатора:

$$r_0 = \frac{\Delta P_{xx} \cdot 10^3}{3 \cdot I_0^2} = \frac{10 \cdot 10^3}{3 \cdot 0,316^2} = 33320,735 \text{ Ом.}$$

7. Індуктивний опір кола намагнічування силового трансформатора:

$$x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{209920,635^2 - 33320,736^2} = 207259,26 \text{ Ом.}$$

8. Індуктивність кола намагнічування силового трансформатора:

$$L_0 = \frac{x_0}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{207259,26}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 659,728 \text{ Гн.}$$

9. Струм і напруга короткого замикання силового трансформатора:

$$U_K = 0,01 \cdot U_{\phi.вн} \cdot U_{K\%} = 0,01 \cdot 66395,288 \cdot 10,5 = 6971,506 \text{ В,}$$

$$I_K = I_{\phi.вн} = 31,629 \text{ А.}$$

10. Повний опір короткого замикання силового трансформатора:

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K} = \frac{6971,5063}{31,629} = 220,418 \text{ Ом.}$$

11. Активний опір короткого замикання силового трансформатора:

$$r_k = \frac{\Delta P_k \cdot 10^3}{3 \cdot I_k^2} = \frac{44 \cdot 10^3}{3 \cdot 31,629^2} = 14,66 \text{ Ом.}$$

12. Індуктивний опір короткого замикання силового трансформатора:

$$x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{220,417^2 - 14,661^2} = 219,93 \text{ Ом.}$$

13. Активний опір обмотки ВН силового трансформатора:

$$r_{\text{ВН}} = \frac{r_k}{2} = \frac{14,661}{2} = 7,33 \text{ Ом.}$$

14. Реактивний опір обмотки ВН силового трансформатора:

$$x_{\text{ВН}} = \frac{x_k}{2} = \frac{219,929}{2} = 109,965 \text{ Ом.}$$

15. Індуктивність обмотки ВН силового трансформатора:

$$L_{\text{ВН}} = \frac{x_{\text{ВН}}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{109,96}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,351 \text{ Гн.}$$

16. Коефіцієнт трансформації:

$$k_T = \frac{U_{\text{ф.ВН}}}{U_{\text{ф.НН}}} = \frac{66395,28}{11000} = 6,036.$$

17. Активний опір обмотки НН силового трансформатора:

$$r_{\text{HH}} = \frac{r_{\text{BH}}}{k_{\text{T}}^2} = \frac{7,331}{6,036^2} = 0,201 \text{ Ом.}$$

18. Реактивний опір обмотки НН силового трансформатора:

$$x_{\text{HH}} = \frac{x_{\text{BH}}}{k_{\text{T}}^2} = 6,036 = 3,018 \text{ Ом.}$$

19. Індуктивність обмотки НН силового трансформатора:

$$L_{\text{HH}} = \frac{x_{\text{HH}}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{3,018}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,0096 \text{ Гн.}$$

Результати розрахунку заносим в табл. 1.5. Визначення параметрів для понижувального трансформатора ТМ-63/10 виконується аналогічно і отримані результати розрахунку також заносимо в табл. 1.5. Для моделювання трансформаторів використовується блок Three-phase Transformer. Результати розрахунків заносимо до даного блоку.

Таблиця 1.5 – Розрахункові параметри силових трансформаторів

Тип трансформатора	r_{BH} , Ом	L_{BH} , Гн	r_{HH} , Ом	L_{HH} , Гн	r_0 , Ом	L_0 , Гн
ТМН-6300/110	7,331	0,35	0,201	0,0096	33320,735	659,727
ТМ-63/10	15,99	0,102	0,026	0,00016	11810,28	207,136

1.9 Побудова моделі джерела індукованої перенапруги

При дослідженні індукованої перенапруги в моделі застосовується наступний вираз вигляду [7]:

$$u(t) = \gamma \cdot U_0 \cdot [e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}],$$

де U_0 – амплітудне значення величини наведеної перенапруги, кВ;

α і β – величини, які визначаються швидкостями зростання і спадання струму блискавки, і які розраховуються за наступними виразами:

$$\alpha = \frac{1}{\tau_1} = \frac{\ln(0,5)}{\tau_\phi - \tau_{\text{хв}}},$$

$$\beta = \frac{1}{\tau_2} = \frac{5}{\tau_\phi},$$

$\tau_{\text{хв}}$ – тривалість хвилі струму блискавки, мкс;

τ_ϕ – тривалість фронту хвилі, мкс;

γ – коригувальний коефіцієнт амплітуди струму блискавки, який визначається відповідно до співвідношення:

$$\gamma = \frac{1}{e^{-\frac{\tau_\phi}{\tau_1}}}.$$

Відповідно з роботою [24] значення індукованої перенапруги розраховується виразом:

$$U_0 = 12,5 \cdot I_{\text{м}} \cdot \ln \left[\frac{z_0 + h + \sqrt{(z_0 + h)^2 + r^2}}{z_0 - h + \sqrt{(z_0 - h)^2 + r^2}} \right],$$

де I_m – значення струму блискавки, кА; z_0 – висота між нижньою точкою розряду блискавки і землею, м; h – середня висота підвішування проводу, м; r – відстань між точкою проекції розряду блискавки на землю і трасою лінії, м.

Для розрахунку, в цій роботі взято величину струму блискавки, що складає 30 кА. Це значення є властивим для більшості території України. Значення параметру імпульсу струму блискавки рівне 8/40 (тривалість фронту/тривалість хвилі).

Визначимо розрахункові вирази для моделювання індукованих перенапруг при розряді блискавки в землю на відстані 25 м від траси лінії відповідно до вище обраних параметрів блискавки:

1. Розрахуємо величини, значення яких зумовлено часом наростання і спадання хвилі струму блискавки:

$$\alpha = \frac{\ln(0,5)}{8 \cdot 10^{-6} - 40 \cdot 10^{-6}} = 21660,85 \text{ 1/c},$$

$$\beta = \frac{5}{8 \cdot 10^{-6}} = 625000 \text{ 1/c}.$$

2. Розрахуємо величину коригувального коефіцієнту:

$$\gamma = \frac{1}{e^{-\frac{8 \cdot 10^{-6} \cdot \ln(0,5)}{8 \cdot 10^{-6} - 40 \cdot 10^{-6}}}} = 1,189.$$

3. Розрахуємо вираз для моделі джерела індукованої перенапруги для фази А:

$$U_{0,A} = 12,5 \cdot 30000 \cdot \ln \left[\frac{0 + 7,5 + \sqrt{(0 + 7,5)^2 + 24,45^2}}{0 - 7,5 + \sqrt{(0 - 7,5)^2 + 24,45^2}} \right] = 226598,152 \text{ В},$$

$$u_A(t) = 1,189 \cdot 226598,152 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}] = 134737,015 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}] \text{ В}.$$

4. Розрахуємо вираз для моделі джерела індукованої перенапруги для фази В:

$$U_{0,B} = 12,5 \cdot 30000 \cdot \ln \left[\frac{0 + 8,6 + \sqrt{(0 + 8,6)^2 + 26,1^2}}{0 - 8,6 + \sqrt{(0 - 8,6)^2 + 26,1^2}} \right] = 242859,949 \text{ В},$$

$$u_B(t) = 1,189 \cdot 242859,949 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}] = 288760,479 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}] \text{ В}.$$

5. Розрахуємо вираз для моделі джерела індукованої перенапруги для фази С:

$$U_{0,C} = 12,5 \cdot 30000 \cdot \ln \left[\frac{0 + 7,5 + \sqrt{(0 + 7,5)^2 + 25,38^2}}{0 - 7,5 + \sqrt{(0 - 7,5)^2 + 25,38^2}} \right] = 218526,079 \text{ В},$$

$$u_C(t) = 1,189 \cdot 218526,079 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}] = 259827,508 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}] \text{ В}.$$

Данні результатів розрахунку приведені в табл. 1.6. Розраховані вище вирази вносимо у блоки Fsp імітаційної моделі джерела індукованих перенапруг, що приведена на рис. 1.11.

Таблиця 1.6 – Результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги

Фаза №	U_0 , В	$u(t)$, В
Фаза А	226598,152	$269425,203 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза В	242859,949	$288760,479 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза С	218526,079	$259827,508 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$

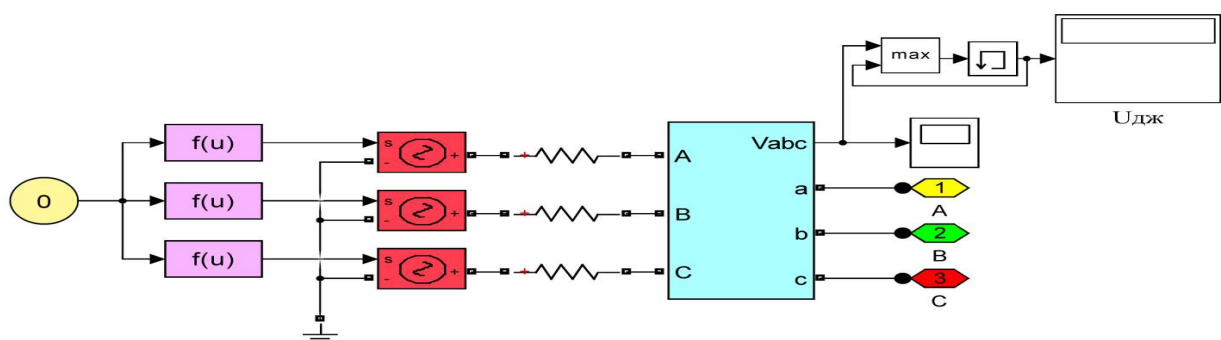


Рисунок 1.11 – Модель джерела індукованої перенапруги

1.9 Моделювання розряду блискавки в землю та на 10 метрів над нею біля середини лінії на відстані 25 м від траси ЛЕП

На рис. 1.11 та рис.1.12 зображені осцилограми напруги. Графік розподілу напруги вздовж всієї траси ЛЕП, представлений на рис. 1.13. Ці зображення були отримані після проведення імітаційного моделювання розряду блискавки в землю на відстані 25 м від траси ПЛ при відсутності ОПН.

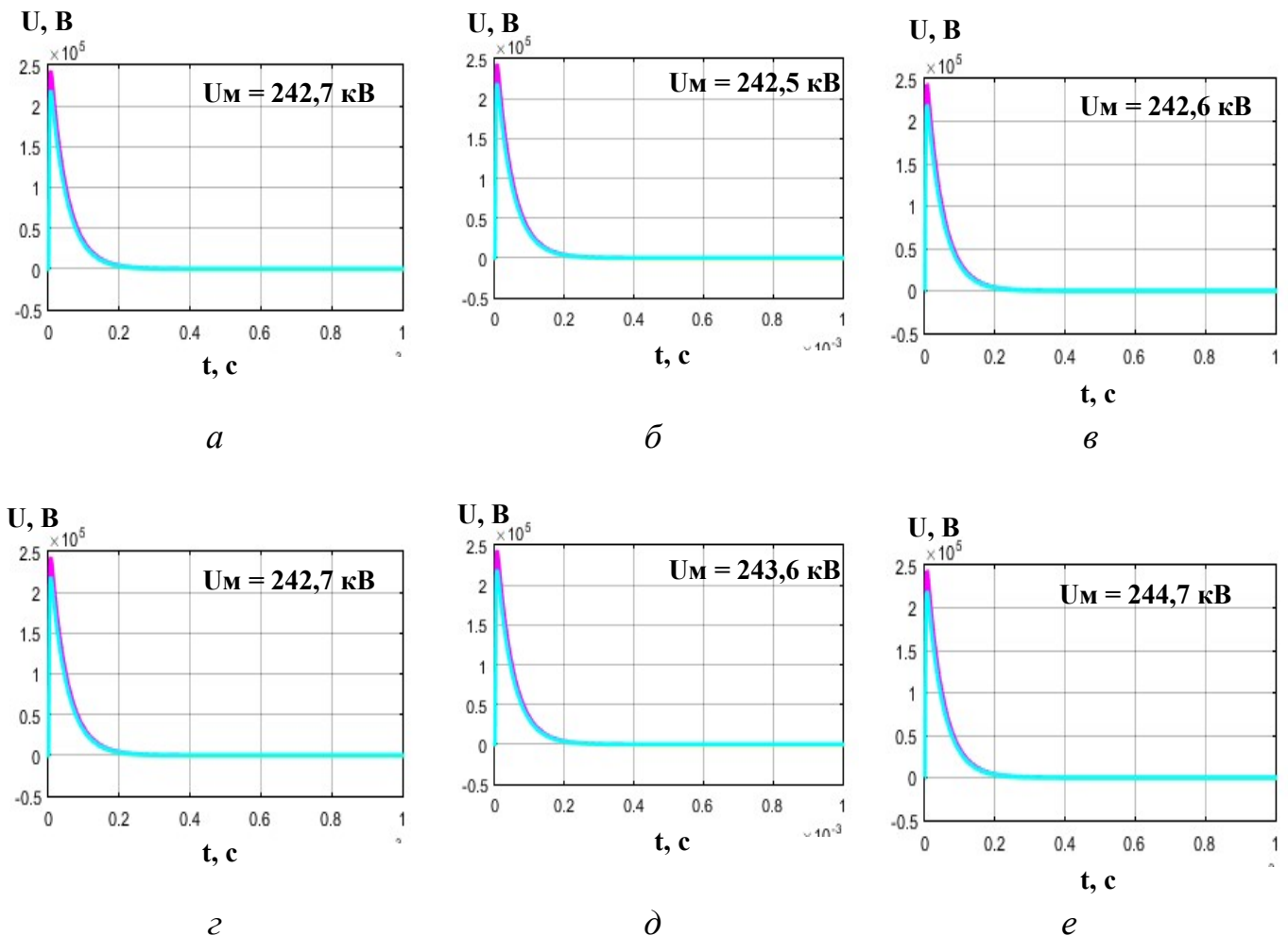


Рисунок 1.11 – Осцилограми напруги при утворенні розряду блискавки в землю поблизу середини лінії на відстані 25 м від траси ПЛ без ОПН: а – на початку лінії; б – на відстані 0,65 км від початку лінії; в – на відстані 1,3 км від початку лінії; г – на відстані 1,95 км від початку лінії; д – на відстані 2,6 км від початку лінії; е – на відстані 3,25 км від початку лінії

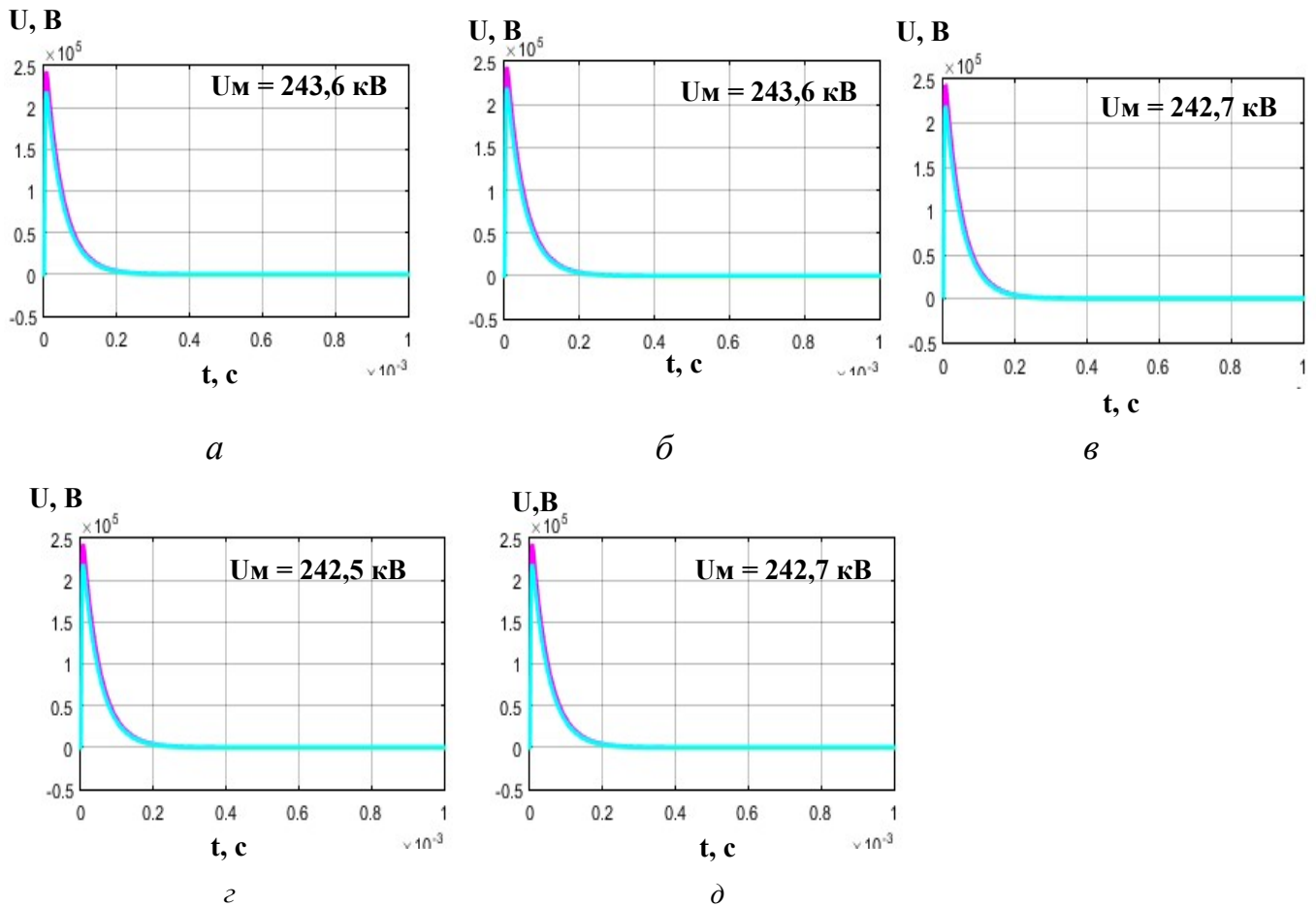


Рисунок 1.12 – Осцилограми напруги при утворенні розряду блискавки в землю поблизу середини лінії на відстані 25 м від траси ПЛ без ОПН: а – на відстані 3,95 км від початку лінії; б – на відстані 4,6 км від початку лінії; в – на відстані 5,25 км від початку лінії; г – на відстані 5,85 км від початку лінії; д на відстані 6,5 км від початку лінії.

З графіків видно, що напруга в усіх точках, особливо біля ураження блискавки, перебільшує максимальну допустиму, величину напруги перекриття, для мережі номінальною напругою 10 кВ, яка рівне 82 кВ, відповідно до [25].

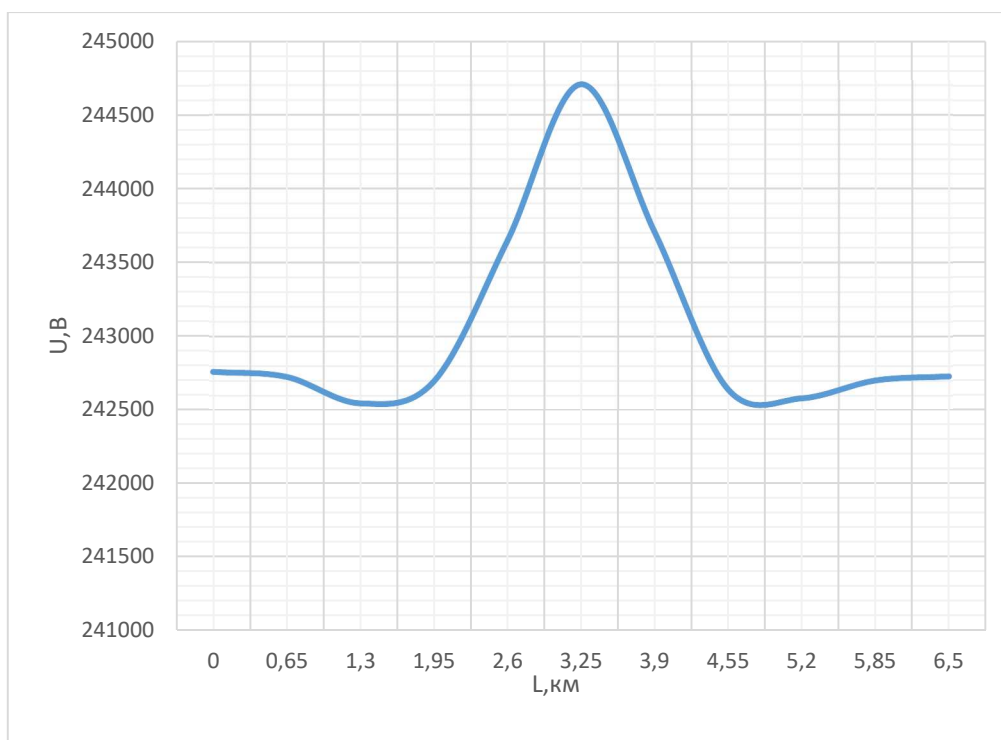


Рисунок 1.13 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при утворенні розряду блискавки в землю біля середини лінії на відстані 25 м від траси ЛЕП без ОПН

Використаємо установку нелінійних обмежувачів перенапруги для наступного дослідження впливу наведеної напруги.

Нелінійні обмежувачі перенапруги встановлюються паралельно гірлянді ізоляторів. Розглянемо варіант встановлення ОПН через одну опору. На рис. 1.15 та рис. 1.16 наведено графіки осцилограм напруги в точках лінії при варіанті розміщення ОПН через одну опору, а на рис 1.14 графік розподілу напруги вздовж траси ПЛ.

Проводячи аналіз результатів моделювання можна побачити, що після установки ОПН значення перенапруги зменшилося до величини 202,7 кВ. Можна зробити висновок, що, розташування ОПН через одну опору на лінії не дає змоги надійно захистити ЛЕП від наведених перенапруг

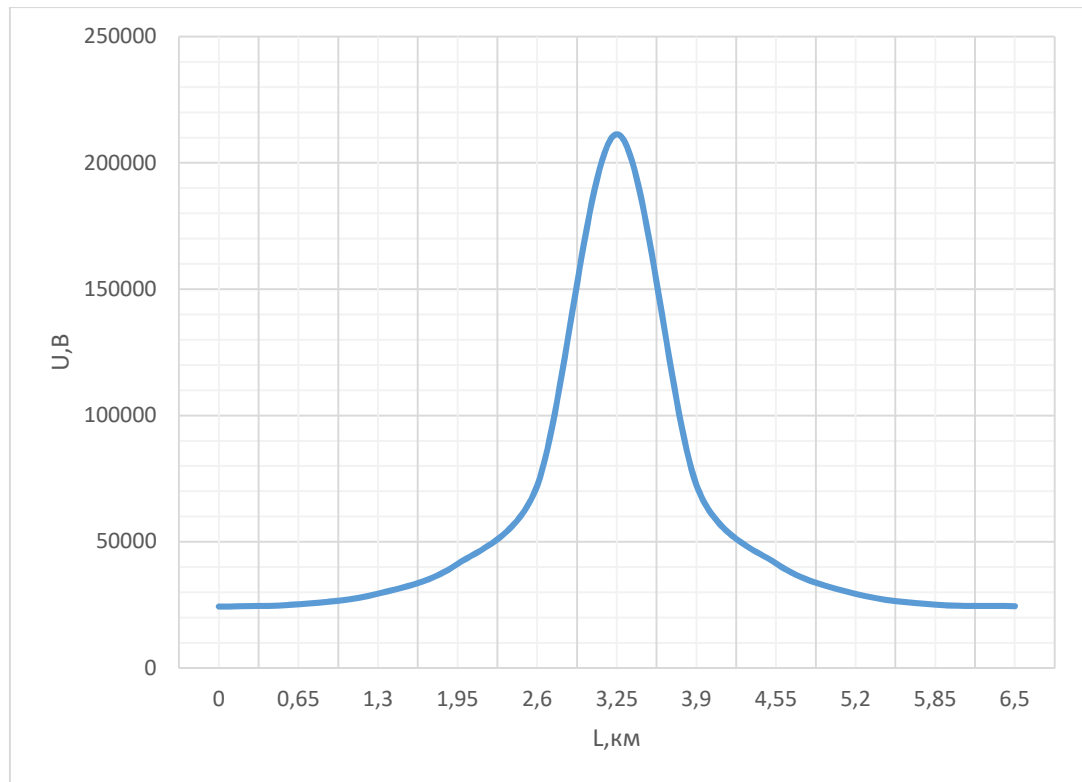


Рисунок 1.14 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 25 м від траси при встановленні ОПН через одну опору.

