

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Дослідження пристроїв обмеження перенапруг для захисту повітряних ліній від грозових перенапруг»

Виконав: студент 2-го курсу, групи
2ЕСМ-22м

спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні системи і
мережі»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

ХМ Присяжнюк О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСС

Собчук Н. В.

(прізвище та ініціали)

«04» грудня 2023 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. ЕССЕМ

Василько О.В.

(прізвище та ініціали)

«12» грудня 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., проф. Комар В. О.

(прізвище та ініціали)

«11» грудня 2023 р.

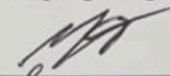
Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні системи і мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.


18 вересня 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Присяжнюку Олександрю Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. Дослідження пристроїв обмеження перенапруг для захисту повітряних ліній від грозових перенапруг

керівник роботи к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС Собчук Н. В.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 року № 247

2. Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 року


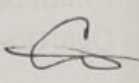
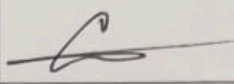
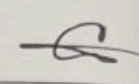
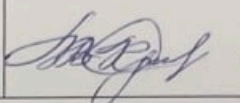
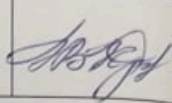
3. Вихідні дані до роботи Вхідні дані:

ПЛ $U_n = 750$ кВ довжиною $l = 400$ км. Опори з розрізаними тросами. Кількість реакторів: на живильному кінці - 1; на приймаючому кінці - 1. Живильна схема з еквівалентним реактивним опором X для режимів по прямій і нульовій послідовності: $X_1 = 144$ Ом; $X(0) = 80$ Ом; ...; $X_1 = 100$ Ом; $X(0) = 54$ Ом; ...; Приймальна схема з еквівалентним реактивним опором X за прямою та нульовою послідовністю: $X_1 = 100$ Ом; $X(0) = 540$ Ом.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Перенапруги та їх дослідження. 2. Засоби захисту повітряних ліній від грозових перенапруг. 3. Аналітичні методи дослідження перенапруг. 4. Дослідження перенапруг в діючій мережі. 5. Економічна частина. 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Конструкція ОПН 2. Види ОПН. 3. Розміщення ОПН на лініях електропередач

6. Консультанти розділів роботи

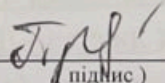
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|--|---|
| | | завдання видав | виконання прийняв |
| Спеціальна частина | Керівник роботи Собчук Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС |  |  |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | Кобилянський О. В. д. пед. н., професор каф. БЖДПБ <i>Собчук Н. В.</i> |  |  |
| Економічна частина | Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС |  |  |

7. Дата видачі завдання 18 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

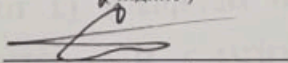
| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | | Пр. міп |
|-------|---|-------------------------------|----------|---------|
| | | початок | кінець | |
| 1 | Розроблення технічного завдання | 15.09.23 | 18.09.23 | вс |
| 2 | Техніко-економічне обґрунтування проектування підстанції | 20.09.23 | 26.09.23 | вс |
| 3 | Електротехнічна частина | 27.09.23 | 05.10.23 | вс |
| 4 | Розрахунок засобів грозозахисту | 06.10.23 | 20.10.23 | вс |
| 5 | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 01.11.23 | 10.11.23 | вс |
| 6 | Економічна частина | 11.11.23 | 16.11.23 | вс |
| 7 | Оформлення пояснювальної записки | 17.11.23 | 25.11.23 | вс |
| 8 | Виконання графічної/ілюстративної частини та оформлення презентації | 26.11.23 | 30.11.23 | вс |
| 9 | Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР | 01.12.23 | 04.12.23 | вс |
| 10 | Рецензування МКР | 05.12.23 | 06.12.23 | вс |
| 11 | Захист МКР | 12.12.23 | - | вс |

Студент


(підпис)

О.О. Присяжнюк

Керівник роботи


(підпис)