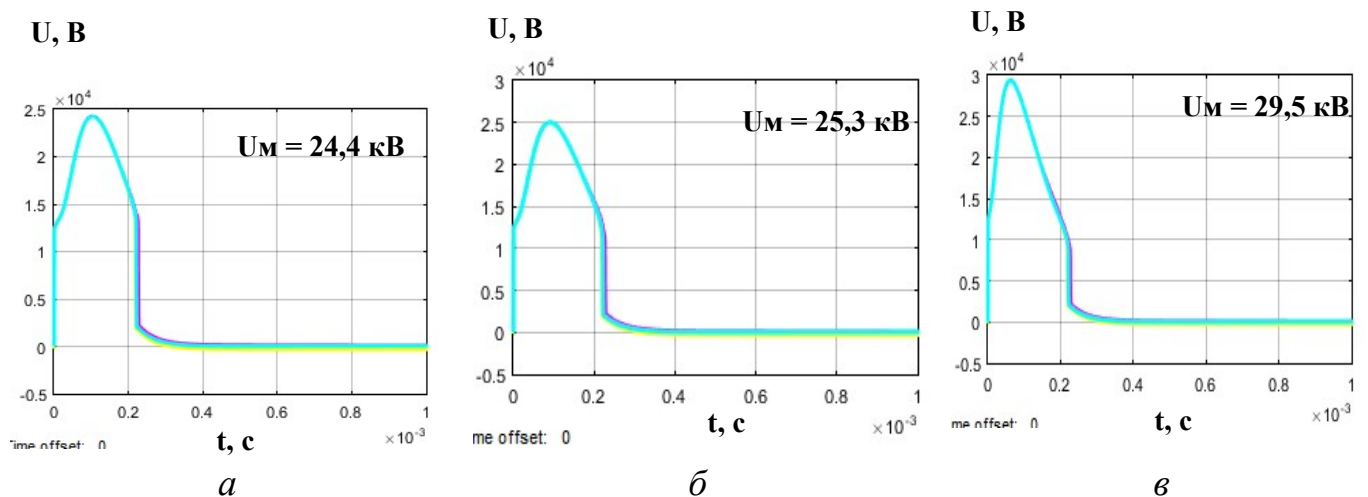


Рисунок 1.15 – Осцилограми напруги при утворенні розряду блискавки в землю поблизу середини лінії на відстані 25 м від траси ПЛ при встановленні ОПН через одну опору: а – на початку лінії; б – на відстані 0,65 км від початку лінії; в – на відстані 1,3 км від початку лінії

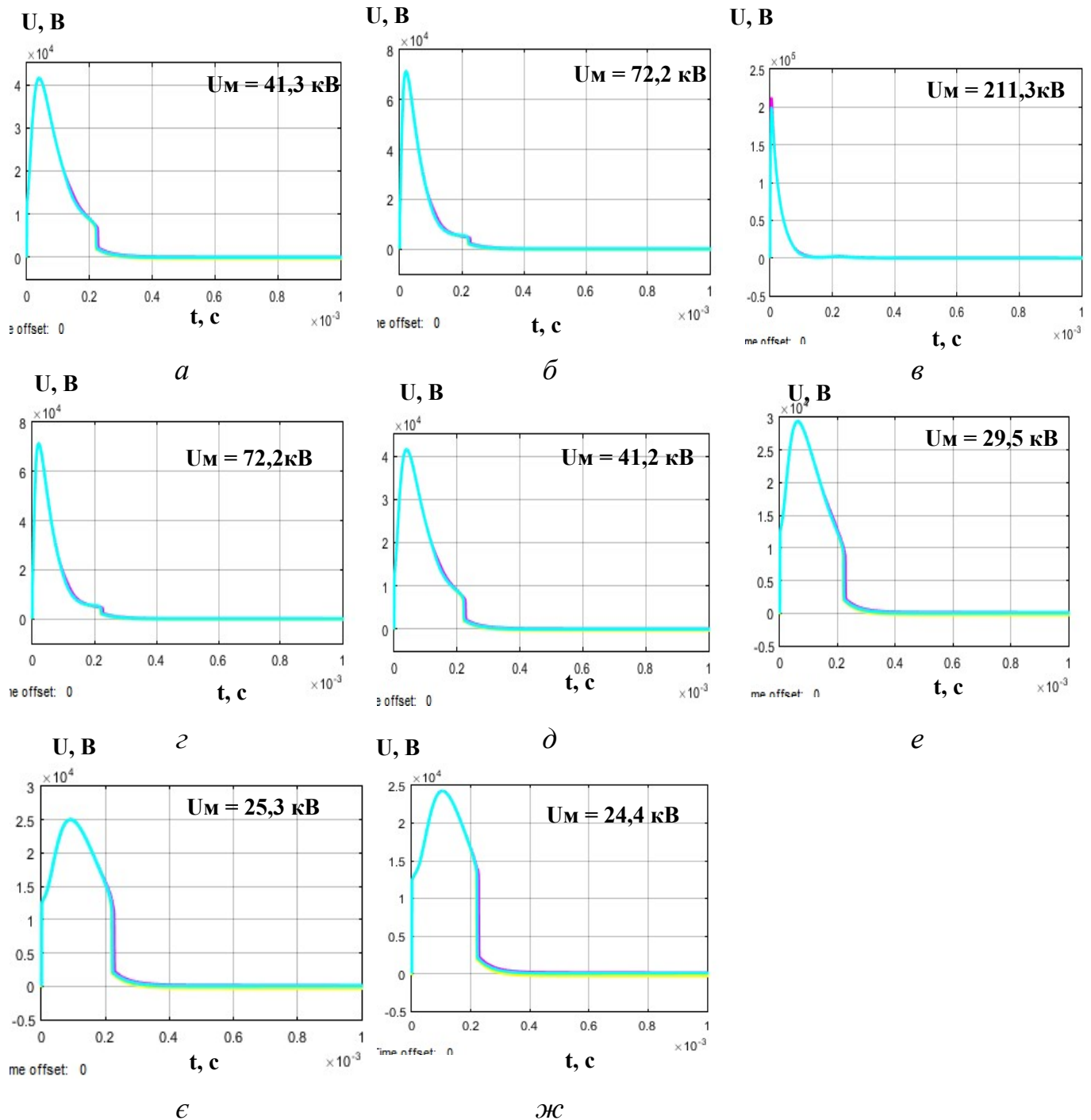


Рисунок 1.16 – Осцилограми напруги при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 25 м від траси ПЛ при встановленні ОПН через одну опору: а – на відстані 2,1 км від початку лінії; б – на відстані 2,8 км від початку лінії; в – на відстані 3,5 км від початку лінії; г – на відстані 4,2 км від початку лінії; д – на відстані 4,9 км від початку лінії; е – на відстані 5,6 км від початку лінії; є – на відстані 6,3 км від початку лінії; ж – на відстані 7,0 км від початку лінії

Розглянемо варіант встановлення ОПН на кожній опорі. На рис. 1.18 та рис. 1.19 наведено графіки осцилограм напруги в точках лінії при варіанті розміщення ОПН на кожній опорі, а на рис 1.17 графік розподілу напруги вздовж траси ПЛ.

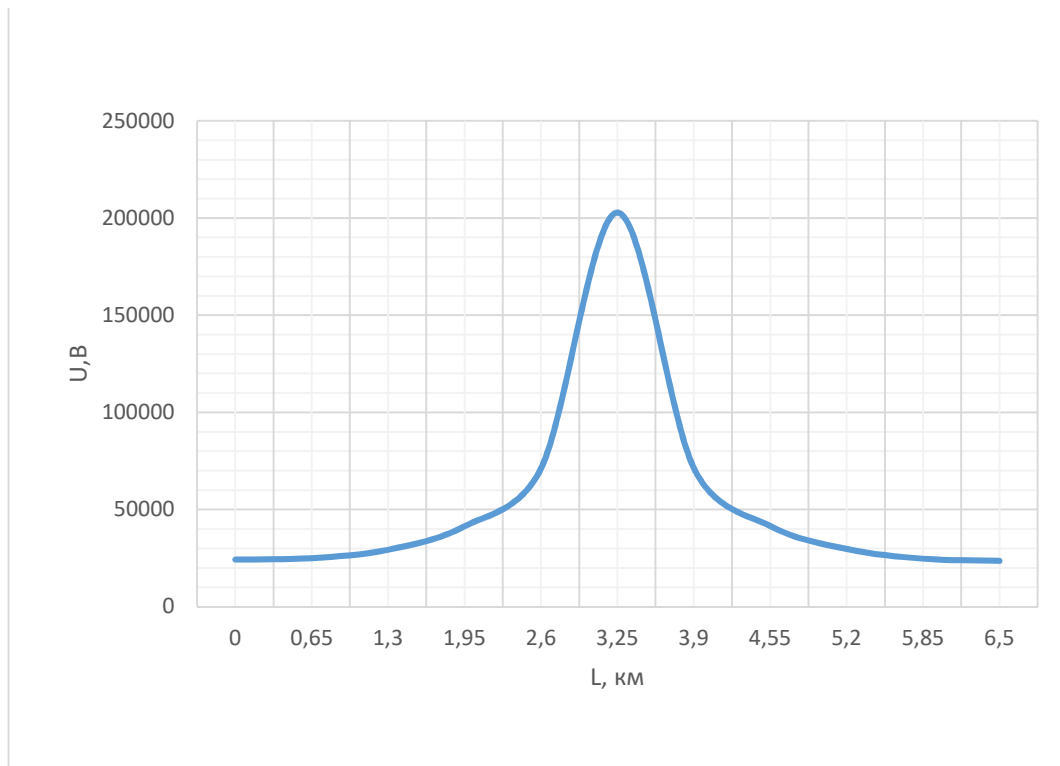


Рисунок 1.17 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 25 м від траси при встановленні ОПН на кожній опорі

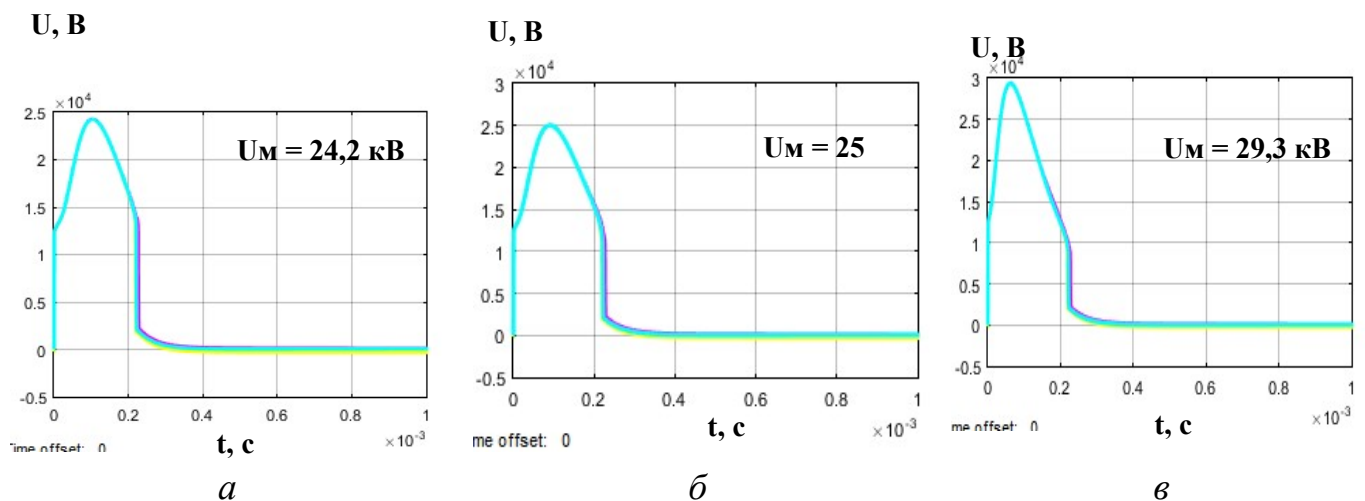


Рисунок 1.18 – Осцилограми напруги при утворенні розряду блискавки в землю поблизу середини лінії на відстані 25 м від траси ПЛ при встановленні ОПН на кожній опорі: а – на початку лінії; б – на відстані 0,65 км від початку лінії; в – на відстані 1,3 км від початку лінії

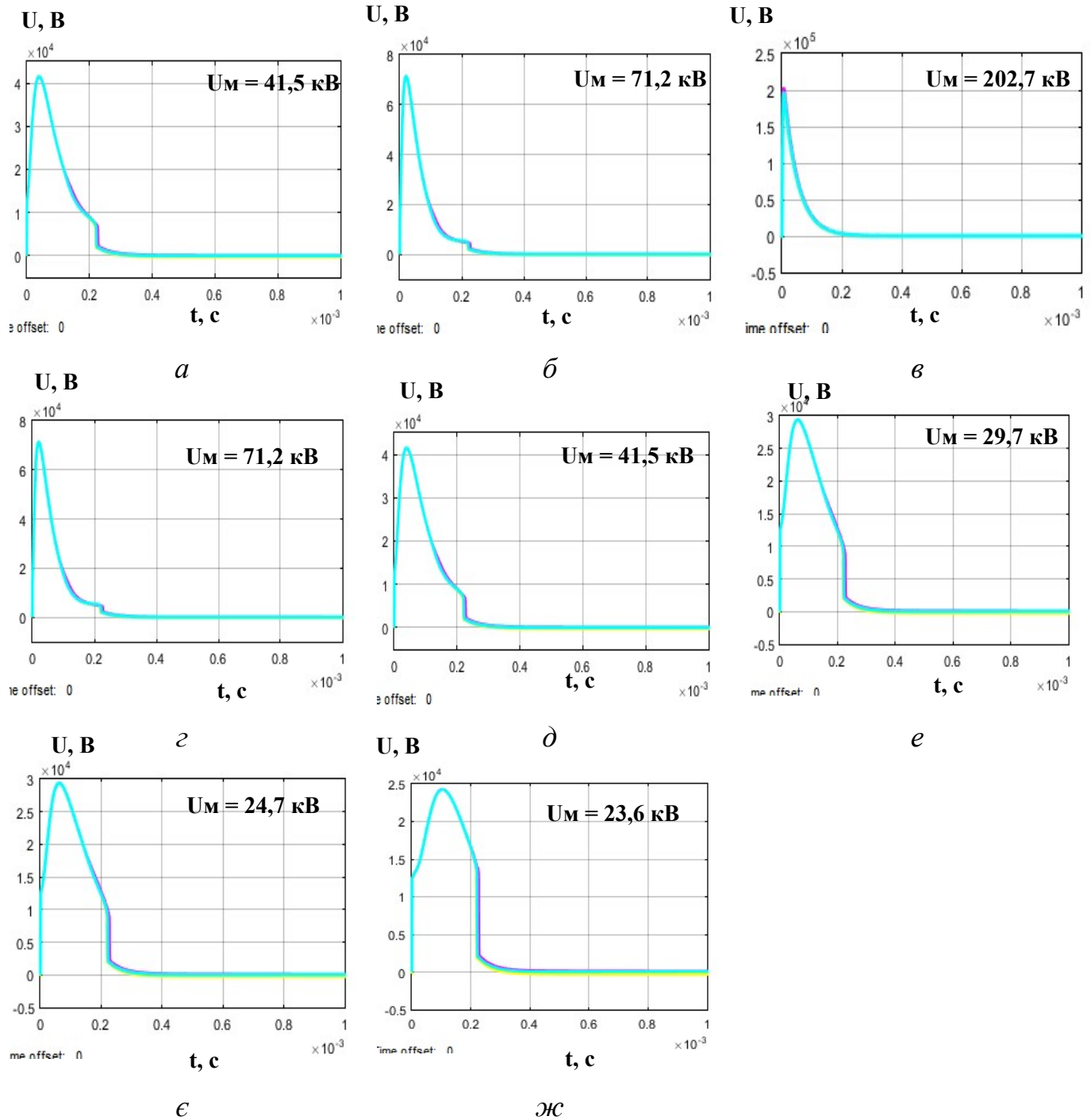


Рисунок 1.19 – Осцилограми напруги при розряді блискавки в землю біля середини лінії на відстані 25 м від траси ПЛ при встановленні ОПН на кожній опорі: а – на відстані 2,1 км від початку лінії; б – на відстані 2,8 км від початку лінії; в – на відстані 3,5 км від початку лінії; г – на відстані 4,2 км від початку лінії; д – на відстані 4,9 км від початку лінії; е – на відстані 5,6 км від початку лінії; є – на відстані 6,3 км від початку лінії; ж – на відстані 7,0 км від початку лінії

На рис.1.20 показано розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розташування ОПН

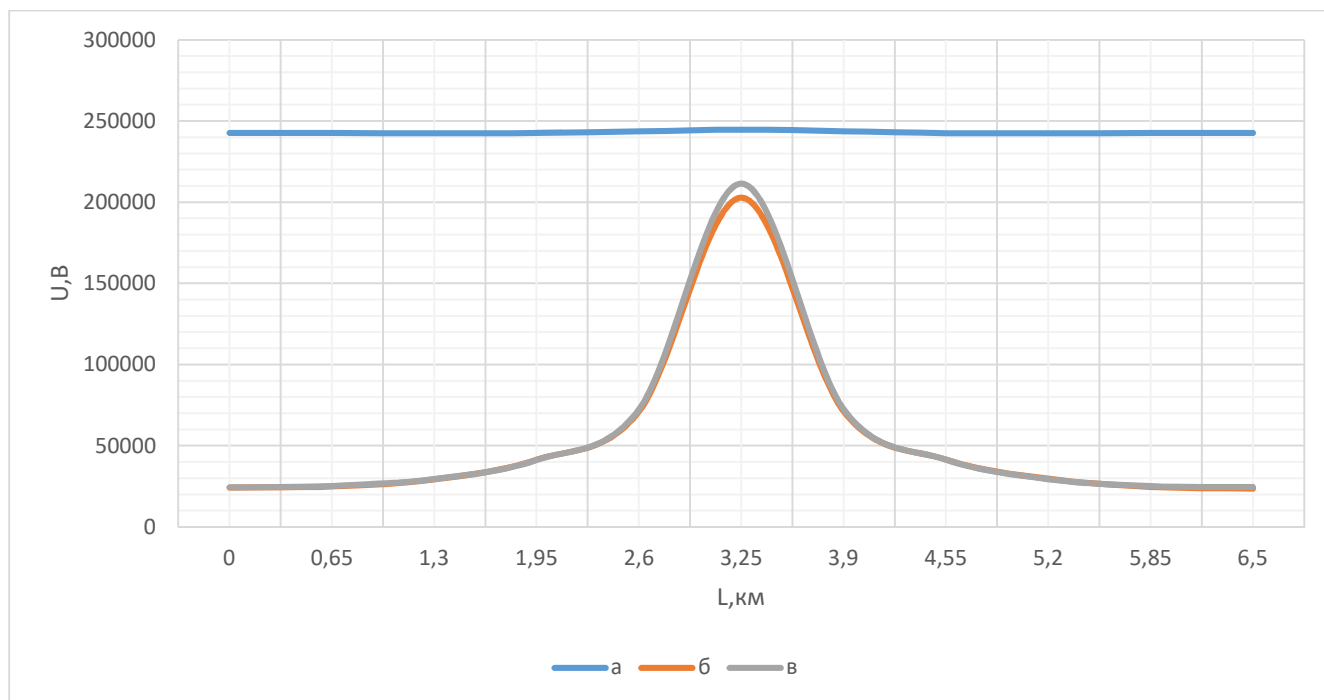


Рисунок 1.20 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розміщення ОПН при ударі розряду блискавки в об'єкт на висоті 0 метрів над землею поблизу середини лінії: а – лінія без ОПН; б – ОПН на кожній опорі; в – ОПН через 130 м;

Можна зробити висновок, що, розташування ОПН на кожній опорі в лінії не дає змоги надійно захистити ЛЕП від наведених перенапруг блискавки при ударів в землю поряд з серединою лінії на відстані 25м, а розташування ОПН на кожній опорі в мережі 10 кВ незначним чином впливає на зниження перенапруги у порівнянні від розташування ОПН через одну опору.

Змоделюємо розряд блискавки в об'єкт на висоті 10 м над землею біля середини лінії на відстані 25 м від траси ЛЕП. В табл. 1.7 наведені результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги.

Таблиця 1.7 – Результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги

Фаза №	$U_0, \text{В}$	$u(t), \text{В}$
Фаза А	211292,5	$251226,783 \cdot \left[e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t} \right]$
Фаза В	228517,406	$271707,196 \cdot \left[e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t} \right]$
Фаза С	204643.183	$243320,745 \cdot \left[e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t} \right]$

На рис 1.21 зображено графік розподілу напруги вздовж траси ПЛ.

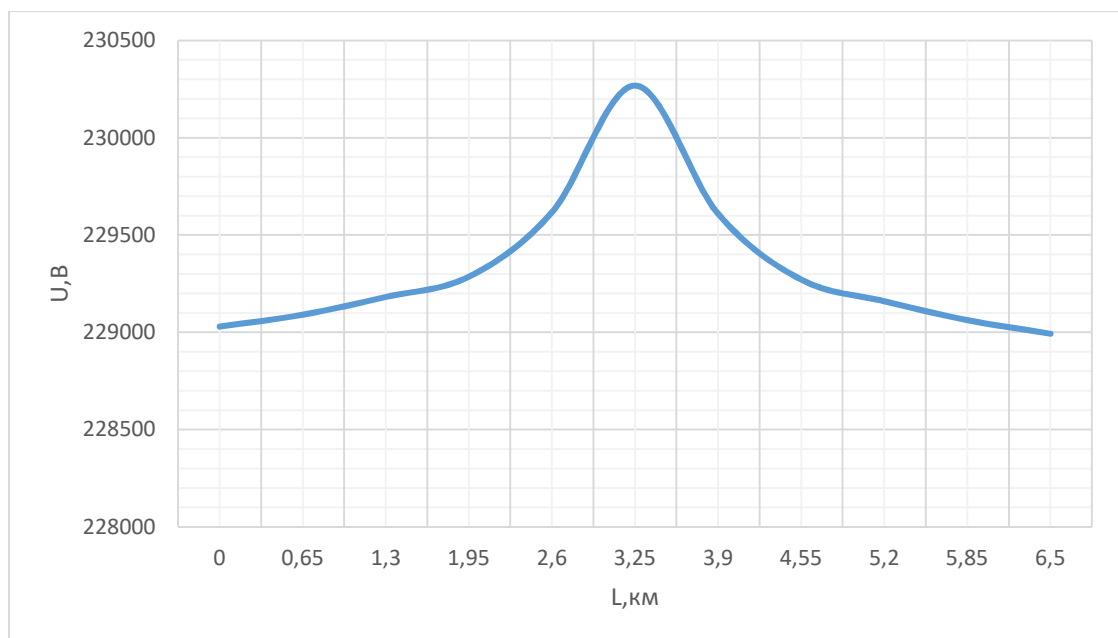


Рисунок 1.21 – Розподіл напруги вздовж траси при розряді блискавки блискавки в об'єкт на висоті 10 м над землею біля середини лінії на відстані 25 м від траси ЛЕП без ОПН

З графіка що напруга вздовж усієї лінії перевищує максимально допустиме значення майже в 3 рази.

Використаємо установку нелінійних обмежувачів перенапруги для наступного дослідження впливу наведеної напруги. Виконаємо моделювання для двох варіантів розміщення ОПН через одну опору рис. – 1.22, та на кожній опорі – рис. 1.23.

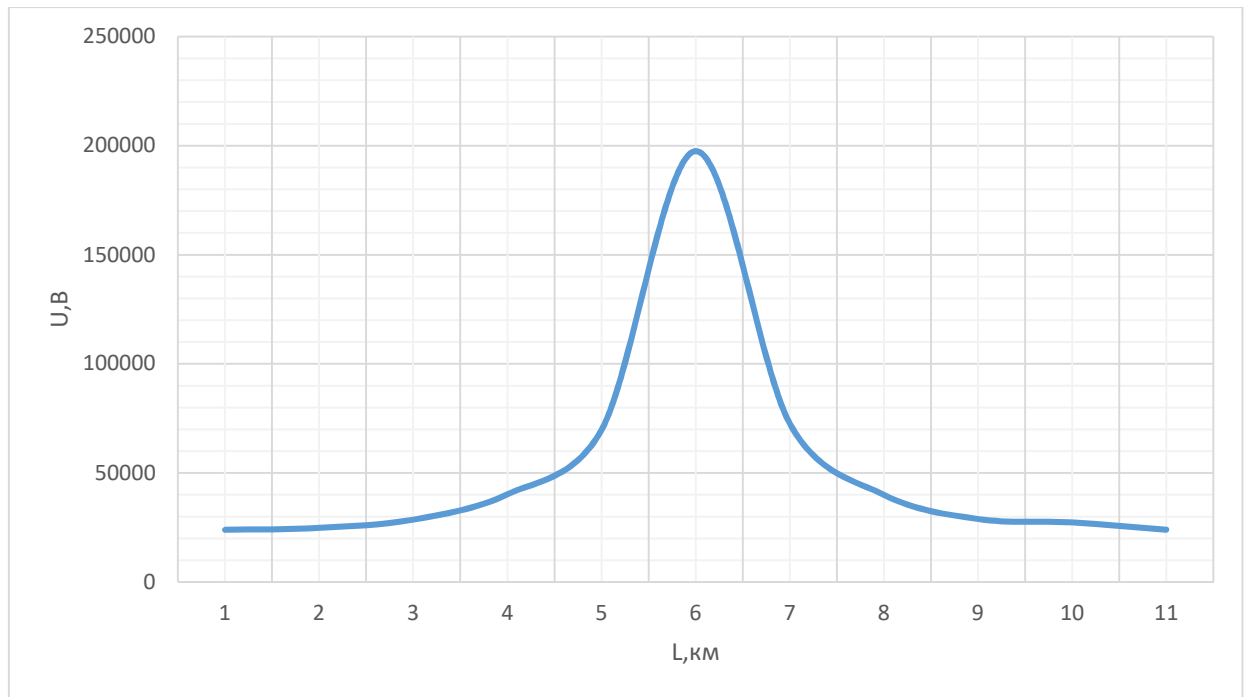


Рисунок 1.22 – Розподіл напруги вздовж траси при розряді блискавки блискавки в об'єкт на висоті 10 м над землею біля середини лінії на відстані 25 м від траси ЛЕП ОПН через 130м.

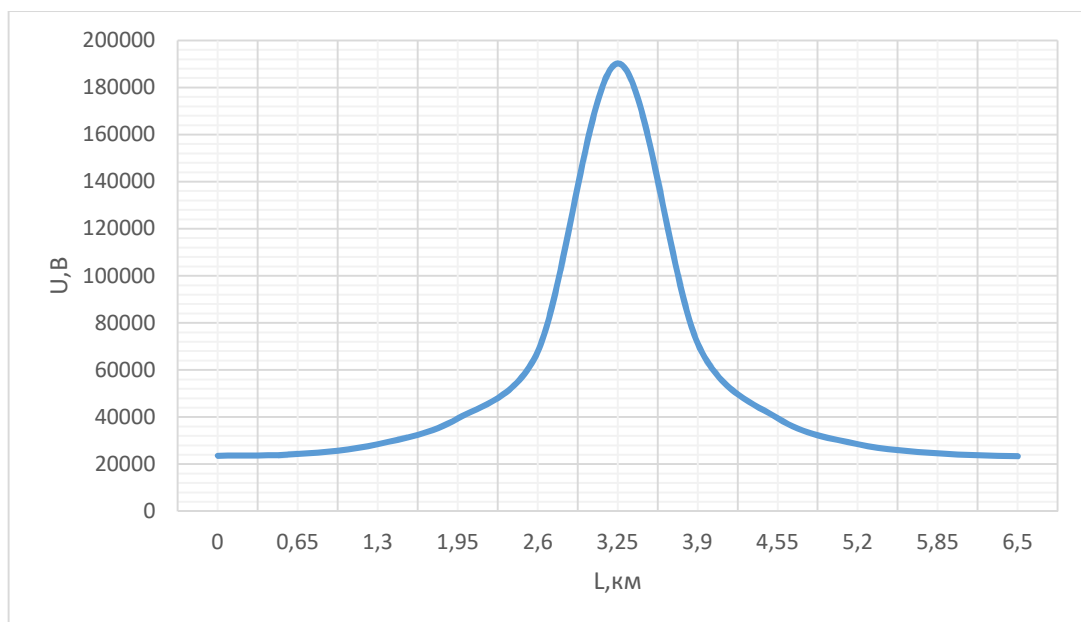


Рисунок 1.23 – Розподіл напруги вздовж траси при розряді блискавки блискавки в об'єкт на висоті 10 м над землею біля середини лінії на відстані 25 м від траси ЛЕП ОПН через 130м.

На рис.1.24 показано розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розташування ОПН

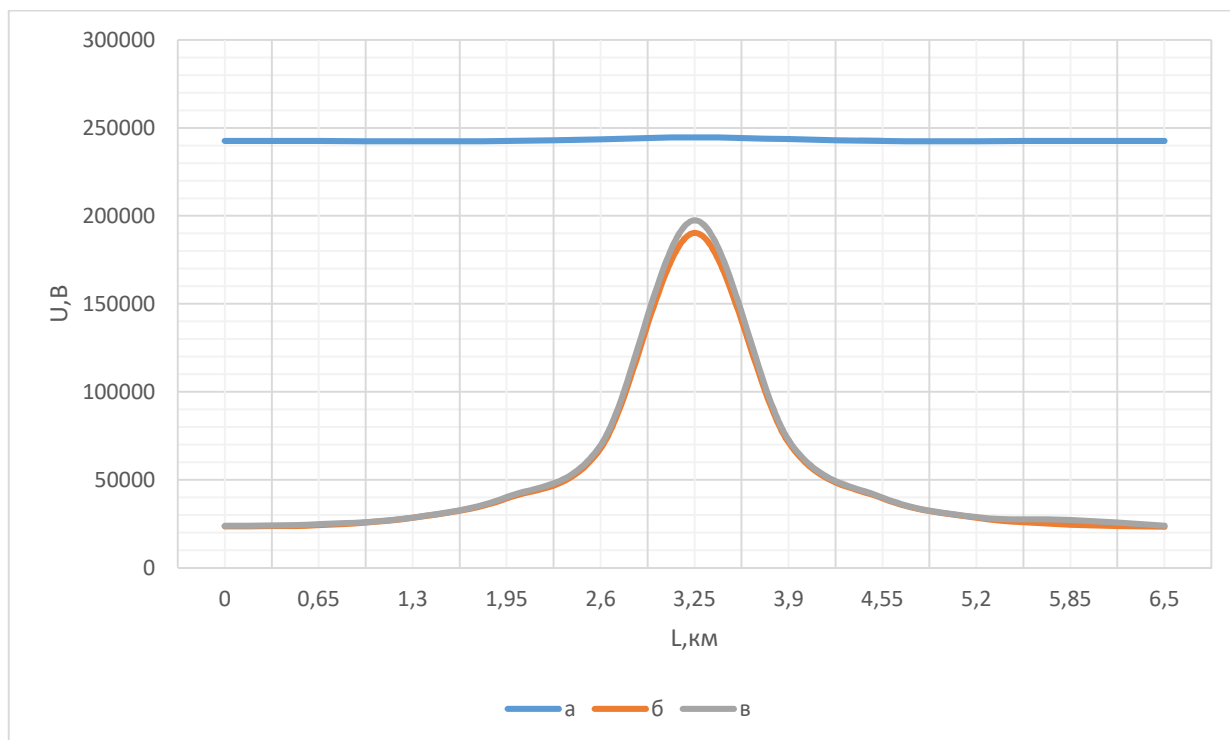


Рисунок 1.24 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розміщення ОПН при ударі розряду блискавки в 25 м від об'єкту на висоті 10 метрів над землею поблизу середини лінії: а) – лінія без ОПН; б) – ОПН на кожній опорі; в) – ОПН через 130 м;

Як видно з графіків при ударі розряду блискавки в 25 м від об'єкту на висоті 10 метрів над землею поблизу середини лінії ОПН Напруга досягає 190 кВ, а отже встановлення ОПН в даному випадку є неефективними.

1.11 Моделювання розряду блискавки в землю та на висоті 10 метрів над нею біля середини лінії на відстані 100 м від траси ЛЕП

Змоделюємо розряд блискавки в землю біля середини лінії на відстані 100 м від траси ЛЕП. В табл. 1.8 наведені результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги.

Таблиця 1.8 – Результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги

Фаза №	$U_0, \text{В}$	$u(t), \text{В}$
Фаза А	56507,609	$67187,547 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза В	63721,529	$75764,898 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза С	55985,052	$66566,227 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$

На рис.1.25 показано розподіл напруги вздовж лінії при розряді блискавки в землю на відстані 100 м від ЛЕП.

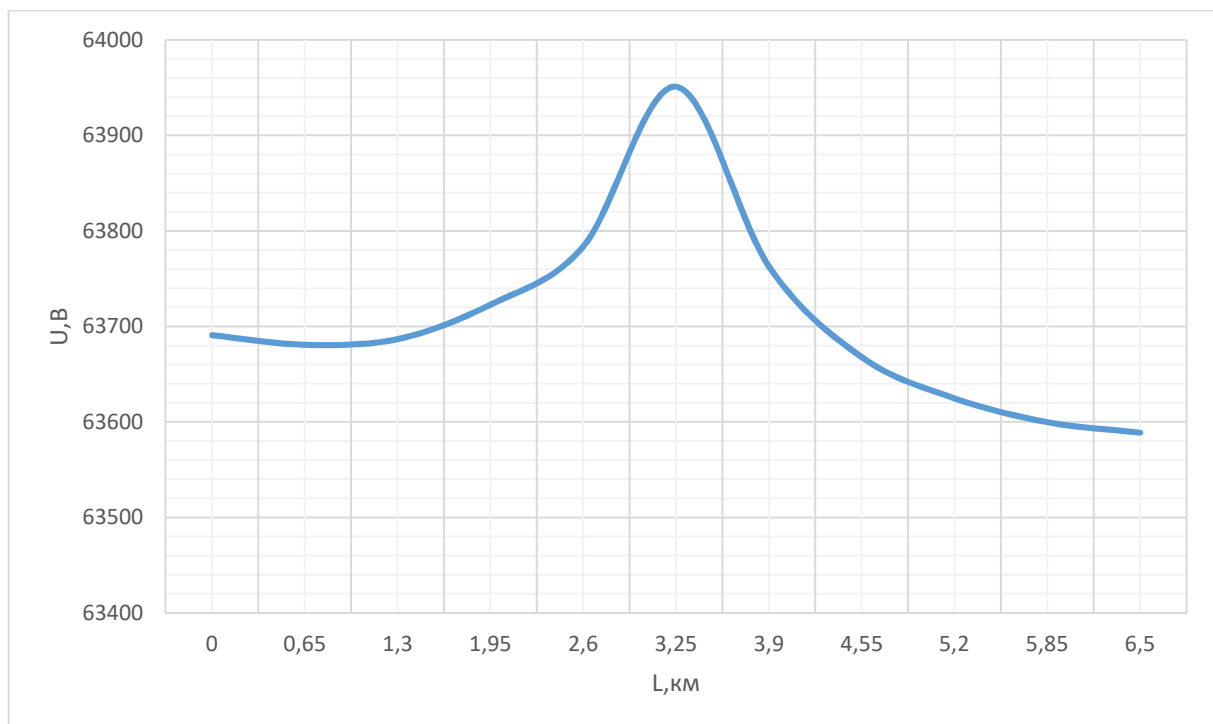


Рисунок 1.25 – Розподіл напруги вздовж траси при розряді блискавки в об'єкт на висоті 10 м над землею біля середини лінії на відстані 25 м від траси ЛЕП ОПН через 130м.

Проведемо моделювання розряду блискавки на висоті 10 м над землею біля середини лінії на відстані 100 м від траси ЛЕП. В табл. 1.9 наведені результати розрахунку параметрів перенапруги.

Таблиця 1.9 – Результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги

Фаза №	$U_0, \text{В}$	$u(t), \text{В}$
Фаза А	56226,189	$66852,939 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза В	63415,003	$75400,439 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза С	55711,302	$66240,738 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$

На рис.1.26 показано розподіл напруги вздовж лінії при розряді блискавки на висоті 10м від землі, відстань до ЛЕП становить – 100 м.

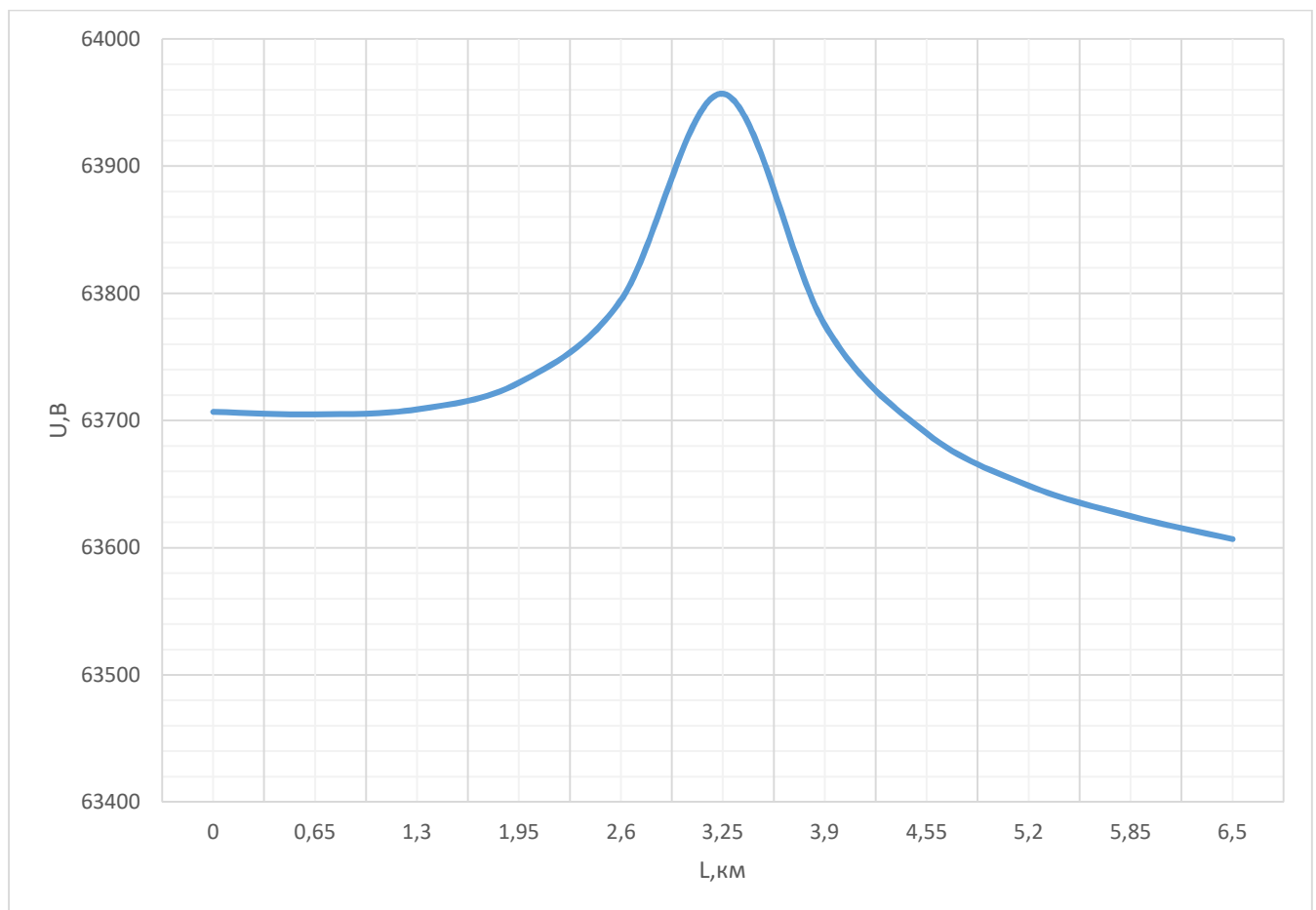


Рисунок 1.26 – Розподіл напруги вздовж траси при розряді блискавки в об'єкт на висоті 10 м над землею біля середини лінії на відстані 25 м від траси ЛЕП без ОПН.

Як бачимо в обох випадках напруга становить 64кВ, а є значно нижче ніж напруга перекриття ізолятора для даного класу напруги. В установленні ОПН немає сенсу.

Проведемо моделювання розряду блискавки в землю на відстані 45,60,70,80 м від середини лінії для визначення перенапруги в лінії без ОПН та з ОПН для визначення меж де встановлення ОПН матиме сенс.

1.12 Моделювання розряду блискавки в землю біля середини лінії на відстані 45,60,70,80 м від траси ЛЕП

. В табл. 1.10 наведені результати розрахунку параметрів перенапруги – розряд блискавки на відстані 45м від лінії.

Таблиця 1.10 – Результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги

Фаза №	U_0 , В	$u(t)$, В
Фаза А	125953,794	$149759,061 \cdot \left[e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t} \right]$
Фаза В	139114,158	$165406,734 \cdot \left[e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t} \right]$
Фаза С	123395,821	$146717,631 \cdot \left[e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t} \right]$

На рис.1.27, рис.1.28, рис.1.29 показано розподіл напруги вздовж лінії при розряді блискавки в землю, відстань до ЛЕП становить 45 м, без ОПН, з ОПН на кожній опорі та з встановленням ОПН через 130 м відповідно.

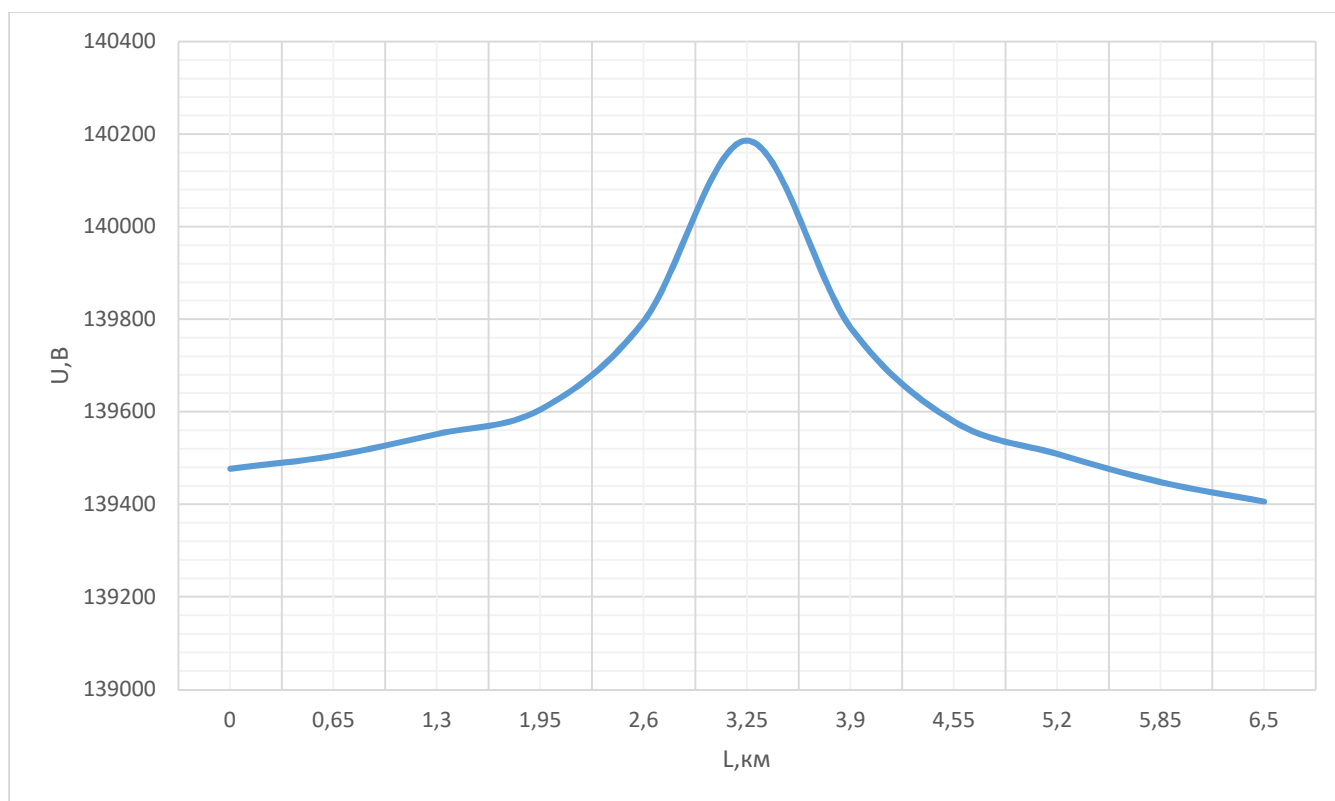


Рисунок 1.27 – Розподіл напруги вздовж лінії при розряді блискавки в землю, відстань до ЛЕП становить 45 м – без ОПН

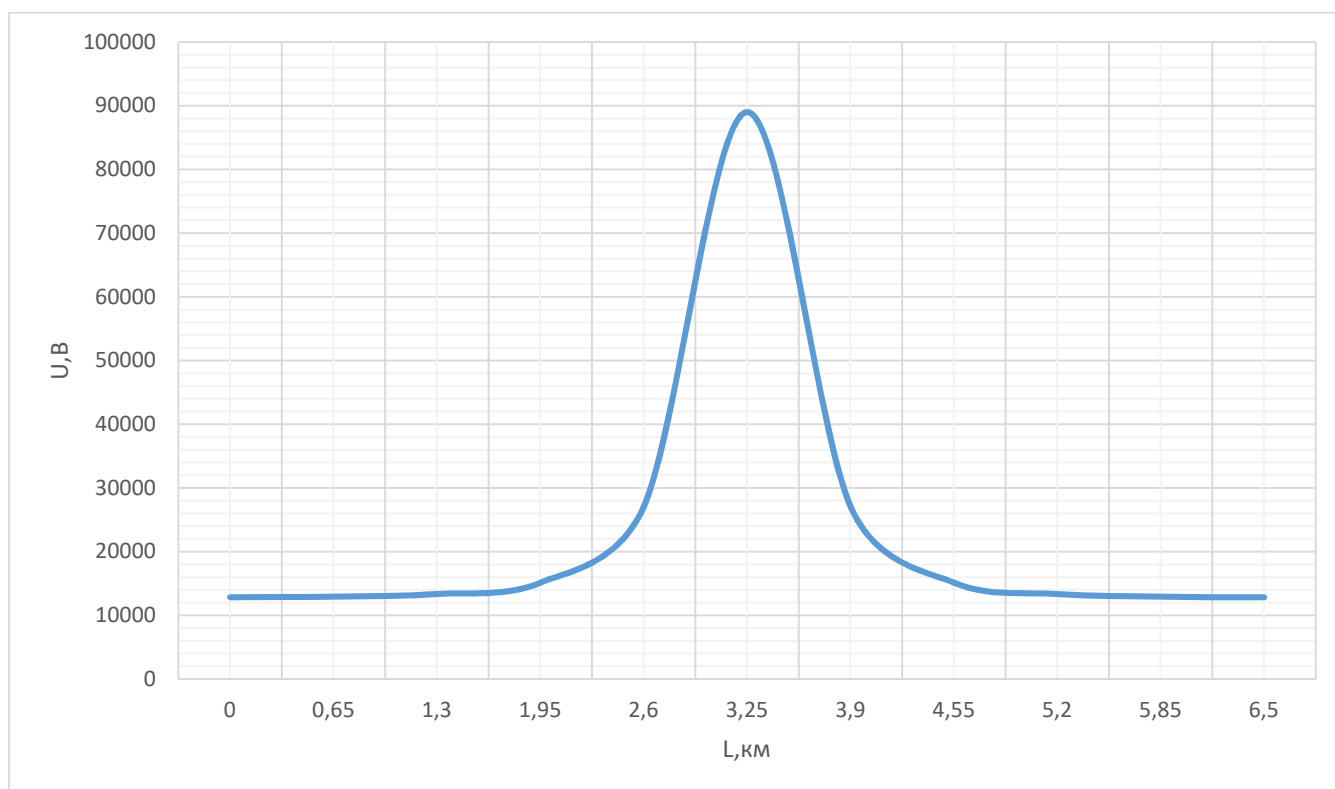


Рисунок 1.28 – Розподіл напруги вздовж лінії при розряді блискавки в землю, відстань до ЛЕП становить 45 м – з ОПН на кожній опорі

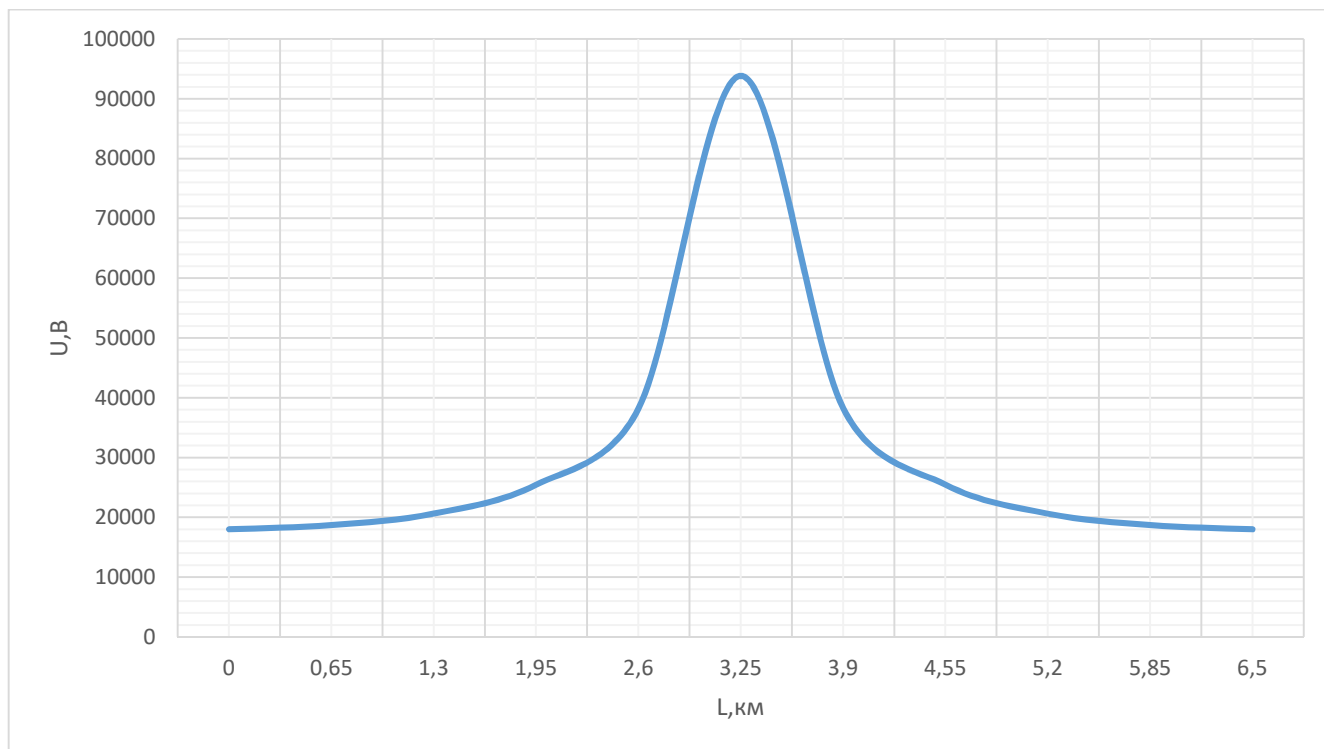


Рисунок 1.29 – Розподіл напруги вздовж лінії при розряді блискавки в землю, відстань до ЛЕП становить 45 м – ОПН через 130 м відповідно

На рис. 1.24, рис. 1.25, рис. 1.26 видно що максимальне значення перенапруги в лінії без встановлення ОПН становить 140,1 кВ, зі встановленням ОПН на кожній опорі 89 кВ, а при встановленні ОПН через 130м 93,8 кВ, що перевищує на 7 кВ та 11,3кВ максимально допустиме значення у 82 кВ. В роботі [31] , проведено моделювання розряду блискавки в землю на відстані 50м від ПЛ. значення перенапруги без ОПН складало 126 кВ, при встановленні ОПН на кожному опорі напруга в мережі знизилася до 76 кВ, а при установці ОПН через одну 82 кВ. Можна зробити висновок що встановлення ОПН на кожній опорі є економічно недоцільним і встановлювати ОПН в мережі класом напруги 10кВ більш доцільно через одну опору, а максимальне значення перенапруги яке може обмежити ОПН має виникати на відстані не менше 50 м від лінії при розряді блискавки в землю.