Н. В. Собчук

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ..... | 6 |
| 1 Перенапруги та їх дослідження..... | 8 |
| 1.1 Перенапруги повітряної лінії електропередачі..... | 8 |
| 2. Засоби захисту повітряних ліній від грозових перенапруг..... | 15 |
| 2.1 Загальні методи і методи зниження перенапруги блискавки | 15 |
| 2.2 Використання грозозахисних тросів..... | 16 |
| 2.3 Конструкція та принцип роботи ОПН..... | 20 |
| 2.4 ПЛ з обмежувачами перенапруги і перенапруженні блискавки..... | 24 |
| 2.4.1 Розташування обмежувача по маршруту повітряної лінії. | 24 |
| 2.4.2 Установка обмежувача на опори з декількома ланцюгами | 25 |
| 2.5 Основні типи розрядників і способи їх підключення до повітряної лінії..... | 33 |
| 2.6 Ефективність традиційних методів підвищення грозостійкості при ударі блискавки об опору або трос..... | 41 |
| 2.7 Обґрунтування місць установки обмежувачів перенапруг на опори ПЛ..... | 49 |
| 3 Аналітичні методи дослідження перенапруг..... | 55 |
| 3.1 Системи відносних одиниць при розрахунках перенапруг в електричних системах..... | 55 |
| 3.2 Метод симетричних складових в розрахунках перенапруг | 57 |
| 3.3 Параметри розрахункових схем у каналах прямої і нульової послідовностей | 58 |
| 4 Дослідження перенапруг в діючих мережах..... | 60 |
| 4.1 Вимірювання перенапруг в діючих мережах. | 60 |
| 4.1.1 Розрахунок вимушеної напруги перехідного процесу в симетричному режимі..... | 65 |
| 4.1.2 Комутація планового включення..... | 65 |
| 4.1.3 Комутації ТАПВ..... | 66 |
| 4.1.4 Комутація розриву передачі при асинхронному ході..... | 66 |

| | |
|--|----|
| 4.1.5 Розрахунок вимушеної напруги частоти 50 Гц несиметричному режимі за успішного ОАПВ..... | 68 |
| 5 Економічна частина | 70 |
| 5.1 Опис ідеї проекту | 70 |
| 5.2 Технологічний аудит ідеї проекту | 73 |
| 5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту | 74 |
| 5.1 Відновлювальні напруги при відключенні коротких замикань | 86 |
| 6. Охорона праці..... | 78 |
| 6.1 Технічні характеристики і вибір місць розміщення ОПНП-10/550/12,0 УХЛ1..... | 78 |
| 6.2 Дослідження та аналіз умов праці на робочих місцях електротехнічних працівників | 80 |
| 6.3 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників..... | 81 |
| 6.4 Розробка і розрахунок технічних та організаційних заходів з охорони..... | 82 |
| 6.5 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників..... | 82 |
| 6.6 Вибір технічних та організаційних заходів для унеможливлення ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій..... | 85 |
| 6.7 Розрахунок напруженості електричного поля..... | 85 |
| Висновок..... | 91 |
| Література | 93 |
| Додатки | |

АНОТАЦІЯ

УДК 621.316.3

Присяжнюк О.О. «Дослідження пристроїв обмеження перенапруг для захисту ізоляції повітряних ліній від грозових перенапруг». Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця : ВНТУ. 2023. 92 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 14 назв; рис.: 20; табл. 22.

У магістерській кваліфікаційній роботі було проаналізовано ефективність застосування обмежувачів перенапруг для захисту електропередач, визначена залежність підвищення грозостійкості від місць встановлення обмежувачів перенапруг, розглянуто принцип примусового обмеження кратності перенапруг до оптимального за техніко-економічних умов, принципи побудови системи обмеження перенапруг в проектних рішеннях, проведено аналіз розрахункових схем і видів перенапруг, засобів для обмеження перенапруг в електропередачах.

Ключові слова: обмежувач перенапруг, грозостійкість, обмеження кратності перенапруг.