На рис.1.30 показано розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розташування ОПН

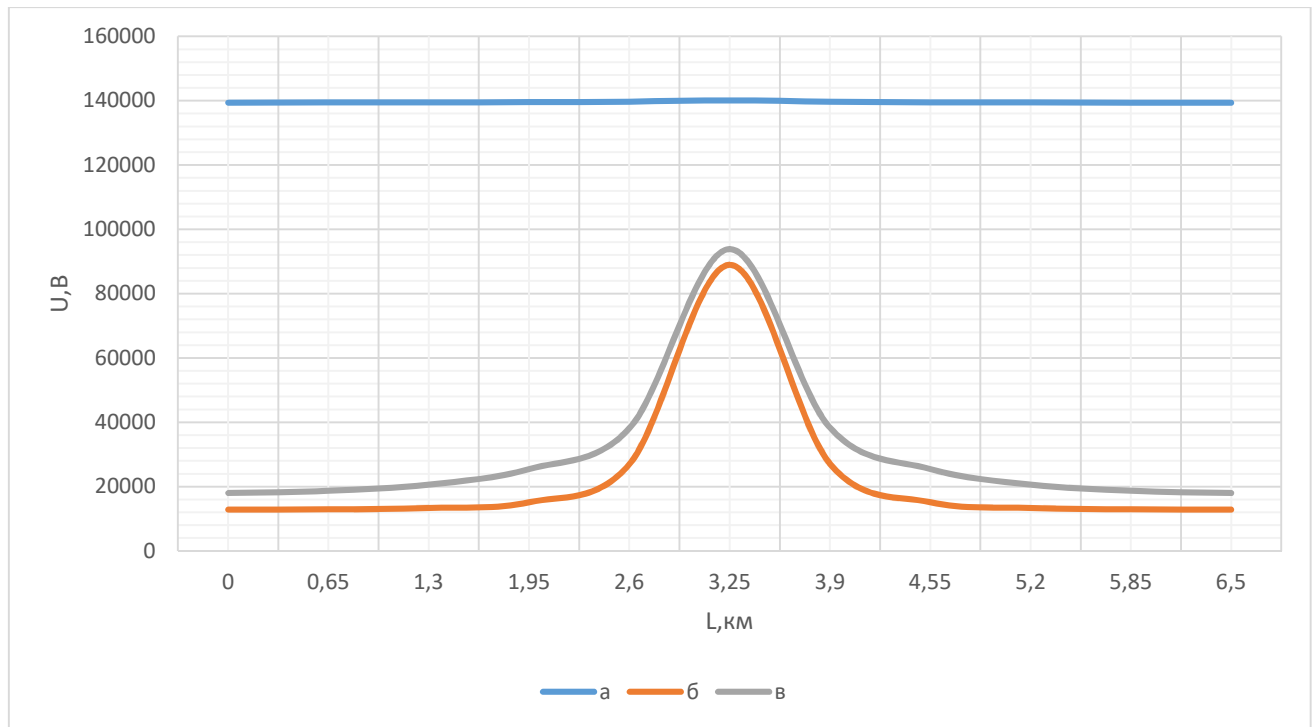


Рисунок 1.30 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розміщення ОПН при ударі розряду блискавки в 45 м від об'єкту в землю поблизу середини лінії: а – лінія без ОПН; б – ОПН на кожній опорі; в – ОПН через 130 м;

Змоделюємо розряд блискавки в землю біля середини лінії на відстані 60 м від траси ЛЕП. В табл. 1.11 наведені результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги.

Таблиця 1.11 – Результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги

Фаза №	$U_0, \text{В}$	$u(t), \text{В}$
Фаза А	94368,127	$112203,703 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза В	105219,156	$125105,576 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза С	92922,075	$110484,347 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$

На рис.1.31, рис.1.32 показано розподіл напруги вздовж лінії при розряді блискавки в землю, відстань до ЛЕП становить 60м, без ОПН та з встановленням ОПН через 130 м відповідно.

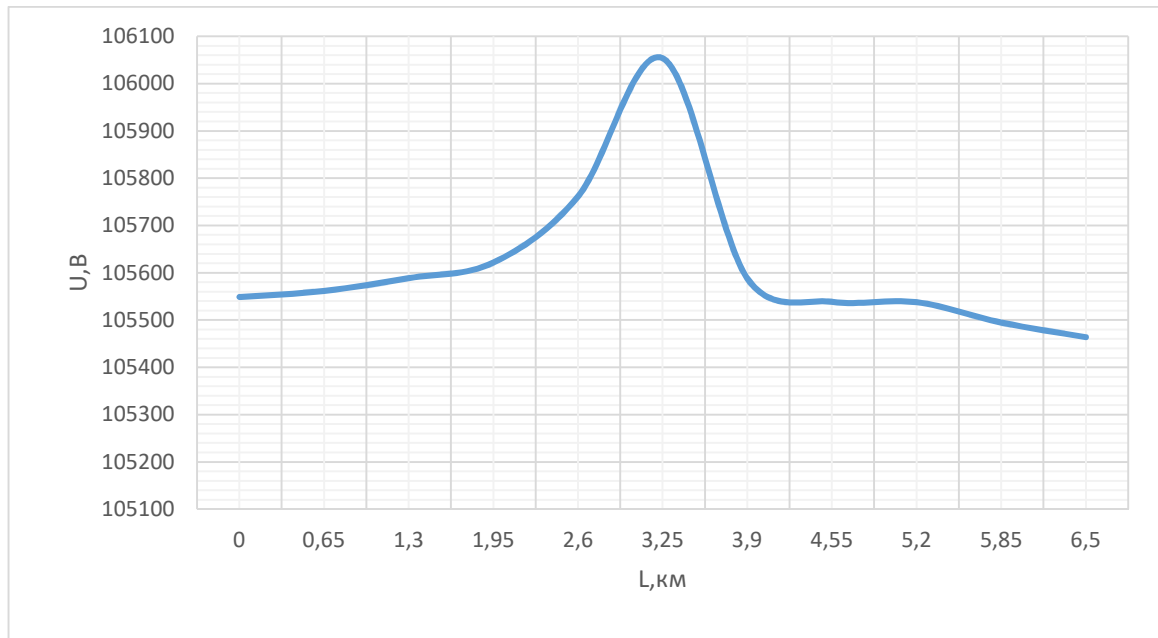


Рисунок 1.31 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при утворенні розряду блискавки в землю біля середини лінії на відстані 60 м від траси ЛЕП без ОПН

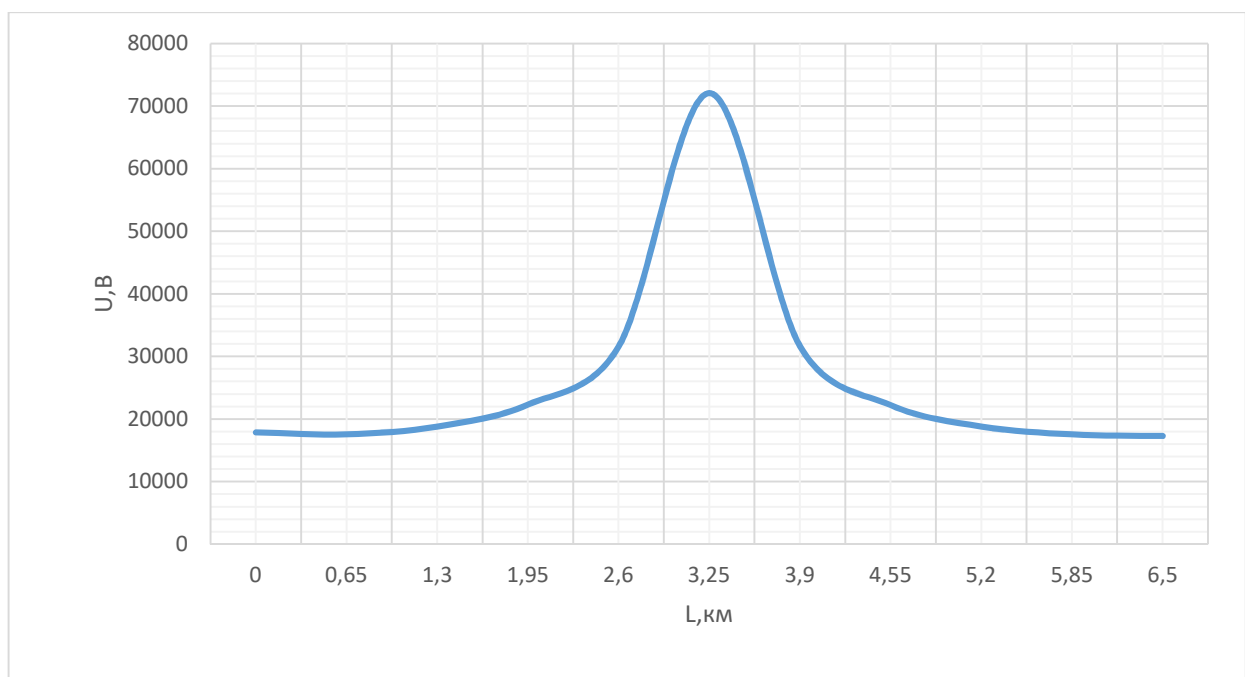


Рисунок 1.32 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при утворенні розряду блискавки в землю біля середини лінії на відстані 60 м від траси ЛЕП з ОПН через 130м

На рис.1.33 показано розподіл напруги вздовж траси ПЛ Без ОПН та встановлення ОПН через 130м.

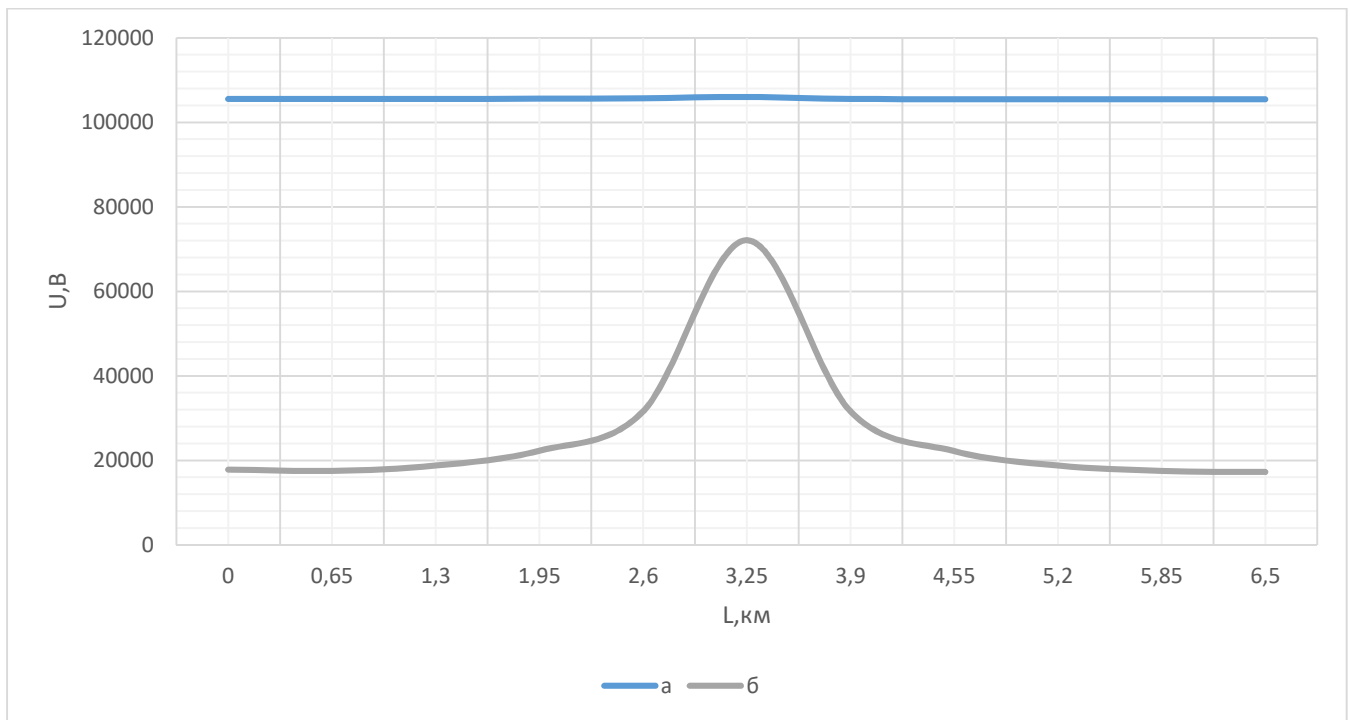


Рисунок 1.33 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розміщення ОПН при ударі розряду блискавки в 60 м від об’єкту в землю поблизу середини лінії: а – лінія без ОПН;
б – ОПН через 130 м;

Змоделюємо розряд блискавки в землю біля середини лінії на відстані 70 м від траси ЛЕП. В табл. 1.12 наведені результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги.

Таблиця 1.12 – Результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги

Фаза №	$U_0, \text{В}$	$u(t), \text{В}$
Фаза А	80836,915	$96115,092 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза В	90497,538	$107601,573 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза С	79772,774	$94849,828 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$

На рис.1.34, рис.1.35 показано розподіл напруги вздовж лінії при розряді блискавки в землю, відстань до ЛЕП становить 70м, без ОПН та з встановленням ОПН через 130 м відповідно.

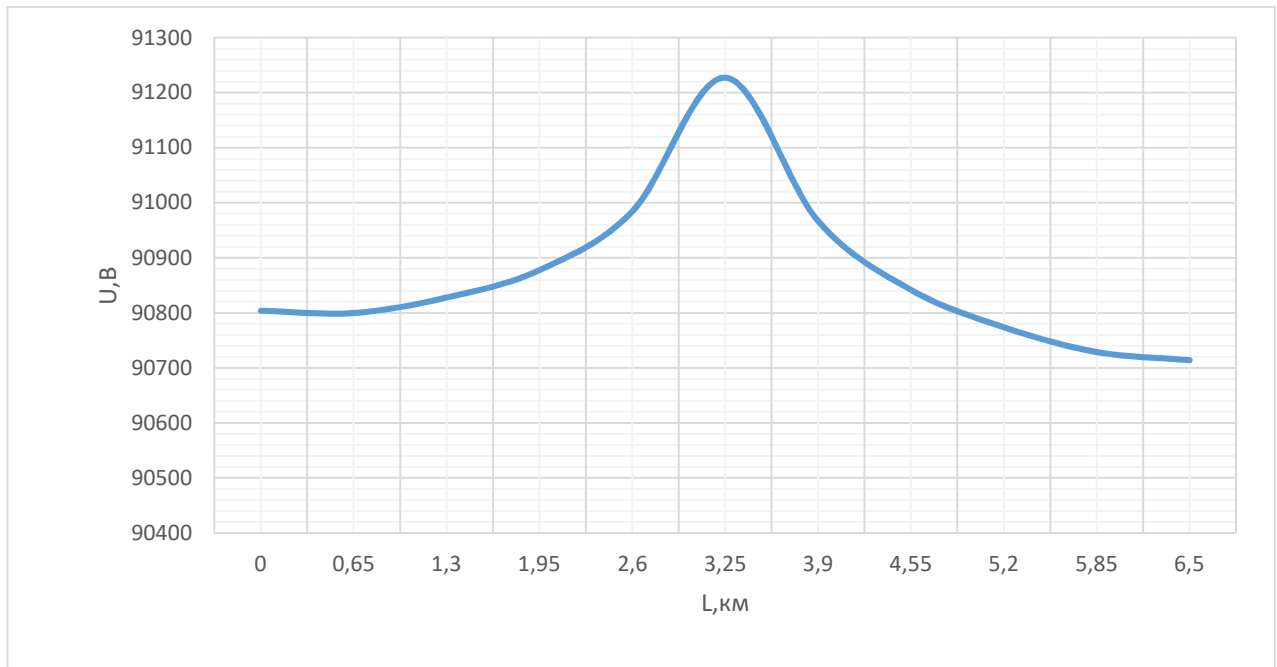


Рисунок 1.34 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при утворенні розряду блискавки в землю біля середини лінії на відстані 70 м від траси ЛЕП без ОПН

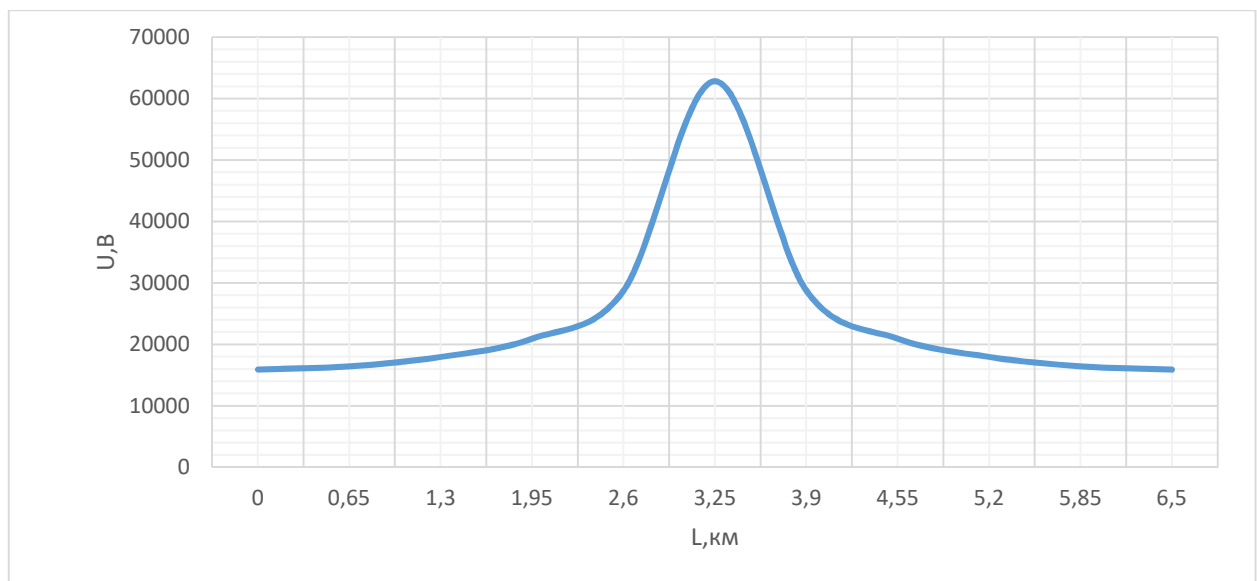


Рисунок 1.35 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при утворенні розряду блискавки в землю біля середини лінії на відстані 70 м від траси ЛЕП з ОПН через 130м

На рис.1.33 показано розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розташування ОПН

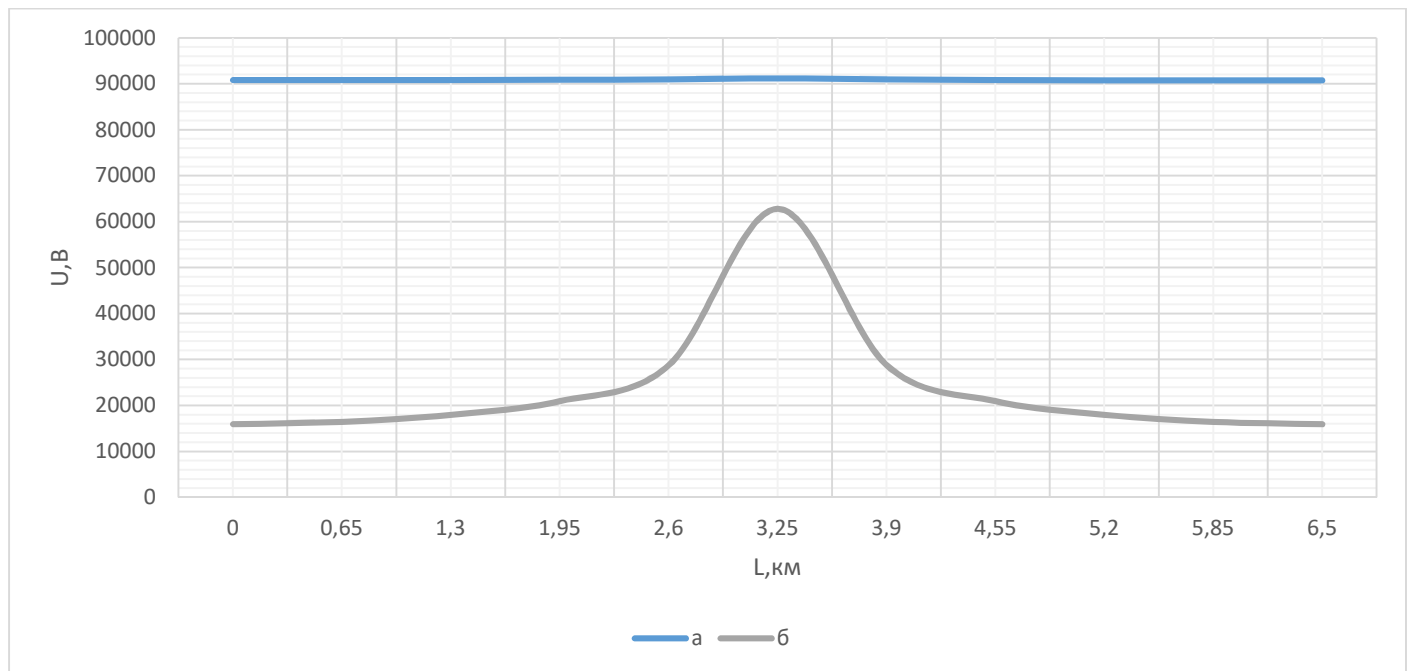


Рисунок 1.33 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розміщення ОПН при ударі розряду блискавки в 80 м від об'єкту в землю поблизу середини лінії: а – лінія без ОПН;
в – ОПН через 130 м;

Змоделюємо розряд блискавки в землю біля середини лінії на відстані 80 м від траси ЛЕП. В табл. 1.13 наведені результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги.

Таблиця 1.13 – Результати розрахунку параметрів індукованої перенапруги

Фаза №	$U_0, \text{В}$	$u(t), \text{В}$
Фаза А	80836,915	$96115,092 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза В	90497,538	$107601,573 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$
Фаза С	79772,774	$94849,828 \cdot [e^{-21660,85 \cdot t} - e^{-625000 \cdot t}]$

На рис.1.34, рис.1.35 показано розподіл напруги вздовж лінії при розряді блискавки в землю, відстань до ЛЕП становить 80м, без ОПН та з встановленням ОПН через 130 м відповідно.

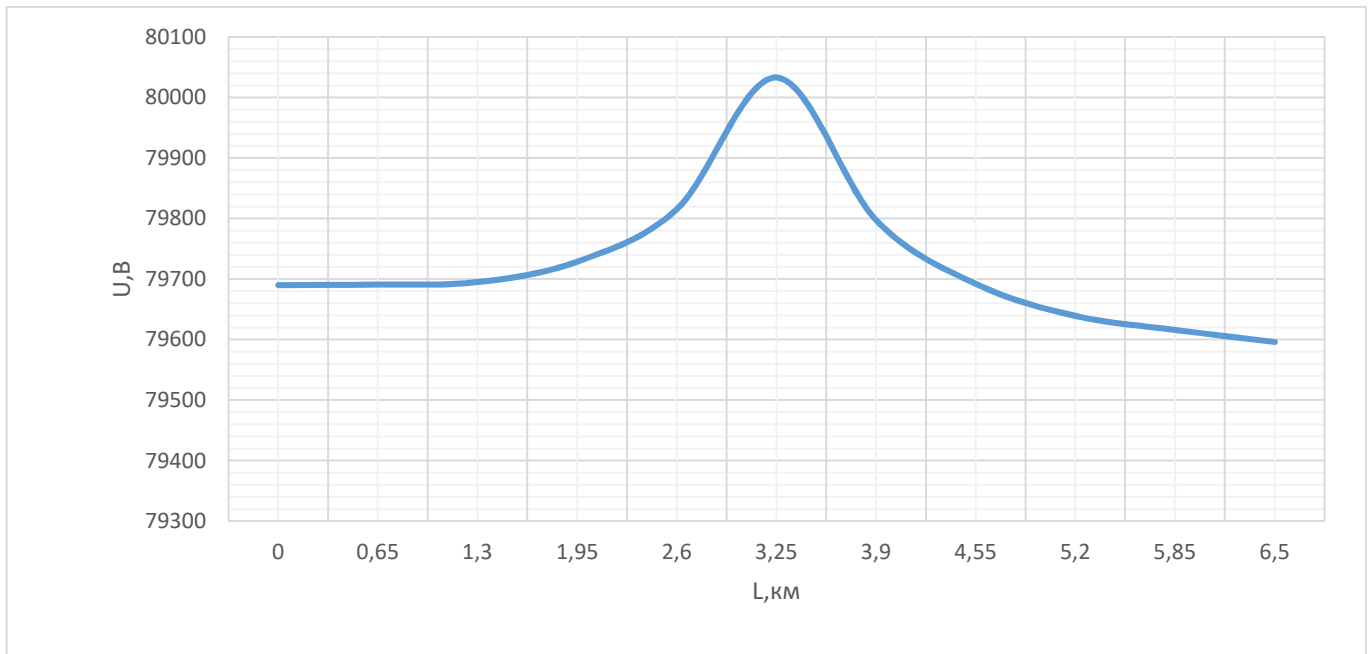


Рисунок 1.34 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при утворенні розряду блискавки в землю біля середини лінії на відстані 80 м від траси ЛЕП без ОПН

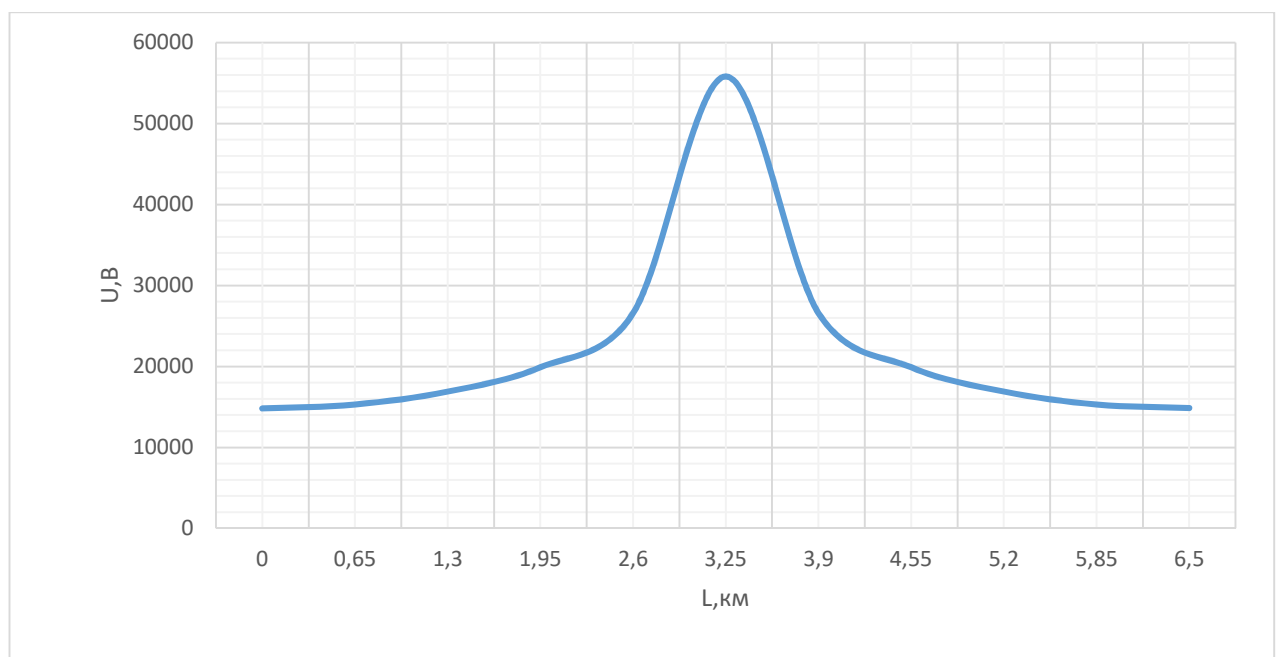


Рисунок 1.35 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ при утворенні розряду блискавки в землю біля середини лінії на відстані 80 м від траси ЛЕП з ОПН через 130м

На рис.1.36 показано розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розташування ОПН

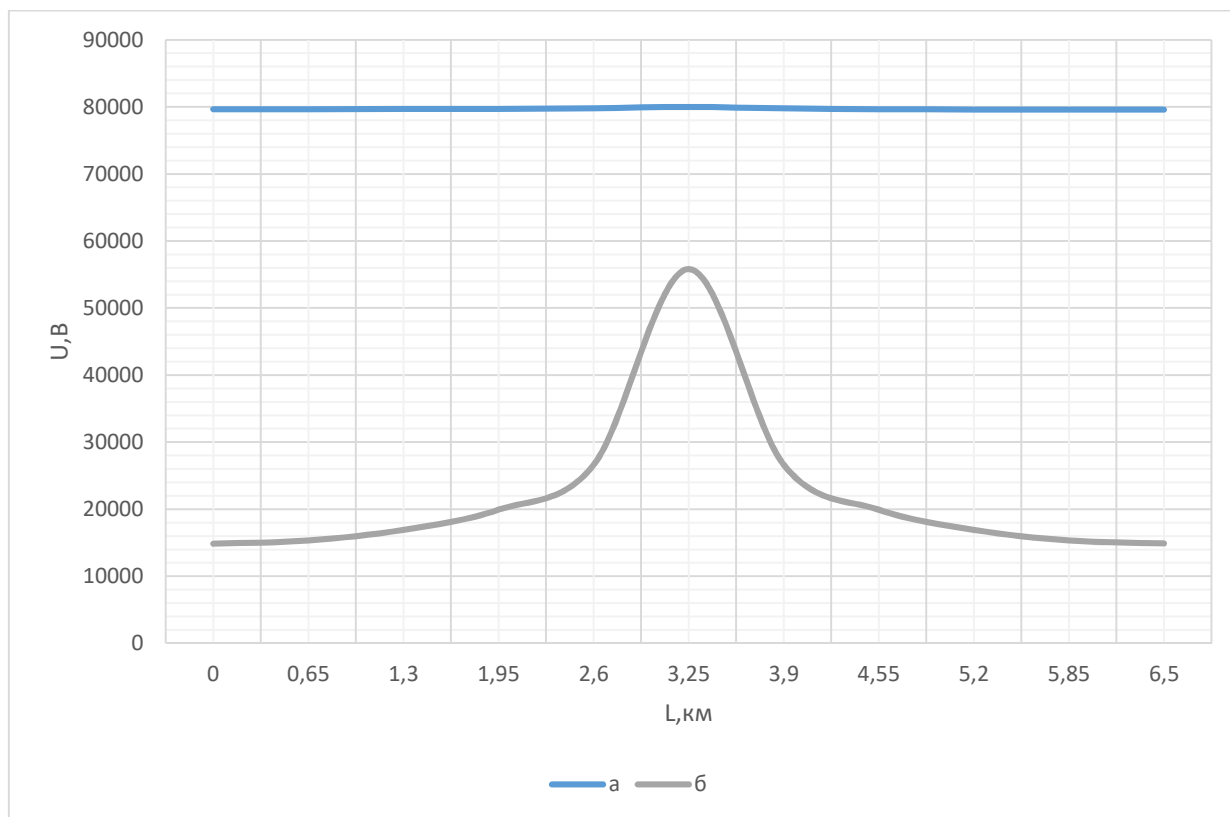


Рисунок 1.36 – Розподіл напруги вздовж траси ПЛ для різних варіантів розміщення ОПН при ударі розряду блискавки в 80 м від об’єкту в землю поблизу середини лінії: а – лінія без ОПН; в – ОПН через 130 м;

В табл. 1.14 наведено результати максимальних значень перенапруг в залежності від віддаленості розряду блискавки від лінії.

В таблиця. 1.14 наведено результати максимальних значень перенапруг в залежності від віддаленості розряду блискавки від лінії.

Відстань розряду від ЛЕП, м	25	45	60	70	80	100
U, кВ без ОПН	244,7	140,2	106	91,2	80	63,9
U, кВ ОПН через 130 м	202,7	89	72,1	62,8	55,8	-

На рис 1.37 зображено розподіл максимальних значень перенапруг на лінії в залежності від віддаленості розряду блискавки від лінії.

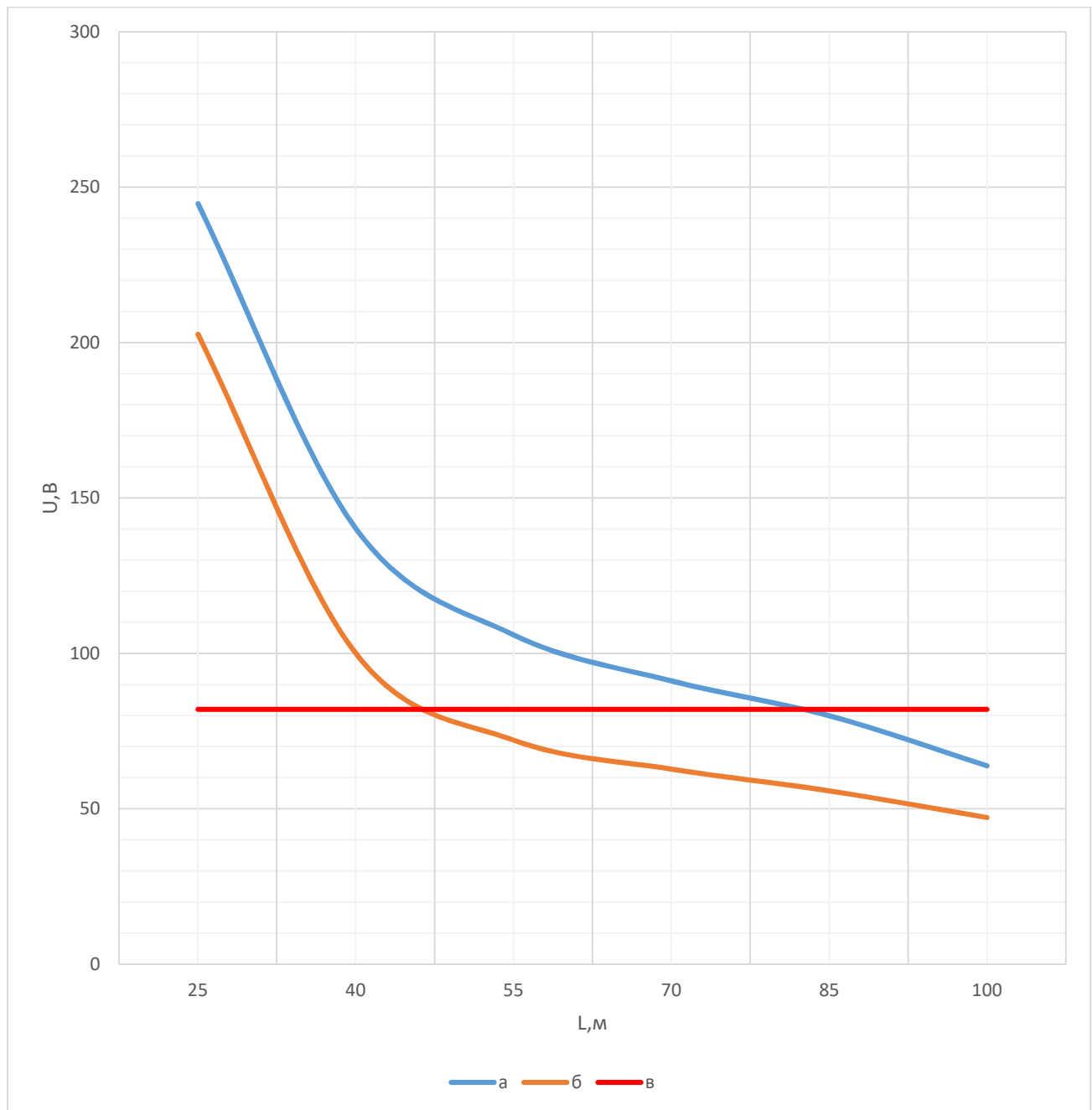


Рисунок 1.37 – Розподіл максимальних значень перенапруг на лінії в залежності від віддаленості розряду блискавки від лінії:
а без ОПН; б встановлення ОПН через 130м; в допустиме значення перенапруги (82кВ)

Висновок до розділу 1

На основі проведеного моделювання розряду блискавки в землю біля середини лінії при різній віддаленості від лінії та аналізу, було виявлено, що при ударі блискавки в землю на відстані 45м від лінії максимальне значення перенапруги в лінії без встановлення ОПН становить 140,1 кВ, зі встановленням ОПН на кожній опорі 89 кВ, а при встановленні ОПН через 130м 93,8 кВ, що перевищує на 7 кВ та 11,3кВ за максимального допустимого значення у 82 кВ. З роботи [31] , при моделювання розряду блискавки в землю на відстані 50м від ПЛ. значення перенапруги без ОПН складало 126 кВ, при встановленні ОПН на кожному опорі напруга в мережі знизилася до 76 кВ, а при установці ОПН через одну 82 кВ. Встановлення ОПН на кожній опорі є економічно недоцільним і встановлювати ОПН в мережі класом напруги 10кВ більш доцільно через одну опору, а максимальне значення перенапруги яке може обмежити ОПН має виникати на відстані не менше 50 м від лінії при розряді блискавки в землю. При віддаленні розряду блискавки більш ніж на 80м значення перенапруги в лінії складає менше напруги перекриття ізолятора. Таким чином застосування ОПН на лінії через одну опору забезпечує захист від перекриття ізолятора при ударі блиски в землю на відстані 50м-80м від лінії.

2 ПРОЕКТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ПІДСТАНЦІЇ 110/35/10 кВ

2.1 Опис вузла проектованої підстанції районної електричної мережі

У даному розділі спроектована підстанція 110/35/10 кВ розміщена у районній електричній мережі 110 кВ. До вузла в якому знаходиться підстанція підходять три ПЛЗ проводом марки АС-240/32, АС-120/19, АС-70/11.

Сумарний опір прямої послідовності мережі в якій знаходиться трансформатор становить $x_{мп} = 10,5$ Ом.

Сумарний опір нульової послідовності мережі в якій знаходиться трансформатор становить $x_{мн} = 18$ Ом.

Навантаження на стороні СН $S_{сн} = 10,5$ МВА

Навантаження на стороні НН $S_{нн} = 6,5$ МВА

Проектована підстанція є прохідною, двотрансформаторною (2 паралельно працюючі трансформатори типу ТДТН-16000/110).

2.2 Опис головної схеми електричних з'єднань підстанції

Опис схеми і конструкції ЗРП-10 кВ та ВРП-35 кВ

ЗРП-10 кВ виконано схемою з однією секціонованою системою шин з вимикачем (схема 10-1). Виконання ВРП- 35 кВ аналогічне – однією секціонованою системою шин (схема 35-9).

Для обмеження струму КЗ та забезпечення можливості ремонту збірних шин передбачається ШСВ – вимкнений в нормальному режимі роботи. При аварійному чи плановому вимкненні одного трансформатора, ШСВ автоматично вмикається пристроєм АВР. Основний плюс схеми є простота і економічність, але поряд з цим вона має ряд недоліків:

а) На весь час ремонту, необхідно відключати всю секцію збірних шин;

б) під час ремонту вимикачів приєднань необхідно відключати відповідне приєднання;

в) при короткому замиканні на збірних шинах повністю відключається дана секція.

Саму тому I та II категорія споживачів необхідно заживити від різних секцій РП.

Опис схеми ВРП-110 кВ

ВРП-110 кВ виконано по схемі одна робоча, секціонована вимикачем, і обхідна система шин. Схема забезпечує безперервне електропостачання при ремонті.

2.3 Розрахунок струмів короткого замикання на підстанції

Для визначення обладнання на підстанції виконується розрахунок максимальних значень струмів короткого замикання. Розрахунковими точками є шини ВН, СН і НН підстанції 1.

Базисні величини для розрахунку:

$$S_6 = 1000 \text{ МВА};$$

$$U_6 = 115 \text{ кВ.}$$

обчислимо базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА.}$$

Для мережі опір, обрахуємо опір прямої послідовності у відносних одиницях.

$$x_{\text{екв}}^* = x_{\text{мп}} \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = 10,5 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,794 \text{ в. о.}$$

Схема заміщення на рис. 2.1.

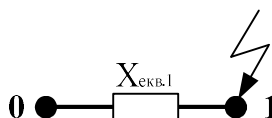


Рисунок 2.1 – Еквівалентна схема заміщення прямої послідовності

При з'єднанні обмоток ВН-СН-НН трансформатора за схемою Y-Y-Δ обмотка на стороні 35 кВ струмом нульової послідовності не обтікається. Розглянутий трансформатор для струмів нульової послідовності може бути представлений двообмотковим, в схему заміщення вноситься опором X_{B-H} .

Визначимо опір нульової послідовності для мережі у відносних одиницях.

$$x_{\text{екв.0}}^* = x_{\text{мн}} \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = 18 \cdot \frac{1000}{115^2} = 1,361 \text{ в. о.}$$

На рис. 2.2 представлена однолінійна схема підстанції 110/35/10 кВ для розрахунку струмів короткого замикання.

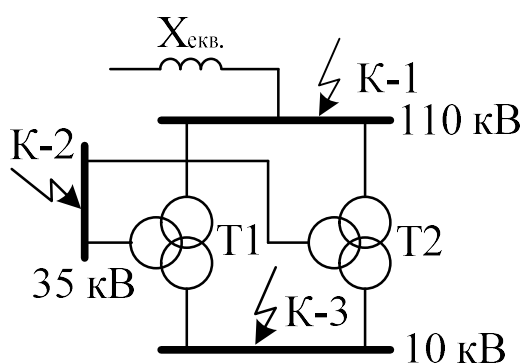


Рисунок 2.2 – Однолінійна схема ПС

Розрахунок трифазного короткого замикання на стороні ВН

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-1:

$$I_{\text{п0}}^{(3)} = \frac{I_6}{x_{\text{екв.1}}} = \frac{5,02}{0,794} = 6,322 \text{ кА.}$$

Визначимо ударний струм КЗ в точці К-1:

$$i_y^{(3)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}^{(3)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,322 = 16,09 \text{ кА,}$$

де $k_y = 1,8$ – ударний коефіцієнт.

Визначимо повний струм КЗ в точці К-1:

$$I_{\text{п}}^{(3)} = I_{\text{п0}}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 6,322 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 9,546 \text{ кА.}$$

Розрахуємо аналогічні величини при двофазному короткому замиканні в точці К-1:

Коефіцієнт пропорційності при двофазному короткому замиканні:

$$m^{(2)} = \sqrt{3}.$$

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-1:

$$I_{\text{п0}}^{(2)} = m^{(2)} \cdot \frac{I_6}{x_{\text{екв.}}^{(2)}} = \sqrt{3} \cdot \frac{5,02}{1,588} = 5,475 \text{ кА},$$

$$\text{де } x_{\text{екв.}}^{(2)} = x_{\text{екв.1}} + x_{\text{екв.2}} = 0,794 + 0,794 = 1,588 \text{ в. о.}$$

Величина ударного струму:

$$i_y^{(2)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}^{(2)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,475 = 13,924 \text{ кА}.$$

Величина повного струму КЗ:

$$I_{\text{п}}^{(2)} = I_{\text{п0}}^{(2)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 5,475 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 8,289 \text{ кА}.$$

Розрахуємо аналогічні величини при однофазному короткому замиканні в точці К-1:

Коефіцієнт пропорційності під час однофазного КЗ:

$$m^{(1)} = 3.$$

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-1:

$$I_{\text{п0}}^{(1)} = m^{(1)} \cdot \frac{I_6}{x_{\text{екв.}}^{(1)}} = 3 \cdot \frac{5,02}{2,949} = 5,106 \text{ кА},$$

$$\text{де } x_{\text{екв.}}^{(1)} = x_{\text{екв.1}} + x_{\text{екв.2}} + x_{\text{екв.0}} = 0,794 + 0,794 + 1,361 = 2,949 \text{ в. о.}$$

Визначимо ударний струм КЗ в точці К-1:

$$i_y^{(1)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}^{(1)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,106 = 12,997 \text{ кА}.$$

Визначимо повний струм КЗ в точці К-1:

$$I_{\text{п}}^{(1)} = I_{\text{п0}}^{(1)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 5,459 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 7,709 \text{ кА}.$$

Розрахунок трифазного КЗ на стороні СН

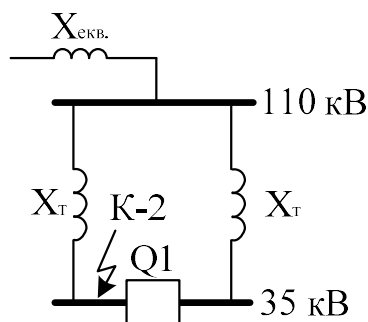


Рисунок 2.3 – Коротке замикання на шинах СН

Базисні величини для розрахунку:

$$S_6 = 1000 \text{ МВА};$$

$$U_6 = 38,5 \text{ кВ.}$$

Визначимо базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 14,996 \text{ кА.}$$

Приведені опори обмоток триобмоткового трансформатора підстанції 1:

$$x_{ТВ1} = \frac{1}{200} \cdot (U_{К(В-С)1} \% + U_{К(В-Н)1} \% - U_{К(С-Н)1} \%) \cdot \frac{S_6}{S_{Н1}} =$$

$$= \frac{1}{200} \cdot (10,5 + 17,5 - 6,5) \cdot \frac{1000}{16} = 6,919 \text{ в. о.};$$

$$x_{ТС1} = \frac{1}{200} \cdot (U_{К(В-С)1} \% + U_{К(С-Н)1} \% - U_{К(В-Н)1} \%) \cdot \frac{S_6}{S_{Н1}} =$$

$$= \frac{1}{200} \cdot (10,5 + 6,5 - 17,5) \cdot \frac{1000}{16} = -0,155 = 0 \text{ в. о.};$$

$$x_{ТН1} = \frac{1}{200} \cdot (U_{К(В-Н)1} \% + U_{К(С-Н)1} \% - U_{К(В-С)1} \%) \cdot \frac{S_6}{S_{Н1}} =$$

$$= \frac{1}{200} \cdot (17,5 + 6,5 - 10,5) \cdot \frac{1000}{16} = 4,019 \text{ в. о.}$$

Приведений опір трансформатора:

$$x_{екв.} = x_{екв.1} \cdot \left(\frac{U_{СН}}{U_{ВН}} \right)^2 = 0,794 \cdot \left(\frac{38,5}{115} \right)^2 = 0,089 \text{ в. о.}$$

Трифазне КЗ на шинах 35 кВ

а) ШСВ Q1 в увімкненому стані.

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-2:

$$I_{п0}^{(3)} = \frac{I_6}{x_{\text{екв.}}^{(3)}} = \frac{14,996}{3,55} = 4,224 \text{ кА},$$

$$\text{де } x_{\text{екв.}}^{(3)} = x_{\text{екв.}} + \frac{x_{\text{ТВ1}}}{2} = 0,089 + \frac{6,919}{2} = 3,55 \text{ в. о.}$$

Визначимо ударний струм КЗ в точці К-2:

$$i_y^{(3)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{п0}^{(3)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,224 = 10,753 \text{ кА}.$$

Визначимо повний струм КЗ в точці К-2:

$$I_{п}^{(3)} = I_{п0}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 4,224 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 6,678 \text{ кА}.$$

б) ШСВ Q1 вимкнений.

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-2:

$$I_{п0}^{(3)} = \frac{I_6}{x_{\text{екв.}}^{(3)}} = \frac{14,996}{7,008} = 2,14 \text{ кА},$$

$$\text{де } x_{\text{екв.}}^{(3)} = x_{\text{екв.}} + x_{\text{ТВ1}} = 0,089 + 6,919 = 7,008 \text{ в. о.}$$

Визначимо ударний струм К-2:

$$i_y^{(3)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{п0}^{(3)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,14 = 5,447 \text{ кА}.$$

Визначимо повний струм КЗ в точці К-2:

$$I_{п}^{(3)} = I_{п0}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 2,14 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 3,231 \text{ кА}.$$

Двофазне коротке замикання на шинах 35 кВ

а) ШСВ Q1 увімкнений.

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-2:

$$I_{п0}^{(2)} = m^{(2)} \cdot \frac{I_6}{x_{\text{екв.}}^{(2)}} = \sqrt{3} \cdot \frac{14,996}{7,1} = 3,658 \text{ кА},$$

$$\text{де } x_{\text{екв.}}^{(2)} = x_{\text{екв.1}} + x_{\text{екв.2}} = 3,55 + 3,55 = 7,1 \text{ в. о.}$$

Визначимо ударний струм КЗ в точці К-2:

$$i_y^{(2)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{п0}^{(2)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,658 = 9,312 \text{ кА}.$$

Визначимо повний струм КЗ в точці К-2:

$$I_{п}^{(2)} = I_{п0}^{(2)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 3,658 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 5,524 \text{ кА}.$$

б) ШСВ Q1 вимкнений.

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-2:

$$I_{п0}^{(2)} = m^{(2)} \cdot \frac{I_6}{x_{екв.}^{(2)}} = \sqrt{3} \cdot \frac{14,996}{13,598} = 1,877 \text{ кА},$$

$$\text{де } x_{екв.}^{(2)} = x_{екв.1} + x_{екв.2} = 6,919 + 6,919 = 13,838 \text{ в. о.}$$

Визначимо ударний струм КЗ в точці К-2:

$$i_y^{(2)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{п0}^{(2)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,877 = 4,778 \text{ кА}.$$

Визначимо повний струм КЗ в точці К-2:

$$I_{п}^{(2)} = I_{п0}^{(2)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 1,877 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 2,834 \text{ кА}.$$

Розрахунок струмів короткого замикання на шинах 10 кВ

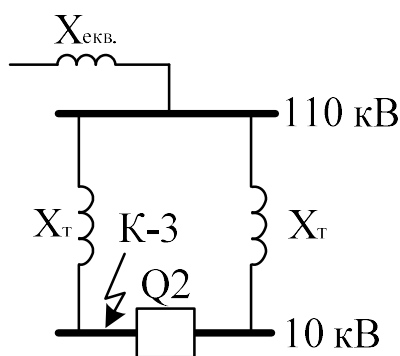


Рисунок 2.4– Коротке замикання на шинах 10 кВ

Приведемо параметри схеми заміщення до наступних базисних умов:

$$S_6 = 1000 \text{ МВА};$$

$$U_6 = 10,5 \text{ кВ}.$$

Тоді базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,986 \text{ кА}.$$

Приведений опір трансформатора:

$$x_{екв.} = x_{екв.1} \cdot \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = 0,794 \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,007 \text{ в. о.}$$

Трифазне КЗ на шинах НН кВ

а) ШСВ Q2 увімкнений.

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-3:

$$I_{\text{п0}}^{(3)} = \frac{I_6}{x_{\text{екв.}}^{(3)}} = \frac{54,986}{5,476} = 10,041 \text{ кА},$$

$$\text{де } x_{\text{екв.}}^{(3)} = x_{\text{екв.}} + \frac{x_{\text{ТВ1}} + x_{\text{ТН1}}}{2} = 0,007 + \frac{6,919 + 4,019}{2} = 5,476 \text{ в. о.}$$

Визначимо ударний струм КЗ в точці К-3:

$$i_y^{(3)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}^{(3)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,041 = 25,561 \text{ кА}.$$

Визначимо повний струм КЗ в точці К-3:

$$I_{\text{п}}^{(3)} = I_{\text{п0}}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 10,041 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 15,162 \text{ кА}.$$

б) ШСВ Q2 вимкнений.

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-3:

$$I_{\text{п0}}^{(3)} = \frac{I_6}{x_{\text{екв.}}^{(3)}} = \frac{54,986}{10,631} = 4,986 \text{ кА},$$

$$\text{де } x_{\text{екв.}}^{(3)} = x_{\text{екв.}} + x_{\text{ТВ1}} + x_{\text{ТН1}} = 0,089 + 6,919 + 4,019 = 11,027 \text{ в. о.}$$

Визначимо ударний струм КЗ в точці К-3:

$$i_y^{(3)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}^{(3)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,986 = 12,694 \text{ кА}.$$

Визначимо повний струм КЗ в точці К-3:

$$I_{\text{п}}^{(3)} = I_{\text{п0}}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 4,986 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 12,529 \text{ кА}.$$

Двофазне коротке замикання на шинах 10 кВ

а) ШСВ Q2 увімкнений.

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-3:

$$I_{\text{п0}}^{(2)} = m^{(2)} \cdot \frac{I_6}{x_{\text{екв.}}^{(2)}} = \sqrt{3} \cdot \frac{54,986}{10,952} = 8,696 \text{ кА},$$

$$\text{де } x_{\text{екв.}}^{(2)} = x_{\text{екв.1}} + x_{\text{екв.2}} = 5,476 + 5,476 = 10,952 \text{ в. о.}$$

Визначимо ударний струм КЗ в точці К-3:

$$i_y^{(2)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}^{(2)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,696 = 22,136 \text{ кА}.$$

Визначимо повний струм КЗ в точці К-3:

$$I_{\text{п}}^{(2)} = I_{\text{п0}}^{(2)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 8,696 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 13,131 \text{ кА.}$$

б) ШСВ Q2 вимкнений.