ANNOTATION

UDC 621.316.3

Prisiazhniuk O.O. "Investigation of overvoltage limiting devices to protect lines from lightning surges." Master's qualification work. - Vinnytsia: VNTU. 2023.– 92 p. Bibliogr .: 14. Il .: 20. Tabl .: 22.

In the master's qualification work, the efficiency of overvoltage limiters for protection of lines is analyzed, the dependence of lightning resistance increase on places of installation of overvoltage limiters is determined, the principle of forced limitation of surge multiplicity to optimal under technical and economic conditions is considered. overvoltages, means for limiting overvoltages in power transmission.

Keywords: overvoltage limiter, lightning resistance, overvoltage multiplicity limitation.

ВСТУП

Актуальність теми. Джерелом грозових перенапруг на ізоляції повітряних ліній можуть бути прямі розряди блискавки в повітряну лінію (в опору, в блискавкозахисний трос, в фазний провід), і приведена напруга від розрядів блискавки в об'єкти біля ПЛ. Для забезпечення необхідного рівня грозостійкості ПЛ використовують поєднання традиційних засобів блискавкозахисту: установку одного або декількох блискавкозахисних тросів, зниження опору заземлення опор, посилення ізоляції.

Через високі значення опору заземлення опор ПЛ, високий питомий опір ґрунту, неможливість застосування блискавкозахисних тросів, високі вітро-ожеледні навантаження традиційні засоби грозозахисту не забезпечують необхідну грозостійкість ПЛ. Тоді ефективним способом підвищення грозостійкості може стати установка на опорах ПЛ так званих «підвісних» обмежувачів перенапруг.

У зв'язку із збільшенням номінальної напруги і дальності передачі, а також успіхом в обмеженні атмосферного перенапруги внутрішнє перенапруження починає грати все більш важливу роль у визначенні рівня ізоляції електроустановок. В останні роки детальне вивчення різних видів внутрішніх перенапруг, проведено багатьма організаціями в Україні та за кордоном, виявило основні комутаційні та аварійні режими при появі перенапруг.

Експериментальним і теоретичним дослідженням перенапруг і засобів їх обмеження присвячено велику кількість робіт вчених з України, США, Канади, Швейцарії, Польщі та інших країн. Таким чином, дослідження обмеження внутрішніх перенапруг в електропередачах, які виконано у роботі, є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Кафедра електричних станцій та систем ВНТУ провела наукові дослідження у рамках держбюджетних тем, які були включені до магістерської кваліфікаційної роботи.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської роботи полягає в тому, щоб визначити основні принципи побудови системи обмеження перенапруг, запропонувати варіанти заходів, спрямованих на обмеження перенапруг, проаналізувати, як вони були застосовані в системі електропередачі України, і розглянути перспективи глибшого обмеження перенапруг.

- аналіз принципу примусового обмеження кратності перенапруг до оптимального за техніко-економічних умов;
- дослідження принципів побудови системи обмеження перенапруг в проектних рішеннях;
- аналіз розрахункових схем і видів перенапруг;
- дослідження засобів для обмеження перенапруг в електропередачах;
- аналіз системи обмеження перенапруг, реалізованої для електропередачі України.

Об'єктом дослідження МКР є: грозові перенапруги в електропередачах

Предметом дослідження є: методи і засоби для обмеження перенапруг до припустимого рівня.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань були використані методи аналітичного дослідження перенапруг

Практичне значення отриманих результатів. Результати магістерської кваліфікаційної роботи використовуються у ВНТУ на кафедрі «Електричні станції та системи».

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст МКР, отримані автором під керівництвом к.т.н., доцента кафедри ЕСС Собчук Н.В.

Апробація результатів МКР. Результати доповідались на НТКС факультету електроенергетики та електромеханіки ВНТУ у 2023 році.

1 ПЕРЕНАПРУГИ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Перенапруги повітряної лінії електропередачі.

При нормальних умовах експлуатації напруга на ізоляції обладнання не повинно бути вище ніж найбільша робоча напруга. Перебільшення щодо ізоляції електрообладнання миттєвого значення максимальної робочої напруги називається перенапруженням.