Визначимо періодичну складову струму КЗ в точці К-3:

$$I_{\text{п0}}^{(2)} = m^{(2)} \cdot \frac{I_6}{x_{\text{екв.}}^{(2)}} = \sqrt{3} \cdot \frac{54,986}{21,904} = 4,348 \text{ кА,}$$

$$\text{де } x_{\text{екв.}}^{(2)} = x_{\text{екв.1}} + x_{\text{екв.2}} = 10,952 + 10,952 = 21,904 \text{ в. о.}$$

Визначимо ударний струм КЗ в точці К-3:

$$i_y^{(2)} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}}^{(2)} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,348 = 11,068 \text{ кА.}$$

Визначимо повний струм КЗ в точці К-3:

$$I_{\text{п}}^{(2)} = I_{\text{п0}}^{(2)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 4,479 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 6,565 \text{ кА.}$$

Результати розрахунку струмів короткого замикання наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку струмів короткого замикання

Місце та умови КЗ		Вид КЗ	$I_{\text{п0}}, \text{кА}$	$i_y, \text{кА}$	$I_{\text{п}}, \text{кА}$
ВРП-110 кВ		Трифазне	6,322	16,09	9,546
		Двофазне	5,475	13,924	8,289
		Однофазне	5,106	12,997	7,709
ВРП-35 кВ	ШСВ вкл.	Трифазне	4,224	10,753	6,378
		Двофазне	3,658	9,312	5,524
	ШСВ відкл.	Трифазне	2,14	5,447	3,231
		Двофазне	1,887	4,778	2,834
ЗРП-10 кВ	ШСВ вкл.	Трифазне	10,041	25,561	15,162
		Двофазне	8,696	22,136	13,131
	ШСВ відкл.	Трифазне	4,986	12,694	7,528
		Двофазне	4,348	11,068	6,565

2.4 Вибір та перевірка електричного обладнання на підстанції

Вимикачі

Вимикачі на стороні 110 кВ

Напруга електроустановки $U_{уст.}$ та значенням довготривалого допустимого струму в максимальному режимі I_{max} – є головним критерієм для вибору вибору вимикачів. Необхідно дотримуватися наступних умов:

$$\begin{aligned} U_{уст.} &\leq U_{ном.вим.}; \\ I_{max} &\leq I_{ном.вим.}, \end{aligned} \quad (2.1)$$

де $U_{ном.вим.}$, $I_{ном.вим.}$ – відповідно номінальна напруга та струм вимикача.

Для встановлення обрано наступний елегазовий вимикач LTB145D1/B з $U_{ном.вим.} = 110$ кВ та $I_{ном.вим.} = 3150$ А.

1) Перевірка вимикача на електродинамічну стійкість:

$$\begin{aligned} I_{п0} &\leq I_{гр.с.}; \\ i_y &\leq i_{гр.с.}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

де $I_{гр.с.}$ – діюче допустиме значення наскрізного струму КЗ вимикача;

$i_{гр.с.}$ – амплітудне значення допустимого наскрізного струму КЗ.

2) :

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (2.3)$$

3) За наступною нерівністю виконується перевірка на комутаційну здатність:

$$I_{пт} \leq I_{відкл.ном.} \quad (2.4)$$

Результати перевірки розглянутого вимикача наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Перевірка вимикача

Розрахункові параметри	Параметри вимикача
$I_{п0} = 6,322 \text{ кА}$	$I_{гр.с.} = 40 \text{ кА}$
$i_y = 16,09 \text{ кА}$	$i_{гр.с.} = 100 \text{ кА}$
$B_k = 3,397 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$I_{пт} = 9,546 \text{ кА}$	$I_{відкл.ном.} = 40 \text{ кА}$

Значення довготривалого допустимого струму через вимикач:

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = 1,4 \cdot \frac{17000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 119,486 \text{ А.}$$

Вимикач на стороні 35 кВ

Перевіримо вимикачі, що розміщені в комірках ВРП-35 кВ.

Вимикачі оберемо за номінальним струмом:

$$I_{max} = \frac{S_{CH}}{\sqrt{3} \cdot U_{CH} \cdot \cos \varphi_{CH}} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 0,76} = 227,901 \text{ А} \leq I_{ном.вим.} = 630 \text{ А,}$$

Номінальне значення струму вимикача ВВ/TEL-35-12,5/630 УХЛ1 становить 630 А.

Перевірку вимикача ВВ/TEL-35-12,5/630 УХЛ1 за умовами КЗ наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Перевірка вимикача ВВ/TEL-35-12,5/630 УХЛ1

Розрахункові параметри	Параметри вимикача
$I_{п0} = 4,224 \text{ кА}$	$I_{гр.с.} = 12,5 \text{ кА}$
$i_y = 10,753 \text{ кА}$	$i_{гр.с.} = 32 \text{ кА}$
$B_k = 1,517 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 t_T = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$I_{пт} = 6,378 \text{ кА}$	$I_{відкл.ном.} = 12,5 \text{ кА}$

Вимикачі на стороні 10 кВ

Вимикачі обрані за номінальним струмом:

$$I_{max} = \frac{S_{HH}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH} \cdot \cos \varphi_{HH}} = \frac{6,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,82} = 457,656 \text{ А} \leq I_{ном.вим.} = 630 \text{ А,}$$

де $I_{ном.вим.}$ – номінальний струм вимикача ВВ/TEL-10-20/630 У2 і складає 630 А.

Таблиця 2.7 – Перевірка вимикача ВВ/TEL-10-20/630 У2

Розрахункові параметри	Параметри вимикача
$I_{п0} = 10,041 \text{ кА}$	$I_{гр.с.} = 20 \text{ кА}$
$i_y = 25,561 \text{ кА}$	$i_{гр.с.} = 52 \text{ кА}$
$B_k = 10,689 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$I_{пт} = 15,162 \text{ кА}$	$I_{відкл.ном.} = 20 \text{ кА}$

Роз'єднувачі

Роз'єднувачі необхідно обирати за номінальною напругою і струмом, також необхідно провести перевірку на термічну та електродинамічну стійкість до струмів КЗ. Вибір і перевірка наведені в табличній формі (табл. 2.8-2.10).

Вибір роз'єднувачів типу NSA 123/1250 D E2 на стороні ВН кВ

Таблиця 2.8 – Перевірка роз'єднувача NSA 123/1250 D E2

Розрахункові параметри	Параметри роз'єднувача
$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном.роз.} = 110 \text{ кВ}$
$I_{max} = 119,486 \text{ А}$	$I_{ном} = 1250 \text{ А}$
$i_y = 16,09 \text{ кА}$	$I_{дин} = 100 \text{ кА}$
$B_k = 3,397 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибір роз'єднувачів типу РНД-35/1000 У1 на стороні СН кВ

Таблиця 2.9 – Перевірка роз'єднувача РНД-35/1000 У1

Розрахункові параметри	Параметри роз'єднувача
$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном.роз.} = 35 \text{ кВ}$
$I_{max} = 227,901 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$i_y = 10,753 \text{ кА}$	$I_{дин} = 63 \text{ кА}$
$B_k = 1,517 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Вибір роз'єднувачів на стороні 010 кВ передбачається встановленням шаф типу КМ-1Ф-10-31,5 У3.

Таблиця 2.10 – Перевірка роз'єднувача шафи КМ-1Ф-10-31,5 УЗ

Розрахункові параметри	Параметри роз'єднувача
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.роз.}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 457,656 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$i_y = 25,561 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 81 \text{ кА}$
Термічна стійкість забезпечується при виготовленні КРП	

Збірні шини

Для встановлення обираємо алюмінієві шини перерізом $S = 50 \times 5 \text{ мм}$ та допустимим струмом $I_{\text{доп.}} = 650 \text{ А}$.

Проведемо перевірку шини за умовою нагрівання:

$$I_{\text{max}} = 457,656 \text{ А} < I_{\text{доп.}} = 650 \text{ А}.$$

Перевірка шин на динамічну стійкість

Сила, що діє на шину середньої фази:

$$F = 0,17 \cdot i_y^2 \cdot \frac{l}{a} = 0,17 \cdot 25,561^2 \cdot \frac{1,1}{0,4} = 319,822 \text{ Н},$$

де l – відстань між опорними ізоляторами, приймається в межах 0,8-1,2 м;

a – міжосьова відстань, приймається в межах 0,2-0,4 м.

Гнучкий момент шини:

$$M = \frac{F \cdot l}{10} = \frac{392,494 \cdot 1,1}{10} = 35,18 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент опору шини, що кріпиться плиском:

$$W_{\text{п}} = \frac{h^2 \cdot b}{6} = \frac{0,05^2 \cdot 0,005}{6} = 2,083 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

де h – більша сторона шини, м;

b – менша сторона шини незалежно від способу кріплення до ізолятора, м.

Момент опору шини, яка до ізолятора кріпиться на ребро:

$$W_{\text{р}} = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{0,05 \cdot 0,005^2}{6} = 2,083 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Шина перевіряється на динамічну стійкість при закріпленні плиском і на ребро [3].

Визначаємо механічну напругу в шині, що кріпиться плиском:

$$\delta_n = \frac{M}{W_n} = \frac{35,18}{2,083 \cdot 10^{-6}} = 16,889 \text{ МПа.}$$

Шина буде динамічно стійкою оскільки виконується нерівність:

$$\delta_n = 16,889 \text{ МПа} < [\delta_a] = 70 \text{ МПа.}$$

Визначаємо механічну напругу в шині, що кріпиться на ребро:

$$\delta_p = \frac{M}{W_p} = \frac{35,18}{2,083 \cdot 10^{-7}} = 168,89 \text{ МПа.}$$

$$\delta_p = 168,89 \text{ МПа} > [\delta_a] = 70 \text{ МПа.}$$

Як бачимо умови динамічної стійкості не виконується, отже шину до ізоляторів необхідно кріпити пліском.

Перевірка шин на термічну стійкість

Температура шини в нормальному режимі роботи:

$$t_n = t_0 + (t_{\text{доп.}} - t_0) \cdot \left(\frac{I_{\text{роб.}}}{I_{\text{доп.}}} \right)^2 = 25 + (70 - 25) \cdot \left(\frac{457,656}{650} \right)^2 = 47,308 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де $t_0 = +25 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура навколишнього середовища;

$t_{\text{доп.}} = +70 \text{ } ^\circ\text{C}$ – допустима температура нагрівання шини в нормальному режимі роботи.

Знайшовши температуру шини в нормальному режимі роботи, за допомогою кривих нагрівання струмопровідних частин при КЗ визначимо квадрат щільності струму в часі:

$$A_n = 0,3 \cdot 10^4 \frac{\text{А}^2}{\text{мм}^4} \cdot \text{с.}$$

Квадрат щільності струму в часі при короткому замиканні:

$$A_k = A_n + \left(\frac{I_{n.t}}{S} \right)^2 \cdot t = 0,33 \cdot 10^4 + \left(\frac{15,611 \cdot 10^3}{200} \right)^2 \cdot 0,06 = 3,365 \cdot 10^4 \frac{\text{А}^2}{\text{мм}^4} \cdot \text{с},$$

де S – площа поперечного перерізу шини, мм^2 .

Маючи A_k за тими ж кривими, але в зворотному порядку визначаємо температуру шини при короткому замиканні:

$$t_k = 50 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Шина буде термічно стійкою оскільки виконується нерівність:

$$t_k = 50\text{ }^{\circ}\text{C} < [t_{k.a}] = 140\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Оскільки всі умови вибору виконуються, приймаємо алюмінієві шини прямокутного перерізу $S = 50 \times 5$ мм з допустимим струмом $I_{доп.} = 650$ А.

Розрядники

Розрядник є простим і надійним засобом захисту від перенапруги при атмосферних явищах та хибних оперативних перемикань обслуговуючого персоналу.

Розрядники обираються за умовами (2.5):

$$\begin{aligned} U_{\text{мережі}} &< U_{\text{ном.розр.}}; \\ U_{\text{пробою розр.}} &< U_{\text{пробою}}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Обираємо наступні розрядники: ОПН–П1–110/73/10/2УХЛ1 для ВРП-110 кВ, ОПН-П-35/42,0/10/550 III УХЛ1 для ВРП-35 кВ та ОПН-10/12,0/10/550 I УХЛ1 для ЗРП-10 кВ.

Трансформатори струму в лініях зв'язку ВРП-110 кВ

Для трансформаторів струму мають виконуватися умови (2.6-2.10):

1) за напругою установки:

$$U_{\text{уст.}} \leq U_{\text{ном.}}^{\text{ТС}}; \quad (2.6)$$

2) за струмом:

$$\begin{aligned} I_{\text{доп.}} &\leq I_{\text{ном.1}}^{\text{ТС}}; \\ I_{\text{max}} &\leq I_{\text{ном.1}}^{\text{ТС}}; \end{aligned} \quad (2.7)$$

3) за конструкцією та класом точності;

4) на електродинамічну стійкість:

$$i_y \leq k_{\text{ел.дин.}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.1}}^{\text{ТС}}; \quad (2.8)$$

5) на термічну стійкість:

$$B_k \leq (k_T \cdot I_{\text{ном.1}}^{\text{ТС}})^2 \cdot t_T; \quad (2.9)$$

До шин ВН приєднано 3 трансформатори струму ТФЗМ-110 Б-1 ХЛ1 300/5 з наступними параметрами: $U_{\text{ном.}}^{\text{ТС}} = 110 \text{ кВ}$, $I_{\text{ном.1}}^{\text{ТС}} = 300 \text{ А}$, $I_{\text{ном.2}}^{\text{ТС}} = 5 \text{ А}$, $k_{\text{т.}} = 12 \text{ кА.}$, $t_{\text{терм.}} = 3 \text{ с.}$, $k_{\text{ел.дин.}} = 62 \text{ кА.}$

Перевіримо обрані трансформатори струму:

1) за напругою установки:

$$U_{\text{уст.}} = 110 \text{ кВ} \leq U_{\text{ном.}}^{\text{ТС}} = 110 \text{ кВ};$$

2) за струмом:

$$I_{\text{доп.}} = 119,486 \text{ А} \leq I_{\text{ном.1}}^{\text{ТС}} = 300 \text{ А};$$

3) на електродинамічну стійкість:

$$16,09 \text{ кА} \leq k_{\text{ел.дин.}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.1}}^{\text{ТС}} = 62 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,3 = 26,304 \text{ кА};$$

4) на термічну стійкість:

$$B_{\text{к}} = 3,397 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq (k_{\text{т.}} \cdot I_{\text{ном.1}}^{\text{ТС}})^2 \cdot t_{\text{т}} = (12 \cdot 0,3)^2 \cdot 3 = 38,88 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

5) по вторинному навантаженню (табл. 2.13):

Таблиця 2.13 – Розрахунок вторинного навантаження трансформатора струму на шинах 110 кВ

Прилад	Тип	S, ВА		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Э-337	0,2	0,2	0,2
Ватметр	Д-355	0,5	—	0,5
Лічильник активної енергії	И-670	5	—	5
Лічильник реактивної енергії	И-684	5	—	5

Опір вимірювальних приладів:

$$R_{\text{прил.}} = \frac{S_{\text{прил.}}}{I_{\text{ном.2}}^{\text{ТС}^2}} = \frac{10,7}{5^2} = 0,428 \text{ Ом.}$$

Повний опір:

$$R_{\Sigma} = R_{\text{прил.}} + R_{\text{пров.}} + R_{\text{кон.}} = 0,428 + 0,4 + 0,15 = 0,978 \text{ Ом};$$

$$R_{\Sigma} = 0,978 \text{ Ом} \leq R_{2\text{ном.}} = 1,2 \text{ Ом.}$$

Аналогічно вибираємо трансформатори струму для шин 10 кВ ТПОЛ-10 УЗ 600/5, для шин 35 кВ ТОЛ-35 ІІ-ІІ 300/5.

Джерела оперативного струму

Джерелом постійного оперативного струму є стаціонарна акумуляторна батарея, що допускає короткочасний режим розряду, типу СК.

Всіх споживачів, що живляться від акумуляторної батареї (АБ), можна розділити на наступні групи:

а) постійно увімкнене навантаження (пристрої керування, блокування, сигналізації, релейного захисту, постійно увімкнена частина аварійного освітлення);

б) тимчасове навантаження, що виникає при зникненні змінного струму в аварійному режимі (аварійне освітлення);

в) короткочасне навантаження тривалістю не більше 5 с. (струми увімкнення та вимкнення приводів вимикачів, струми навантаження апаратів керування, сигналізації релейних захистів, в яких короткочасно протікає струм).

Тривалість аварійного режиму для засобів зв'язку та телемеханіки складає 1-2 с., для решти приймачів оперативного струму – 0,5 год.

Розрахунок АБ і зарядного пристрою

Розрахунок навантаження акумуляторних батарей наведено в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Розрахунок навантаження акумуляторних батарей

Приймачі	К-сть	P_n , кВт	I_n , А	$P_{розр}$, кВт	$I_{пуск.}$, А	Розрахункові навантаження		
						$I_{ав.}$, А	$I_{пуск.ав.}$, А	$I_{макс.пуск.}$, А
Постійне навантаження				25		25	25	25
Аварійне освітлення				200		200		200
Приводи вимикачів	1		450				450	
Вбудований ел.магн.привод ВМП-10	1		58				58	
ШПЕ-10 для ВМК-35			720					720
Перетворюючі агрегати оперативного зв'язку	1	7,2	38	30	100	30	100	30
Всього						255	575	975

Приймаємо схему батареї без елементного комутатора.

Розраховуємо кількість елементів, що приєднують до шин в режимі постійного підзаряду:

$$n_0 = \frac{U_{\text{ш}}}{U_{\text{пп}}} = \frac{230}{2,45} = 106,976 = 108.$$

Визначаємо типовий номер батареї:

$$N > 1,05 \cdot \frac{I_{\text{ав.}}}{j} = 1,05 \cdot \frac{254}{25} = 10,69 = 12,$$

де $I_{\text{ав.}}$ – приймаємо з табл. 2.16;

j – допустиме навантаження допустимого розряду, приведене до першого номера акумуляторів залежно від температури електроліту $j = 25$.

Виконаємо перевірку по максимальному пусковому струму:

$$46 \cdot N > I_{\text{макс.пуск.}};$$

$$46 \cdot 12 = 552 < I_{\text{макс.пуск.}} = 975 \text{ А.}$$

Необхідно обирати акумулятори з типовим номером:

$$N > \frac{975}{46} = 21,196 = 24.$$

Приймаємо СК 24.

Обираємо підзарядний пристрій:

$$I_{\text{пп}} > 0,15 \cdot N + I_{\text{п}} = 0,15 \cdot 24 + 25 = 28,6 \text{ А};$$

$$U_{\text{нз}} = U_{\text{пп}} \cdot n_0 = 2,15 \cdot 108 = 232,2 \text{ В.}$$

Обираємо підзарядний пристрій ВА3П-380/260-40/80 напругою 380/260 В і струмом 40/80 А. Потужність в режимі зарядки та живлення установок становить 23 кВА, $\cos \varphi = 0,86$.

Зарядний пристрій:

$$I_3 = 5 \cdot N + I_{\text{п}} = 5 \cdot 24 + 25 = 145 \text{ А};$$

$$U_3 = 2,75 \cdot n = 2,75 \cdot 130 = 357,5 \text{ В.}$$

Освітлення підстанції

На проектованій підстанції 110/35/10 кВ застосовується природне та штучне освітлення.

Для освітлення території підстанції приймаємо прожектори ЖО-04В-1000-71 з натрієвими лампами, що встановлюються на залізобетонних порталах та на щоглах. Живлення мережі зовнішнього освітлення території підстанції та керування освітленням виконується від щитка ЯУО-01-1.

Освітлення приміщень ЗРП та ЗПК здійснюється світильниками з люмінесцентними лампами та лампами розжарювання.

Напруга мережі робочого освітлення 220 В змінного струму, ремонтного – 12 В змінного струму, аварійного 220 В від блоку аварійного освітлення (БАО).

Вмикання прожекторів здійснюється обслуговуючим персоналом за допомогою вимикача. Аварійне освітлення вмикається автоматично при зникненні робочого. Живлення аварійного освітлення здійснюється від акумуляторних батарей. Вмикання освітлення ЗРП здійснюється вимикачем, розташованим всередині ЗРП.

Блискавкозахист

Прямі влучання блискавки в струмопровідні частини ВРП підстанції викликають аварії, пов'язані з виникненням КЗ при перекриттях ізоляції, а також пошкодження електроустаткування за значних перенапруг. Захист здійснюється за допомогою стрижневих блискавковідводів, що встановлюються на конструкціях ВРП. Блискавковідводи і заземлюючі пристрої блискавковідводів з'єднуються з контуром заземлення підстанції.

Розрахуємо радіус захисту підстанції на відмітках $h_{110} = 11$ м, $h_{35} = 7$ м, $h_{10} = 5$ м:

$$r_{110} = 1,5 \cdot \left(h - \frac{h_{110}}{0,92} \right) = 1,5 \cdot \left(24 - \frac{11}{0,92} \right) = 18,065 \text{ м};$$

$$r_{35} = 1,5 \cdot \left(h - \frac{h_{35}}{0,92} \right) = 1,5 \cdot \left(24 - \frac{7}{0,92} \right) = 24,587 \text{ м};$$

$$r_{10} = 1,5 \cdot \left(h - \frac{h_{10}}{0,92} \right) = 1,5 \cdot \left(24 - \frac{5}{0,92} \right) = 27,848 \text{ м}.$$

На проектуваній підстанції встановлюємо щогли блискавкозахисту МГ-24: 2 біля порталів ВРП-110 кВ, 2 біля порталів ВРП-35 кВ та 2 біля ЗРП-10 кВ.

Висновок до розділу 2

Установлено що, максимальні ударні струми короткого замикання становлять 17,804 кА для шин 110 кВ, 11,098 кА для шин 35 кВ і 26,318 кА для шин 10 кВ, відповідно до яких обрано електричні апарати, зокрема вимикачі, роз'єднувачі, відокремлювачі, трансформатори струму тощо.

Визначено тип системи оперативного струму на підстанції та розраховано її технічні характеристики. Сформульовано рекомендації щодо виконання систем автоматики, сигналізації, вимірювань та освітлення. Прийнято систему блискавкозахисту, що забезпечує захист на висоті 11 м для ВРП-110 кВ, 7 м для ВРП-35 кВ та 5 м для ЗРП-10 кВ.

3 РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА ТДТН-10000/110

3.1 Загальні відомості

Системи електропостачання - це складний виробничий комплекс, всі елементи якого беруть участь в єдиному виробничому процесі, основними специфічними особливостями якого є швидкоплинність явищ і неминучість пошкоджень аварійного характеру. Тому надійне і економічне функціонування систем електропостачання можливо тільки при автоматичному управлінні ними. Для цієї мети використовується комплекс автоматичних пристроїв, серед яких першочергове значення мають пристрої релейного захисту та автоматики. Збільшення споживання електроенергії і ускладнення схем електропостачання вимагають постійного вдосконалення цих пристроїв. Спостерігається тенденція створення автоматизованих систем управління на основі використання цифрових універсальних і спеціалізованих обчислювальних машин. Разом з тим широко застосовуються і найпростіші засоби захисту і автоматики: плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі, магнітні пускачі, реле прямої дії, магнітні трансформатори струму, пристрої змінного оперативного струму і ін. Найбільш поширені струмові захисту, прості пристрої автоматичного повторного включення (АПВ), автоматичного включення резерву (АВР) і автоматичного частотного розвантаження (АЧР), які використовуються в установках з вимикачами, обладнаними пружинними приводами.

На кожному елементі системи електропостачання зазвичай встановлюють основний і резервний захист. Основний захист призначена для дії при короткому замиканні в межах всього захищається елемента з часом, меншому, ніж у інших захистів, а резервна захист працює замість основної в разі її відмови або виведення з роботи.

Таке резервування називається ближнім. До резервної захисту зазвичай пред'являються вимоги спрацьовувати і при пошкодженнях на суміжних елементах

в разі відмови їх власного захисту або вимикачів. При цьому резервна захист виконує далеке резервування. В умовах експлуатації через низку причин захист може не спрацювати з заданими функціями: не спрацювати при пошкодженні в межах захищається елемента (відмова спрацювання); спрацювати при зовнішніх коротких замикань (зайве спрацювання) і при відсутності пошкоджень в системі електропостачання (помилкове спрацювання).

Вимоги які пред'являються до релейного захисту.

1. Селективність або вибірковість - це здатність захисту відключити тільки пошкоджений елемент мережі. Порушення селективності може привести до поглиблення аварії.

2. Чутливість. Захист повинна бути досить чутливим до пошкодження в кінці зони, що захищається в мінімальному режимі роботи системи при замиканні через дугу.

3. Швидкодія. Визначається небезпекою розвалу енергосистеми. Захисту, час спрацювання яких не перевищує 0,1-0,2 с., Вважаються швидкодіючими.

4. Резервування захисту. Крім основної захисту кожен елемент повинен мати і резервну захист.

5. Надійність. Забезпечується правильним проектуванням, правильним вибором пристроїв і проводів. Необхідно систематично проводити перевірку.

3.2 Розрахунок та вибір уставок спрацювання диференційного захисту трансформатора

Диференційний захист трансформатора є основним захистом трансформатора і служить для захисту від коротких замикань обмоток трансформатора і струмопроводів, що знаходяться в зоні дії даного захисту.

Принцип дії заснований на порівнянні струмів навантаження кожної з обмоток трансформатора. У разі виникнення двофазного або трифазного короткого замикання виникає струм небалансу – диференційний струм, і реле діє на повне відключення трансформатора від мережі.

Зона дії даного захисту – трансформатори струму кожної із сторін силового трансформатора. Наприклад, в триобмотковому трансформаторі 110/35/10 кВ зона дії захисту крім самого трансформатора включає в себе ошиновку (кабель), що іде від вводів трансформатора до трансформаторів струму 110 кВ, 35 кВ і 10 кВ.

Виконаємо розрахунок уставок спрацювання диференційного захисту на базі цифрового терміналу RET670 («АВВ») для захисту трансформатора типу ТДТН-10000/110.

Перевіримо, чи забезпечується цифрове вирівнювання струмів сторін вказаного трансформатора. Для цього визначаємо первинні номінальні струми:

$$I_{н.ВН} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{н.ВН}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 50,207 \text{ А};$$

$$I_{н.СН} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{н.СН}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 149,965 \text{ А};$$

$$I_{н.НН} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{н.НН}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 524,869 \text{ А}.$$

Знаходимо вторинні номінальні струми на сторонах трансформатора з урахуванням встановлення групи трансформаторів струму «зірка» з усіх сторін трансформатора:

$$i_{н.вт.ВН} = \frac{I_{н.ВН} \cdot K_{сх}}{K_{ТСВН}} = \frac{50,207 \cdot 1}{300/5} = 0,836 \text{ А};$$

$$i_{н.вт.СН} = \frac{I_{н.СН} \cdot K_{сх}}{K_{ТССН}} = \frac{149,965 \cdot 1}{300/5} = 2,498 \text{ А};$$

$$i_{н.вт.НН} = \frac{I_{н.НН} \cdot K_{сх}}{K_{ТСНН}} = \frac{524,869 \cdot 1}{600/5} = 4,377 \text{ А}.$$

де $K_{сх} = 1$ – коефіцієнт схеми;

$K_{ТС}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Обираємо номінальний струм входу пристрою для кожної сторони захисту і відносну похибку вирівнювання при вторинному струмі в номінальному режимі

$$I_{н.вт.} = 1 - 5 \text{ А};$$

$$I_{н.т.л} = 5 \text{ А} - \text{номінальний струм входу пристрою};$$

$$\Delta f_{\text{вир}}^* = 0,02 - \text{відносна похибка вирівнювання}.$$

Перевіримо, чи забезпечується цифрове вирівнювання для всіх сторін трансформатора.

Зі сторони ВН:

$$0,1 < \frac{i_{\text{н.вт.ВН}}}{I_{\text{н.т.н}}} = \frac{0,836}{5} = 0,167 < 4.$$

Зі сторони СН:

$$0,1 < \frac{i_{\text{н.вт.СН}}}{I_{\text{н.т.н}}} = \frac{2,494}{5} = 0,5 < 4.$$

Зі сторони НН:

$$0,1 < \frac{i_{\text{н.вт.НН}}}{I_{\text{н.т.н}}} = \frac{4,377}{5} = 0,875 < 4.$$

Цифрове вирівнювання амплітуд струмів сторін забезпечується.

Визначимо розрахунковий коефіцієнт небалансу за уточненим виразом:

$$K_{\text{нб.розр}} = \sqrt{(K'_{\text{пер}} \cdot \varepsilon^*)^2 \cdot (1 + 2(\Delta U_{\text{рег}}^* + \Delta f_{\text{вир}}^*)) + (\Delta U_{\text{рег}}^* + \Delta f_{\text{вир}}^*)^2} =$$

$$= \sqrt{(1 \cdot 0,1)^2 \cdot (1 + 2(0,16 + 0,02)) + (0,16 + 0,02)^2} = 0,215,$$

де $K'_{\text{пер}} = 1$ – коефіцієнт, що враховує перехідний процес;

$\varepsilon^* = 0,1$ – повна відносна похибка трансформатора струму усталеного режиму;

$\Delta U_{\text{рег}}^*$ – відносна похибка, рівна максимально можливому відхиленню від номінального положення РПН.

Визначимо початковий диференціальний струм спрацювання:

$$I_{d \min} = K_{\text{відлашт.}} \cdot K_{\text{нб.розр}} \cdot \text{EndSection1} = 1,2 \cdot 0,215 \cdot 1,15 = 0,295 \text{ А},$$

де $K_{\text{відлашт.}} = 1,2$ – коефіцієнт відлаштування;

EndSection1 – початковий гальмівний струм (за рекомендацією «ABB» 1,15).

Мінімальний струм двофазного короткого замикання на стороні НН:

$$I_{\text{к.мін}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к.мін}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 342 = 296,182 \text{ А}.$$

Відносний розрахунковий мінімальний диференціальний струм короткого замикання на стороні НН:

$$I_{\text{диф.розр}}^* = \frac{I_{\text{к.min}}^{(2)}}{I_{\text{н.ВН}}} = \frac{296,182}{50,207} = 5,9 \text{ в. о.}$$

Перевіримо чутливість для горизонтальної ділянки гальмівної характеристики:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{диф.розр}}^*}{I_{\text{диф.спр}}^*} = \frac{5,9}{0,3} = 19,665 > 2 - \text{умова виконується,}$$

де $I_{\text{диф.спр}}^*$ – уставка по початковому диференційному струму спрацювання

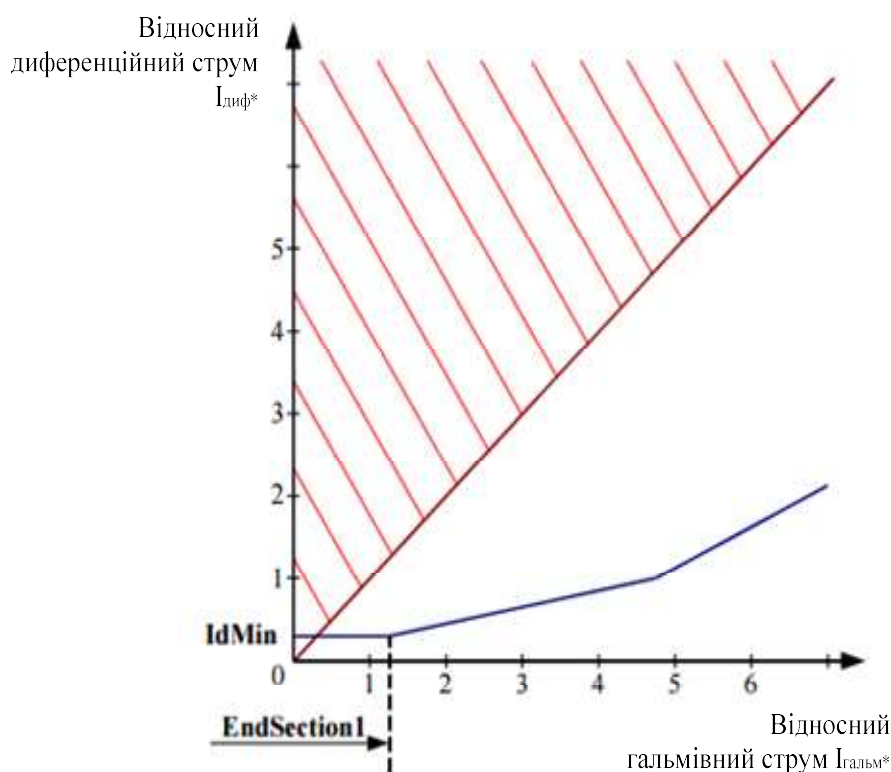


Рисунок 3.1 – Область гальмівної характеристики, що відповідає внутрішнім КЗ

Чутливість при внутрішніх КЗ на горизонтальній ділянці гальмівної характеристики забезпечена.

Чутливість захисту на похилих ділянках гальмівної характеристики буде забезпечуватися завжди, оскільки виконується умова:

$$\frac{I_{d \min}}{\text{EndSection1}} = \frac{0,295}{1,15} = 0,256 < 0,5 - \text{умова виконується.}$$

За умовою відлаштування від режиму кидка намагнічуючого струму параметр спрацювання струмового органу диференційної відсічки повинен прийматися не менше 500 %:

$$Idunre > 500 \text{ \%}.$$

Відносний максимальний струм при зовнішньому КЗ:

$$I_{к.мах}^* = \frac{I_{к.мах}}{I_{н.ВН}} = \frac{728}{50,207} = 14,5 \text{ в. о.}$$

Струм спрацювання диференційної відсічки $Idunre$ за умовою відлаштування від максимального струму небалансу при зовнішніх пошкодженнях:

$$Idunre \geq K_{відлашт.} \cdot K_{нб(1)} \cdot I_{к.мах} \cdot 100 \text{ \%} = 1,2 \cdot 0,65 \cdot 14,5 \cdot 100 \text{ \%} = 1131,056 \text{ \%},$$

де $K_{нб(1)}$ – відношення амплітуди першої гармоніки струму небалансу до приведеної амплітуди періодичної складової наскрізного струму (згідно рекомендацій «АВВ» для трансформаторів приймається 0,65 при використанні з усіх сторін трансформатора струму з вторинним номінальним струмом 5 А).

Параметр спрацювання приймається рівним найбільшому значенню з двох отриманих. Вихідне значення параметра у відсотках округляємо:

$$Idunre = 1130 \text{ \%}.$$

Наступні параметри і уставки для терміналу RET670 приймаються у відповідності з рекомендаціями «АВВ»:

- параметр SlopeSection3 = 50 %;
- параметр StabByOption- «завжди»;
- параметр I2 / I1 ratio = 14 %;
- параметр I5 / I1 ratio = 25 %;
- уставка ZSCSub – вимкнено;
- уставка CrossBlockEn – вимкнено;
- уставка SOTFMode – вимкнено;
- уставка NegSegDiffEn – вимкнено;
- уставка OpenCNEnable – вимкнено.

Результати розрахунку та вибраних параметрів наведено в табл. 4.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку диференційного захисту на базі цифрового терміналу RET670

Позначення параметра	Одиниця вимірювання	Діапазон	За замовченням	Прийняте значення
EndSection1	У відсотках від $I_{н.опор.}^*$	0,20-1,50	1,25	1,15
IdMin	У відсотках від $I_{н.опор.}^*$	0,10-0,60	0,3	0,3
EndSection2	У відсотках від $I_{н.опор.}^*$	1,00-10,00	3	2,0
SlopeSection2	%	10,0-50,0	40	45
SlopeSection3	%	30,0-100,0	80	50
Idunre	У відсотках від $I_{н.опор.}^*$	1,00-50,00	10	11,3
I2 / I1 ratio	%	5-100	15	14
I5 / I1 ratio	%	5-100	25	25
CrossBlockEn	—	On; Off	On	Off
SOTFMode	—	On; Off	On	Off
NegSegDiffEn	—	On; Off	On	Off
OpenCNEEnable	—	On; Off	On	Off

3.3 Розрахунок та вибір уставок спрацювання максимального струмового захисту трансформатора з пуском за напругою

Розрахунок МСЗ-11 кВ з пуском за напругою

Для того, щоб виконати максимальний струмовий захист з пуском за напругою, необхідно підключити термінал REF615 до трансформаторів струму класом точності 10P і завести кола напруги з обмоток ТН-10 кВ, з'єднаного зіркою.

Визначимо струм спрацювання за умовою відлаштування від струму навантаження (номінального струму трансформатора):

$$I_{сз} = \frac{K_n \cdot K_3}{K_n} \cdot I_{н.нн} = \frac{1,2 \cdot 1,3}{0,95} \cdot 524,869 = 861,881 \text{ А},$$

де $K_n = 1,1 - 1,25$ (1,2 для «АВВ»);

$K_3 = 1,3$ – коефіцієнт запасу;

$K_n = 0,95$ – коефіцієнт повернення реле для мікропроцесорних терміналів.

Струм спрацювання за умовою забезпечення чутливості при двофазному КЗ на шинях 11 кВ трансформатора (основна зона):

$$I_{сз} = \frac{I_{кз}}{K_q} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{3627}{1,5} = 2094,045 \text{ A},$$

де K_q – коефіцієнт чутливості (згідно ПУЕ [11] має бути не менше 1,5).

Струм спрацювання за умовою погодження по чутливості з МСЗ приєднань 11 кВ:

$$I_{сз} = K_n \cdot I_{сзМСЗ} = 1,2 \cdot 300 = 360 \text{ A},$$

де $I_{сзМСЗ}$ – максимальна уставка МСЗ приєднань.

Визначимо час спрацювання за умовою погодження з часом спрацювання приєднань 11 кВ $t_{сз} = 0,5$ с:

$$t = t_{сз} + \Delta t = 0,5 + 0,4 = 0,9 \text{ с},$$

де $\Delta t = 0,3 - 0,5$ с – ступінь селективності.

Визначимо струм і час спрацювання за умовою погодження по чутливості з МСЗ СВ-11 кВ:

$$I_{сз} = K_n \cdot I_{сзМСЗ} = 1,2 \cdot 800 = 960 \text{ A};$$

$$t = t_{сз} + \Delta t = 1 + 0,4 = 1,4 \text{ с}.$$

Визначаємо вторинний струм спрацювання реле:

$$I_{спр} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{K_{ТСНН}} = \frac{861,881 \cdot 1}{600/5} = 7,18 \text{ A}.$$

Визначимо напругу спрацювання реле мінімальної напруги за умовою забезпечення повернення реле після відключення зовнішнього КЗ:

$$U_{сз} \leq \frac{U_{min}}{K_{відлашт.} \cdot K_{п}} = \frac{0,85 \cdot 10000}{1,2 \cdot 1,2} = 5902,81 \text{ В},$$

де $U_{min} = (0,85 - 0,9)U_n$ – для наближених розрахунків;

$K_{п} = 1,2$ – коефіцієнт повернення.

Визначимо напругу спрацювання реле мінімальної напруги за умовою відлаштування від напруги самозапуску при ввімкненні від АПВ чи АВР двигунів навантаження:

$$U_{сз} \leq \frac{U_{зап}}{K_{відлашт.}} = \frac{0,7 \cdot 10000}{1,2} = 5833,333 \text{ В},$$

де $U_{зап} = 0,7U_n$ – для наближених розрахунків.

Визначимо вторинне значення напруги спрацювання реле мінімальної напруги:

$$U_{\text{спр}} \leq \frac{U_{\text{сз}}}{K_{\text{ТН}}} = \frac{5833,33}{10000/100} = 58,333 \text{ В},$$

де $K_{\text{ТН}}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора напруги.

Приймаємо напругу спрацювання реле: первинну напругу $U_{\text{сз}} = 5800 \text{ В}$, вторинну напругу реле $U_{\text{спр}} = 58 \text{ В}$.

Розрахунок МСЗ-35 кВ з пуском за напругою

МСЗ-35 кВ з пуском за напругою реалізується за допомогою терміналу захисту REC650 («ABB»). Для цього необхідно завести в термінал кола струму і напруги з трансформаторів струму 35 кВ і трансформатора напруги 35 кВ.

Визначимо струм спрацювання за умовою відлаштування від струму навантаження (номінального струму трансформатора):

$$I_{\text{сз}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot K_{\text{з}}}{K_{\text{п}}} \cdot I_{\text{н.сн}} = \frac{1,2 \cdot 1,3}{0,95} \cdot 149,96 = 246,25 \text{ А}.$$

Струм спрацювання за умовою забезпечення чутливості при двофазному КЗ на шинах 35 кВ трансформатора (основна зона):

$$I_{\text{сз}} = \frac{I_{\text{кз}}}{K_{\text{ч}}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1372}{1,5} = 792,126 \text{ А}.$$

Струм і час спрацювання за умовою погодження по чутливості з МСЗ ПЛ 35 кВ №1:

$$I_{\text{сз}} = K_{\text{н}} \cdot I_{\text{сзМСЗ}} = 1,2 \cdot 240 = 288 \text{ А};$$

$$t = t_{\text{сз}} + \Delta t = 2,5 + 0,4 = 2,9 \text{ с}.$$

Визначимо струм і час спрацювання за умовою погодження по чутливості з МСЗ ПЛ 35 кВ №2:

$$I_{\text{сз}} = K_{\text{н}} \cdot I_{\text{сзМСЗ}} = 1,2 \cdot 500 = 600 \text{ А};$$

$$t = t_{\text{сз}} + \Delta t = 2,5 + 0,4 = 2,9 \text{ с}.$$

Визначимо струм і час спрацювання за умовою погодження по чутливості з МСЗ СВ-35 кВ:

$$I_{\text{сз}} = K_{\text{н}} \cdot I_{\text{сзМСЗ}} = 1,1 \cdot 550 = 605 \text{ А};$$

$$t = t_{сз} + \Delta t = 2,9 + 0,4 = 3,3 \text{ с.}$$

Визначаємо вторинний струм спрацювання реле:

$$I_{спр} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{K_{ТССН}} = \frac{605 \cdot 1}{300/5} = 10,084 \text{ А.}$$

Визначимо напругу спрацювання реле мінімальної напруги за умовою забезпечення повернення реле після відключення зовнішнього КЗ:

$$U_{сз} \leq \frac{U_{min}}{K_{відлашт.} \cdot K_{п}} = \frac{0,85 \cdot 35000}{1,2 \cdot 1,2} = 20659,71 \text{ В.}$$

Визначимо напругу спрацювання реле мінімальної напруги за умовою відлаштування від напруги самозапуску при ввімкненні від АПВ чи АВР двигунів навантаження:

$$U_{сз} \leq \frac{U_{зап}}{K_{відлашт.}} = \frac{0,7 \cdot 35000}{1,2} = 20416,71 \text{ В.}$$

Визначимо вторинне значення напруги спрацювання реле мінімальної напруги:

$$U_{спр} \leq \frac{U_{сз}}{K_{ТН}} = \frac{20416,71}{35000/100} = 58,29 \text{ В.}$$

Приймаємо напругу спрацювання реле: первинну напругу $U_{сз} = 20300 \text{ В}$, вторинну напругу реле $U_{спр} = 58 \text{ В}$.

Розрахунок МСЗ-110 кВ з пуском за напругою

МСЗ-35 кВ з пуском за напругою реалізується за допомогою терміналу захисту REC650 («ABB»).

Визначимо струм спрацювання за умовою відлаштування від струму навантаження (номінального струму трансформатора):

$$I_{сз} = \frac{K_{н} \cdot K_{з}}{K_{п}} \cdot I_{н.ВН} = \frac{1,2 \cdot 1,3}{0,95} \cdot 50,207 = 82,441 \text{ А.}$$

Струм і час спрацювання приведені до сторони 110 кВ, за умовою погодження по чутливості з МСЗ-35 кВ трансформатора:

$$I_{сз} = K_{н} \cdot I_{сзМСЗ 35кВ} \cdot \frac{U_{сн}}{U_{ВН}} = 1,2 \cdot 618 \cdot \frac{37}{115} = 238,61 \text{ А.}$$

$$t = t_{сз} + \Delta t = 3,3 + 0,4 = 3,7 \text{ с.}$$

Струм і час спрацювання, приведені до сторони 110 кВ, за умовою погодження по чутливості з МСЗ-11 кВ трансформатора:

$$I_{сз} = K_H \cdot I_{сзМСЗ\ 10,5кВ} \cdot \frac{U_{HH}}{U_{ВН}} = 1,2 \cdot 1400 \cdot \frac{10,5}{115} = 153,391\text{ А.}$$

$$t = t_{сз} + \Delta t = 1,4 + 0,4 = 1,8\text{ с.}$$

Визначаємо струм спрацювання за умовою забезпечення чутливості при двофазному КЗ на шинах 35 кВ трансформатора (резервна зона):

$$I_{сз} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{I_{КЗ}}{K_q} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{504}{1,2} = 363,731\text{ А.}$$

Визначаємо струм спрацювання за умовою забезпечення чутливості при КЗ на шинах 11 кВ трансформатора (резервна зона):

$$I_{сз} = \frac{I_{КЗ}}{K_q} = \frac{342}{1,2} = 285\text{ А.}$$

Визначимо вторинний струм спрацювання реле:

$$I_{спр} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{K_{ТСВН}} = \frac{285 \cdot 1}{300/5} = 4,75\text{ А.}$$

Напруга спрацювання реле напруги: $U_{сз} = 20300/58\text{ В}$ від ТН-35 кВ: $U_{сз} = 5800/58\text{ В}$ від ТН-11 кВ.

3.4 Інші захисти трансформатора

Силові трансформатори – найдорожчі елементи обладнання розподільних підстанцій. Трансформатори розраховані на тривалий термін служби, але за умови, що вони будуть працювати в нормальному режимі, і не будуть піддаватися недопустимим струмовим перевантаженням, перенапругам та іншим небажаних режимам роботи.

Для запобігання пошкодження трансформатора, продовження його терміну служби і забезпечення його роботи в нормальному режимі потрібні різні пристрої захисту та автоматики.

Газовий захист трансформатора

Газовий захист є одним із основних захистів. Він призначений для відключення трансформатора 110 кВ від мережі у разі виникнення внутрішніх пошкоджень в баку силового трансформатора.

Даний захисний пристрій встановлюється в оливопроводі, який з'єднує бак трансформатора з його розширювачем. Основний конструктивний елемент газового реле – поплавки і дві пари контактів, які з'єднуються при опусканні поплавка. В нормальному режимі роботи газове реле заповнене оливою, і поплавки знаходяться у верхньому положенні, при цьому обидві пари контактів розімкнуті.

У разі виникнення міжвиткових коротких замикань обмоток трансформатора, в баку з'являються гази, що утворюються при розкладанні електротехнічних матеріалів під впливом електричної дуги. Утворений газ потрапляє в газове реле і витісняє з нього оливу. При цьому поплавки опускається і замикає контакти. Залежно від кількості газу можуть замикатися контакти, що діють на сигнал або на повне відключення трансформатора від мережі.

Струменевий захист бака РПН

Силові трансформатори 110 кВ мають, як правило, вбудований пристрій РПН. Він знаходиться в окремому відсіку бака трансформатора, ізольованого від основного бака з обмотками. Тому для даного пристрою передбачено окремий захисний пристрій – струменеве реле.

Всі пошкодження всередині бака РПН супроводжуються викидом оливи в розширювач, тому у разі наявності потоку оливи миттєво спрацьовує струменевий захист, здійснюючи автоматичне відключення силового трансформатора від електричної мережі.

Реле рівня оливи

Газове реле сигналізує про повну відсутність оливи в розширювачі силового трансформатора, але необхідно вчасно виявити неприпустиме зниження рівня оливи – цю функцію виконує реле рівня оливи.

Реле встановлюється, як правило, в розширювачі основного бака трансформатора, а також в розширювачі бака РПН. Пристрій налаштовується таким

чином, щоб поплавков – основний конструктивний елемент реле, замикав контакти реле у разі зниження рівня оливи нижче мінімально допустимого значення для даного силового трансформатора.

Даний захисний пристрій дає сигнал на спрацювання аварійної сигналізації, що дозволяє вчасно виявити зниження рівня оливи.

Струмовий ступінчатий захист

Для більшої надійності крім основних захистів для силового трансформатора передбачається резервний захист – струмовий ступінчатий захист кожної з обмоток.

Для кожної із обмоток трансформатора передбачається окремий максимальний струмовий захист на кілька ступенів. Для кожного ступеня захисту встановлюється своя уставка спрацювання по струму і часу.

Для селективності роботи захистів трансформатора кожна із ступенів захисту має різний час спрацювання, при цьому найменший час спрацювання мають вище наведені основні захисти трансформатора. Таким чином, у разі пошкодження трансформатора або виникнення короткого замикання в зоні дії захистів, відразу спрацьовують основні захисти, а у разі їх відмови захист трансформатора здійснюють резервні струмові захисти.

Також МСЗ силового трансформатора резервують захисти приєднань, що живляться від даного трансформатора, спрацьовуючи у випадку їх відмови.

МСЗ здійснює захист від двофазних і трифазних коротких замикань. Для захисту від однофазних замикань на землю обмотка високої напруги 110 кВ має струмовий захист нульової послідовності (СЗНП).

Обмотка середньої напруги силового трансформатора 35 кВ і низької напруги 6-10 кВ живить мережі з ізольованою нейтраллю, в яких однофазні замикання на землю фіксують трансформатори напруги.

Більшість мереж 6-35 кВ з ізольованою нейтраллю працюють в режимі, при якому однофазне замикання на землю не є аварійним і відповідно не відключається автоматично дією захисту від замикання на землю. Обслуговуючому персоналу надходить сигнал про наявність однофазного замикання на землю, і він приступає

до пошуку і відключення пошкодженої ділянки, так як тривалий час роботи в такому режимі неприпустимий.

Додаткові захисти трансформатора

Для захисту силового трансформатора передбачають перелік додаткових захистів, що дозволяють виключити розвиток незначних дефектів, відхилень від нормального режиму роботи в більш масштабну аварійну ситуацію.

Захист від перевантаження – спрацьовує на сигнал з метою своєчасного зниження навантаження в трансформаторі.

Реле контролю температури – сигналізує про підвищення температури верхніх шарів оливи вище допустимих значень. Даний захист автоматично вмикає додаткові системи охолодження трансформатора, якщо вони є. Наприклад, вмикаються вентилятори обдуву, насоси примусової циркуляції оливи в охолоджувачах. Якщо температура оливи піднімається вище, то реле діє на відключення трансформатора від мережі.

Захист мінімальної напруги здійснює відключення вимикача вторинної обмотки трансформатора у разі падіння напруги до недопустимих значень.

Автоматика силових трансформаторів 110 кВ

Якщо на підстанції встановлено два трансформатори, то при падінні напруги до недопустимих значень, або при знеструмленні трансформатора захист мінімальної напруги впливає на пристрій автоматичного ввімкнення резерву. Цей пристрій здійснює включення секційних або ШСВ, забезпечуючи живлення споживачів від резервного джерела – силового трансформатора.

На ввідних вимикачах середньої та низької напруги трансформатора може бути реалізоване АПВ вимикача, що одноразово відновлює живлення трансформатора у разі його відключення дією того чи іншого захисту.

Якщо силовий трансформатор конструктивно має пристрій РПН, то для нього може бути встановлений пристрій автоматичного регулювання напруги (АРН). Цей пристрій здійснює контроль напруги на обмотках трансформатора і забезпечує автоматичне перемикання пристрою РПН для забезпечення необхідного рівня напруги на обмотках.

Висновок до розділу 3

Розглянуті питання пошкоджень і ненормальних режимів роботи трансформаторів, для локалізації пошкоджень та запобігання розвитку аварій застосовується основний і резервний захист.

Як основний захист прийнятий диференційний захисту на базі цифрового терміналу RET670 (фірми «ABB»), побудована гальмівна характеристика.

Розраховано уставки максимального струмового захисту з пуском за напругою для трансформатора типу ТДТН-10000/110 на основі реле REF615 і REC650.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ ВПРОВАДЖЕННЯ ОБМЕЖУВАЧІВ ПЕРЕНАПРУГИ (ОПН)

4.1 Опис ідеї проекту

Комутаційні перенапруги мережі, набігаючі грозові перенапруги, короткі замикання на лінії призводять до збудження в лініях великих напруг і струмів, що можуть порушити роботу електричного обладнання підстанції і навіть вивести його з ладу. Для запобігання таким випадкам на підстанціях до останнього часу використовувались вентильні розрядники (ВР). Ідеєю даного проекту є заміна вентильних розрядників на обмежувачі перенапруг (ОПН) . які розроблені та успішно запроваджуються в Японії, Швеції, Німеччині 10-20 років тому. Застосування нелінійних обмежувачів перенапруг дає змогу запобігти таким впливам або зменшити їх наслідки до мінімуму.

Обмежувачі перенапруги у порівнянні з вентильними розрядниками, через відсутність іскрових проміжків і високу нелінійність вольтамперної характеристики їх елементів, мають ряд переваг, а саме :

- не потребує обслуговування протягом усього терміну служби;
- необмежений комутаційний ресурс;
- глибокий рівень обмеження перенапруг;
- широкий номенклатурний ряд робочих напруг;
- стабільність нестаріючих характеристик;
- вибухобезпечність і сейсмостійкість;
- висока надійність в експлуатації;
- стійкість до атмосферних забруднень;
- зручність вбудовування в розподільчі пристрої;
- мала вага і габарити.