У зв'язку з факторами виникнення перенапруги виділяють 2 групи: внутрішні і зовнішні [8]. Внутрішнє перенапруження – це перенапруження , що виникає через виникнення процесу викликаного під час роботи мережі , при пошкодженні ізоляції або випробуванні комутаційного пристрою. Зовнішнє перенапруження – це перенапруження , що виникає через прямий розряд блискавки через елемент електричної мережі або через виникнення розряду на об'єкті , розташоване поблизу біля лінії електропередачі.

Перенапруження характеризують за допомогою наступних величин:

- Існування підвищеної напруги певний час;
- Період напруги створених коливань;
- Імпульс напруги аперіодичний.

Різні категорії перенапруг варіюються за тривалістю від декількох годин до мікросекунд. У більшості випадків перенапруги самі по собі носять короткочасний характер , вони можуть виникати в результаті швидко-загасаючих перехідних процесів або в аварійному режимі, тривалість якого обмежена через дії автоматики і релейного захисту. Навіть коротко часне перенапруження може привести до перекриття або виходу з ладу ізоляції ,а необхідність відключення пошкоджених або вийшли з ладу

елементів мережі може привести до зниження якості електроенергії перебоїв в електропостачанні споживачів.

Перенапруга впливає як на між фазну , так і на фазну розв'язку з землею. Фазні перенапруги , пов'язані з землею , набули найбільшого практичного значення . Вони впливають на ізоляцію і функціонально відокремлюють струмопровідні частини обладнання від заземлених конструкцій і землі.

У будь-якій точці мережі часовий інтервал між імпульсним перемиканням і імпульсним грозовим перенапруженням ,що виникають під час роботи , зазвичай дуже великий , тому їх можна вважати одноразовими , що відображено на рис. 1.1.4. а) . У той же час квазі стаціонарне перенапруження характеризується підвищенням напруги , яке повторюється багаторазово протягом періоду промислової частоти . Намалюнку 1.4.б) Показана кривизна імпульсу напруги промислової частоти, а намалюнку збільшення величини напруги промислової частоти . Грозові процеси характеризуються досить високими перенапругами при малих тривалостях впливів на ізоляцію, для квазістаціонарних – багатократні впливи на ізоляцію за відносно невеликих величинах перенапруг.

Під час експлуатації відключення повітряного проводу може бути викликано різними причинами , однією з яких є перекриття ізоляції фазного проводу через перенапруження.1 Як правило , при відключенні ізоляції , після проходження циклу APV , відновлюється її власна працездатність і працездатність всієї повітряної лінії . Через перенапругу ізоляція повітряного проводу , швидше за все , перекриється на опорі , оскільки найкоротша відстань від заземленої конструкції до проводу знаходиться на

опорі , яке визначається класом мережевої напруги і типом опори , використовуваної гірляндою ізоляторів.

Кількість відключень повітряних ліній електропередачі під впливом грозового перенапруги залежить від таких факторів [8, 9]:

1. Імпульсний опір при заземленні опори повітряної лінії.
2. Імпульсна міцність ізоляції ПЛ.
3. Наявність спеціальних пристроїв на повітряних лініях для обмеження перенапруги (розрядник , нелінійний обмежувач перенапруги).
4. Наявність кабелів блискавко-захисту (щодо їх кількості та розміщення фазного проводу).
5. Кількість грозових розрядів в повітряну лінію і її околиці.

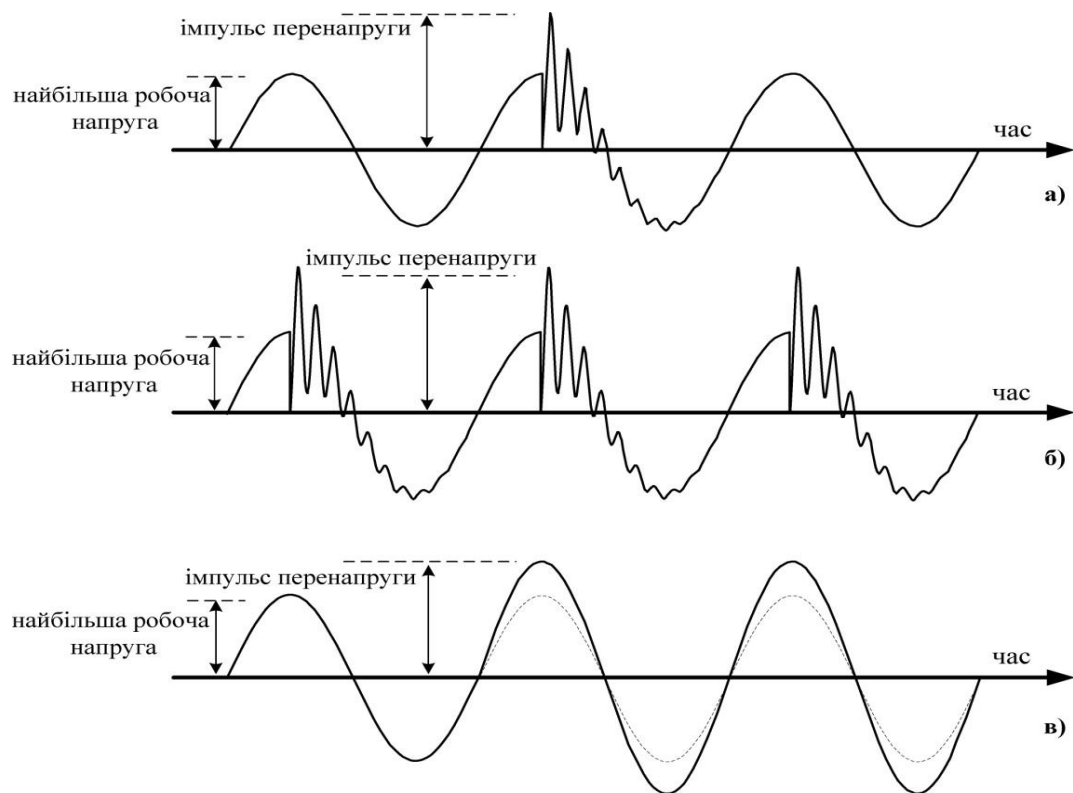


Рисунок 1.4 – Перенапруга різних форм за часових параметрів

Основною причиною грозового перенапруження ізоляції повітряних проводів є наступні впливи блискавки, як показано на малюнку 1.5:

-Розряд поблизу повітряних ліній електропередачі (на землі або інших об'єктах, розташованих в безпосередній близькості від повітряних ліній електропередачі-4);