В табл. 4.1 подано загальне уявлення ідеї та можливі потенційні ринки, що дає змогу отримати інформацію про потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї сатрап-проекту методі визначення захисних властивостей нелінійних обмежувачів перенапруг.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка документації методики вибору	1. Вибір основних електричних характеристик нелінійних обмежувачів перенапруг для захисту повітряних ліній	Можливість обрання ОПН за його основними електричними характеристиками
нелінійних обмежувачів перенапруг	2. Визначення дійсної величини витрамбованого значення нелінійних обмежувачів перенапруг	Змога вибору ОПН за механічним навантаженням яке вони можуть витримати
	3. Розрахунок провідності ізоляційного матеріалу покриття ОПН	Перевірка обраного ОПН для застосування

Провівши аналіз можливих техніко-економічних переваг ідеї, можна стверджувати наступне: методика вибору ОПН для розподільчих мереж надає змогу обрати ОПН за оптимальними ціновими значеннями. Дане значення може бути отримане за допомогою підбору та порівнянню моделей, які мають відповідати розрахованим характеристикам. В таблиці 4.2 наведено порівняння показників даного проекту. Аналіз проводився за наступними показниками:

- гірші значення;
- аналогічні значення;
- кращі значення.

Таблиця 4.2 – Встановлення слабких, нейтральних та сильних характеристик розробленої ідеї впровадження обмежувачів перенапруг.

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W	N	S
	Мій проект	Конкурент	(слабка сторона)	(нейтральна сторона)	(сильна сторона)
Методика вибору нелінійних обмежувачів перенапруги	Визначення статичного навантаження та основних електричних характеристик ОПН	Відсутні попередні розробки. Існуючі розробки в інших країнах недоступні (приховні для одержання переваг першості нових технологій).	Потреба в розробці нормативної документації на державному рівні	Часткове використання існуючих методик для розрахунку електричних характеристик ОПН	Широкий діапазон можливості застосування матеріалів для вибору ОПН

Після проведення даного аналізу характеристик та властивостей потенційного товару було визначено конкурентоспроможність методики впровадження обмежувачів перенапруги.

4.2 Технологічний аудит проекту

В межах даної частини підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

У табл. 4.3 наведено аналіз технологічних складових проекту:
за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
Чи існують такі технології, чи потрібно їх розробити/доробити?
Чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 4.3 – технології здійсненності ідеї вибору ОПН

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Методика вибору ОПН	Технологія 1	Чи вони наявні, або ж необхідно їх розробити/доробити?	Чи вони доступні авторам проекту?
	Технологія розрахунку основних електричних характеристик ОПН з урахуванням провідності матеріалу ізоляційної покришки ОПН.	Технології існують, проте відсутня нормативна документація для їх застосування.	Авторам недоступні існуючі технології

З результатів отриманих після аналізу технологічного аудиту можна зробити висновок щодо можливості реалізації проекту: реалізація проекту можлива лише з початком широкого використання ОПН в Україні, а також розробки необхідних норм на державному або галузевому рівні.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можуть бути використані під час впровадження проекту, а також ринкових загроз що можуть перешкодити реалізації проекту із врахуванням стану становища ринку, потреб клієнтів та пропозицій конкурентних проектів. Характеристика потенційного ринку для впровадження ОПН наведено в табл. 4.4

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційного ринку для впровадження ОПН

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	35
2	Загальний обсяг продаж, шт./ рік	200/рік
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутність вимог до стандартизації та нормативної документації
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потребує розробки
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідома

Визначимо потенціальні групи клієнтів та сформуємо орієнтовний перелік вимог для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів сатрап-проекту впровадження ОПН.

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінність поведінки різних груп можливих клієнтів груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Впровадження ОПН	Електророзподільні компанії	Нормативна документація та єдина стандартизація відсутня	Вимоги не сформовані в Україні

Визначивши фактори конкурентоспроможності проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз проекту

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Коливання курсу валют	Здороження вартості	Просування розробки унеможливилює зменшення ймовірності помилки
2	Запобіжні заходи із підтримки іноземних виробників	Обмежений доступ іноземних компаній	Налагодження з українськими виробниками

Таблиця 4.7 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін вибору ОПН

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг вибору ОПН у порівнянні з конкурентами						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Врахування основних характеристик	15	X						
2	Врахування дійсного значення витриманого статичного навантаження ОПН	10		X					
3	Використання розрахунку провідності матеріалу ізоляційної покритишки ОПН	15	X						
4	Використання матеріалів. Наведених в каталогах фірм-виробників	0					X		
5	Розроблення нормативної документації	17						X	
6	Загальний результат		-6	-2			+1	+2	

Проаналізувавши табл. 4.7 можна зробити наступні висновки: стартап-проект має наступні поважачі фактори конкурентоспроможності, врахування основних електричних величин ОПН, визначення дійсного значення статичного навантаження яке може витримати ОПН використання розрахунку провідності матеріалів ізоляційної покритишки ОПН, та інших факторів отримує сумарний рейтинг товарів конкурентів який складе «-5»

На основі порівняльного аналізу слабких і сильних сторін методики вибору ОПН та факторів які впливають на негативний результат, було проведено SWOT-аналіз стартап-проекту, які наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: в методиці присутні матеріали за допомогою яких враховано основні електричні характеристики ОПН, а також визначення дійсного значення статичного навантаження	Слабкі сторони: відсутність нормативної документації на державному рівні. Необхідність у створенні нормативно-правової бази на державному рівні
Можливості: на основі розробленої методики вибору ОПН на початкових етапах можливе розроблення нормативної бази на основі стандартів МЕК та зростання попиту на послуги оцінювання ОПН.	Загрози: нестабільність економіки та Залежність вартості ОПН від курсу валют. Обмеження ринку постачання іноземними компаніями.

Рекомендований час для введення на ринок методики впровадження ОПН – 2019-2020 роки.

Висновки до розділу

Установлено що, на ринку наявний попит на документацію методики вибору ОПН, а також динаміка ринку зростає, можна зробити висновок щодо комерціалізації методу вибору ОПН. На даний момент існують перспективи впровадження даної технології з огляду на бар'єри входження, потенціальні групи клієнтів, конкурентоспроможність проекту. Даний проект може бути реалізований за умови розроблення в Україні нормативно правової бази відповідно до міжнародних стандартів, розроблення комп'ютерно-інтегрованої моделі для масової реалізації, а також єдиної системи стандартизації даного електричного обладнання. Рекомендований час для введення на ринок методики впровадження ОПН – 2019-2020 роки.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС МОНТАЖУ НЕЛІНІЙНОГО ОБМЕЖУВАЧА ПЕРЕНАПРУГИ ОПНП-10/550/12,0 УХЛ1.

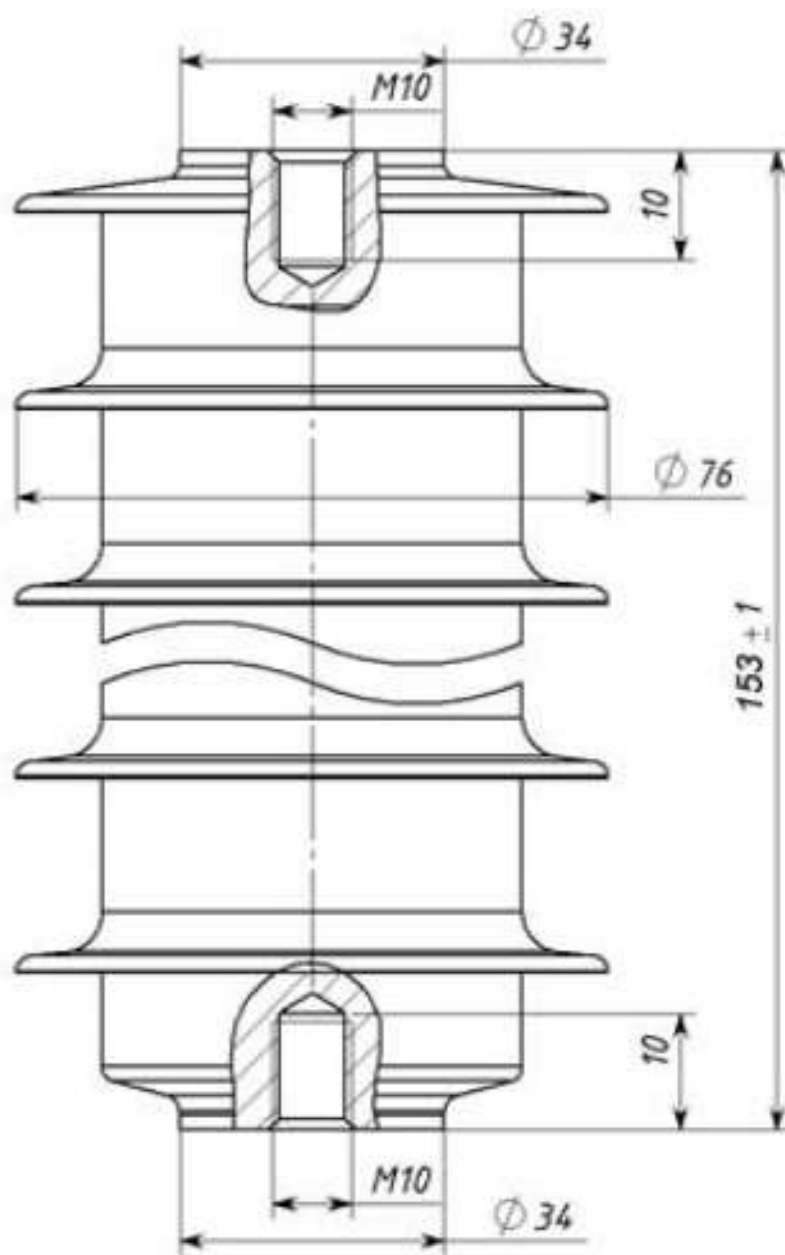
5.1 Технічні характеристики і вибір місць розміщення ОПНП-10/550/12,0 УХЛ1

У розділі 1, для мережі 10 кВ в програмному середовищі MatLab було використано нелінійний обмежувач перенапруг ОПНп-10/550/12,0 УХЛ1. Даний пристрій призначений для захисту електрообладнання від грозових перенапруг. Для ліній напругою 10 кВ рекомендується встановлювати ОПН через кожні 2 опори. Технічні характеристики наведені у табл. 5.1. Місце розташування об'єкту Київська область.

Таблиця 5.1 – Параметри нелінійного обмежувача перенапруги ОПНп-10/550/12,0 УХЛ1

Параметр	Значення
Клас напруги, кВ	10
Найбільша тривало допустима робоча напруга, дійсне значення, кВ	12,0
Номінальна напруга, дійсне значення, кВ	15,0
Номінальний розрядний струм 8/20 мкс, кА	10
Пропускна здатність, А	330
Струм витоку, мА	1
Питома енергія, кДж/кВ	3,24
Струм вибухобезпеки, кА	10

Габаритні розміри та маса ОПНп-10/550/12,0 УХЛ1. Наведені на рис.5.1.



МАССА 1,2 КГ.

Рисунок 5.1 – Габаритні розміри та маса ОПНп-10/550/12,0 УХЛ1.

5.2 Дослідження та аналіз умов праці на робочих місцях електротехнічних працівників

Умови праці для робітників при монтажі ОПНп-10/550/12,0 УХЛ1 наведені у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Характеристика умов праці

Найменування показника	Основні характеристики	Фактичне значення
Кваліфікація працівників	Кількість Група з електробезпеки	4 осіб IV група
Місце виконання робіт	Відкрите Тимчасове	На відкритому просторі Роботи виконуються протягом 1 місяця у травні
Розташування робочого місця	На висоті	До 10 м
Параметри мікроклімату	Температура повітря Вологість Швидкість вітру	+10...+21 С 70% 5...10 м/с
Важкість праці	Переміщення вантажів Робоче положення Статичні та динамічні навантаження	До 1,5 кг Сточі До 1,5 кг
Напруженість праці	Тривалість Змінність	8 Однозмінна робота
Оцінка умов праці	Шкідливі (категорія)	Шкідливі (1 категорія)

5.3 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Описані вище обмежувач встановлюють між фазним проводом і землею.

Оскільки лінія не знаходиться під напругою, основним небезпечним фактором при установці ОПН на лініях електропередачі є робота на висоті або падіння предметів.

В табл. 5.3 наведено перелік шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Таблиця 5.3 – Перелік шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Небезпечні і шкідливі чинники	Перелік НШВЧ	Фактичне значення	Граничнодопустиме значення та номер нормативного документу
Електричного походження	Напруга	10 кВ	6 В [32]
	Струм	80 А	0,6 мА [32]
Неелектричного походження	Робота на висоті	10 м	

Інші небезпечні чинники такі як: хімічні, біологічні, шум, вібрація, іфразвук, ультразвук, неіонізуючі випромінювання, іонізуючі випромінювання, мікроклімат, атмосферний тиск, освітленість, іонізація повітря відсутні, або залежать від погодних умов, їхнє значення можна прийняти як оптимальне.

5.4 Розробка і розрахунок технічних та організаційних заходів з охорони праці

Технічні і організаційні заходи при монтажі ОПН та їх показники наведені у табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Технічні і організаційні заходи

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
Технічні заходи з електробезпеки	Захисне заземлення	Заземлення лінії 10 кВ
Організаційні заходи з роботи на висоті	Вид дозвільного документу на виконання робіт	Наряд-допуск для виконання робіт на висоті
	Категорія робіт щодо заходів безпеки	Роботи без напруги.
	Тривалість і порядок виконання робіт	8 годинний робочий день. Підйом до вершини опори, закріплення ОПН, повернення на землю.
	Плакати безпеки	Не вмикати, працюють люди.

5.5 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Засоби індивідуального захисту від падіння з висоти забезпечуються системою ременів для кріплення їх до тіла споживача і системою кріплення до надійної опори. У передбачуваних умовах експлуатації такі засоби індивідуального захисту обмежують шлях вертикального падіння працівника таким чином, щоб запобігти його зіткненню з перешкодами[33].

Результати вибору потрібних ЗІЗ надати у вигляді табл 2.5.

Таблиця 5.5 – Засоби індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Марка або маркування	Нормативні документи
Захисний одяг	Захист від механічних ушкоджень	Костюм бавовняний ЗО-001	[32]
Захисне взуття	Захист від механічних ушкоджень	Черевики шкіряні LEMAITRE «COUGAR» S1 SRC	[32]
Захист рук	Захист від механічних ушкоджень	рукавички п/е з покриттям зі спіненого латексу	[32]
Захист голови	Захист від механічних ушкоджень	каска захисна 3m™ h-700c-or	[32]
Захист для роботи на висоті	Для уникнення пошкоджень	Пояс запобіжний (строп-стрічка)	[32]

Засоби безпеки для проведення робіт при введенні лінії 10 кВ експлуатацію наведені в табл. 5.6

Таблиця 5.6. Електрозахисні засоби

Вид ЕЗЗ	Найменування	Технічні характеристики	Призначення і норми випробувань
Електрозахисний засіб індивідуального захисту	Діелектричний комплект	Для робіт під напругою до 10 кВ	Підключення після ремонту.
	Діелектричні рукавички	Для робіт під напругою до 10 кВ	Підключення після ремонту.
	Діелектричне взуття	Для робіт під напругою до 10 кВ	Підключення після ремонту.
	Діелектрична каска	Для робіт під напругою до 10кВ	Підключення після ремонту.
Контрольно-сигнальні прилади	Ізолювальні штанги	Оперативні, вимірювальні, універсальні. Напруга 10 кВ	Підключення після ремонту. 10 кВ

5.6 Вибір технічних та організаційних заходів для унеможливлення і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Виконаємо аналіз імовірних небезпек, які можуть викликати надзвичайні ситуації та призвести до нещасних випадків. Дані наведені у табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Основні джерела небезпек

Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
Крокова напруга	Обрив проводу при підключені лінії	Ураження електричним струмом

В залежності від наведених джерел небезпеки оберемо необхідні заходи та засоби до ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 – Перелік заходів і засобів

Група заходів	Вид заходу	Критерії вибору
Засоби індивідуального захисту	Діелектричне взуття	Індивідуально для усіх членів команди

Висновки до розділу 5

Встановлено що, час експлуатації електроустановок зачасту виникають обставини, при яких досконале конструктивне виконання не забезпечує безпеки працюючого, і тому необхідне застосування спеціальних засобів захисту - захисного одягу, приладів, апаратів, переносних перевізних механізмів і пристроїв, що слугують для захисту персоналу, працюючого в електроустановках, від ураження електричним струмом, електричного поля, продуктів горіння. Ці засоби не являються конструктивними частинами електроустановок, вони доповнюють огороження, блокування, сигналізацію, занулення та інші стаціонарні захисні засоби.

Проаналізовано умови праці працівників під час монтажу ОПН на лінії 10 кВ, було наведено перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників, проведено розробку технічних і організаційних заходів з охорони праці, вибрано засоби індивідуального захисту персоналу, було проведено вибір технічних і організаційних заходів для унеможливлення і ліквідації наслідків можливих надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

Проведено моделювання розряду блискавки в землю біля середини лінії при різній віддаленості від лінії. Після встановлення ОПН на кожному опорі при розряді блискавки в землю на відстані 45 м від середини перенапряг склала 89 кВ – на 7 кВ вище допустимого значення, а при встановленні ОПН через одну опору на відстані 50 м від розряду блискавки значення перенапряг було в межах допустимого і складало 82 кВ. Використання ОПН на кожній опорі є економічно недоцільним і встановлювати ОПН в мережі класом напруги 10 кВ більш доцільно через одну опору, а максимальне значення перенапряг при такому встановленні ОПН має виникати на відстані не менше 50 м від лінії при розряді блискавки в землю. При віддаленні розряду блискавки більш ніж на 80 м значення перенапряг в лінії складає менше напруги перекриття ізолятора. Таким чином застосування ОПН на лінії через одну опору забезпечує захист від перекриття ізолятора при ударі блиски в землю на відстані 50 м-80 м від лінії.

Виконано проект електричної частини знижувальної підстанції напругою 110/35/10 кВ районної електричної мережі. РП-110 кВ виконано по схемі схемі місток з вимикачами в колах ліній і ремонтною перемичкою з боку ліній (схема 110-3). РП-35 кВ виконано по схемі одна робоча, секціонована вимикачем, система шин (схема 35-5), РП-10 кВ – за схемою одна, секціонована вимикачем, система шин (схема 10-1). Рекомендовано роботу РП в нормальному режимі з вимкненням ШСВ.

. Визначено максимальні ударні струми короткого замикання становлять 16,09 кА для шин 110 кВ, 10,753 кА для шин 35 кВ і 25,5614 кА для шин 10 кВ, відповідно до яких обрано основне обладнання підстанції.

Розраховано та обрано уставки спрацювання диференційного захисту на базі цифрового терміналу RET670, уставки максимального струмового захисту з пуском за напругою на основі реле REF615 і REC650 для трансформатора ТДТН-10000/110.

Здійснено оцінка розробки методики вибору нелінійних обмежувачів перенапруг враховуючи всі можливі фактори при їх виборі. Виявлено що дана

методика є досить необхідною потенційних клієнтів, оскільки на даний момент фактично не існує подібних методик.

Встановлено що, забезпечення охорони праці під час монтажу ОПН на лінії 10 кВ було проаналізовано умови праці працівників. Виявлено що основним небезпечним фактором є робота на висоті. Для запобігання нещасних випадків необхідно забезпечити працівників засоби індивідуального захисту: касками, пасками безпеки, діалектичним рукавичками, Ізолювальні штанги (при підключенні лінії). Було наведено перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників, проведено розробку технічних і організаційних заходів з охорони праці, було проведено вибір технічних і організаційних заходів для унеможливлення і ліквідації наслідків можливих надзвичайних ситуацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mcdermotti T.E., Shorti T.A., Anderson J.G. Lightning protection of distribution lines // IEEE Transactions on Power Delivery. – 1994. – Vol.9. – №1. – P. 138-146.
2. Zanetty L.C. Evaluation of line surge arrester failure rate for multiphase lightning stresses // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2003. – Vol.18. – №3. – P. 796-801.
3. Wang Lei, Lin Fuchang, Yan Fei. Calculation and analysis of induced overvoltage on a transmission line caused by lightning strike to the tower // Power System Technology. – 2006. – №30. – P. 271-274.
4. Кирик В.В., Абдулаєв С.А. Визначення оптимальних місць встановлення ОПН // Міжнародний науково-технічний журнал молодих вчених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготики та автоматики». – 2016. – С. 104-106.
5. Костенко М.В., Александров Г.Н., Иванов В.Л., Кадомская К.П. [и др.]. Техника высоких напряжений: Учебное пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1973. – 528 с.
6. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталы Ю.С. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
7. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А.А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2004. – 320 с.
8. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений / Н.Н. Тиходеева. – 2-е изд. – СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 355 с.

9. IEEE Std 1243-1997. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines // The Institute of Electrical and Electronics Engineers. – New York, 1997. – 36 p.

10. Гайворонский А.С., Карасюк К.В. Новые методические принципы грозоупорности воздушных линий электропередачи высших напряжений // Научный вестник ИГТУ. – 1998. – №2(5). – С. 9-32.

11. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 320 с.

12. Разевиг Д.В. Техника высоких напряжений: Учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.

13. Правила улаштування електроустановок. – 5-те вид., переробл. й доповн. – Х.: Мінерговугілля України, 2014. – 793 с.

14. Ковригин Л.А. Техника высоких напряжений: Конспект лекций. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т., 2008. – 90 с.

15. Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А. Применение ОПН для защиты изоляции воздушных линий от грозовых перенапряжений // Сборник докладов научно-технической конференции «Нелинейные ограничители перенапряжения: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния». – СПб.: Изд-во ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 2005. – 164 с.

16. Демьяненко К.Б., Титков В.В. Сравнение основных технических характеристик ОПН в фарфоровой и полимерной изоляции производства [Электронный ресурс] // ЭЛЕКТРО. – 2007. – №2. – Режим доступа до журналу: <http://www.elektro-journal.ru/>.

17. Ограничители перенапряжения нелинейные 0,4-35 кВ: Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] // Полимер-Аппарат. URL: <https://polymer-apparat.ru/upload/polymer/cat04-35.pdf>.

18. ГНД 34.20.177-2004 «Вимоги до проектування повітряних ліній електропередачі напругою 6-35 кВ з проводами із захисним покриттям», затверджений наказом Мінпаливенерго України від 02.03.2004 №130. – К.: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2004. – 24 с.

19. Дмитриев М.В. Применение ОПН в электрических сетях 6-750 кВ. – СПб.: Изд-во НИВА, 2007. – 60 с.

20. Железобетонные опоры ВЛ [Электронный ресурс] // ЛЭПРФ. URL: <http://www.leprf.ru/catalog/gbilep/>.

21. Ананичева С.С., Мызин А.Л. Схемы замещения и установившиеся режимы электрических сетей: Учебное пособие. – 6-е изд., испр. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – 80 с.

22ф URL: http://www.gig-group.com/catalog/steklyannye_izolyatory/.

23. Кадомская К.П., Рейхердт А.А. Влияние способа моделирования ОПН и волны тока молнии на энергетические характеристики защитных аппаратов, установленных на опорах ВЛ // Электромеханика и Электроэнергетика: Научный вестник НГТУ. – 2002. – №1. – С. 91-100.

24. Ping Liu, Xiao Yi, Xu Wang, Yongling Lu, Jianhui Yu, Wenjun Zhou. Calculation on Induced Overvoltage on Low-voltage Overhead Lines // IEEE Power Engin and Autom. Conf. (PEAM). – 2011. – Vol.2. – P. 68-72.

25. Халилов Ф.Х., Евдокунин Г.А., Поляков В.С. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений. – СПб., 2002. – 260 с.

26. Таврида Электрик. Руководство по эксплуатации и применению «Ограничители перенапряжений нелинейные», 2007.- 48 с.

27. Оценка эффективности ОПН. – Новости Электротехники, 2006 г. № 2.

28. Журнал «Энергетик» за 2005-2006 г.

29. Подпоркин Г.В., Сиваев А.Д. Новая грозозащита линий электропередачи с помощью длинно-искровых разрядников. – Энергетик, 1997 г. № 3, с. 15 – 17.

30. Журнал «Электро» за 2005-2006 г.

31. Загоровський С. В. Математичне моделювання розподільних мереж при грозових перенапругах. – Київ 2019 р.

32. НПА ОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті.

33. Правила улаштування електроустановок. Розділ 1. Загальні правила. Розділ 1.7. Заземлення і захисні заходи безпеки. (ПУЕ – 2016), введений з 1.01. 2017 р. Вимоги розділу поширюються на електроустановки змінного і постійного струмів, які проектують, будують або реконструюють. Вимоги цього розділу можна також застосовувати до діючих електроустановок.

34. Наказ МОЗ від 08.04.2014 № 248, зареєстрованим у Мін'юсті 06.05.2014 за № 472/25249, затверджено Державні санітарні норми та правила "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу".

Автор работы:
скрыто настройками конфиденциальности

ID проверки:
1000756612

Дата проверки:
11.12.2019 08:10:05 GMT+0

Тип проверки:
Doc vs My Database

Дата отчета:
11.12.2019 08:11:59 GMT+0

ID пользователя:
41939

Название файла: МД_Ковбасюк

ID файла: 1000768299 Количество страниц: 112 Количество слов: 18439 Количество символов: 130202 Размер файла: 5.19

10.8% Совпадения

Наибольшее совпадение: 5.58% с Источник из Библиотеки аккаунта. Идентификатор файла: EF-638534

Не найдено ни одного источника из Интернета

0% Текстовые совпадения по Библиотеке аккаунта

8

Page 114

0% Цитат

Не найдено ни одной цитаты

3.56% Исключений

Источников меньше, чем 8 слов или 1% автоматически исключено

Не найдено ни одного исключенного текста из Интернета

0% Исключенного текста из Библиотеки

226

Page 114

Подмена символов

Замена символов

1209

Науковий керівник
Кирик В.В.



Відповідаю за перевірку дипломних робіт
не платит за кофрект електрошнур мереж та систем
к.т.н. Чижовський В.В. 12.12.2019