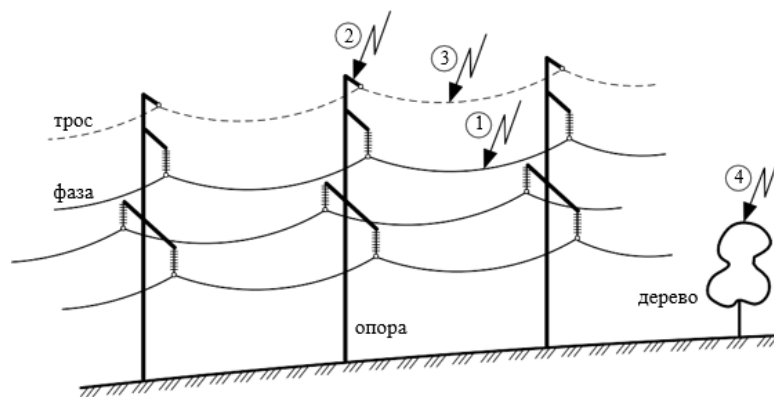


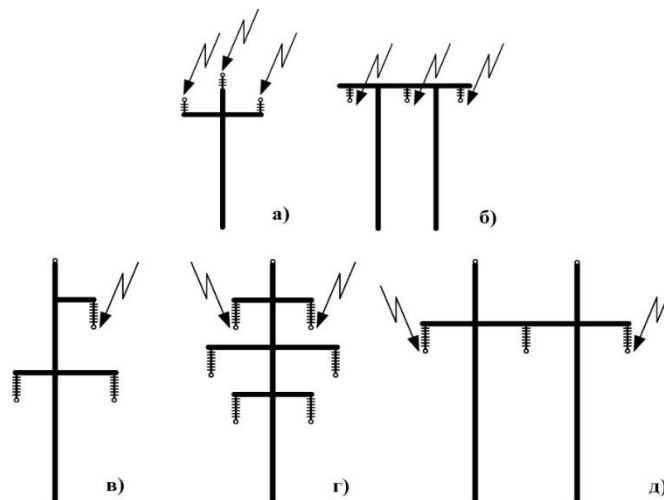
Рисунок 1.5 – Найбільш імовірні місця попадання блискавки

Випадки 1, 2 і 3 показують, що на ізоляцію повітряного дроту безпосередньо впливає перенапруга при розряді блискавки, а в 4 випадках на неї впливає перенапруга.

У представлених параметрах самої блискавки перенапруження прямого розряду більш небезпечно для ізоляції, ніж індуковане перенапруження. Однак ймовірність прямого розряду блискавки в повітряні лінії електропередачі залежить від певних факторів, тому в більшості випадків індуковане перенапруження є основною причиною перегорання ізоляції.

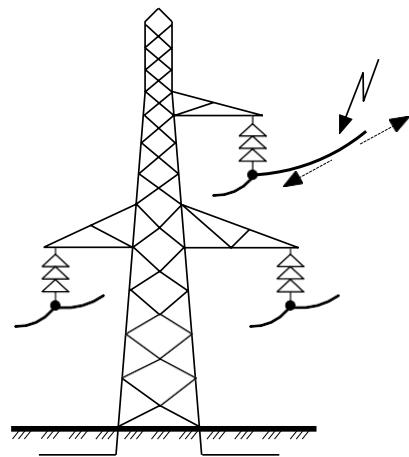
Представлена ситуація типова для електромереж напругою 10-35 кВ , де висота опори відносно невелика , а повітряна лінія має екран у вигляді рельєфу місцевості , лісів і споруд . З цієї причини в мережах напругою 10-35 кВ індуковане перенапруження при грозових розрядах поблизу траси зазвичай вважається основним фактором грозової зупинки повітряної лінії .

-Для розташування фаз здовж вершин трикутника або для вертикального розташування фаз на верхньому дроті-малюнок 1.6, Уздовж крайнього проводу з горизонтальним розміщенням ступені-рис. 1.6,г.



Малюнок 1.6-фазний провід , найбільш ймовірна зона грозового розряду

Повітряна лінія напругою від 10 до 750 кВ



заземлювач

Малюнок 1.7-Розряд блискавки в провід повітряної лінії.

Прямий розряд блискавки в повітряних проводах найбільш вірогідний на проводах напругою 110-750 кВ, тому підвищення блискавкоустойчивості повітряних проводів таких класів номінальної напруги досягається установкою кабелів блискавко захисту на фазних лініях, підключених до опор повітряних проводів. Роль цих кабелів полягає в передачі небезпечних грозових розрядів для ізоляції до струмоведучої частини повітряного проводу і до заземлюючих конструктивних елементів, які менш небезпечні в зв'язку з грозовими розрядами. Існують дослідження [10], згідно з якими на фазні проводи ліній з тросами пробиваються тільки малопотужні блискавки, так як таким блискавка набагато простіше обійти тросовий захист, ніж «менш маневреним» потужним блискавкам, які швидше за все нанесуть удар у заземлені частини ПЛ. Якщо брати до уваги такі дослідження, тоді після установки тросового захисту вже не кожен розряд блискавки в фазний провід повітряної лінії спричинятиме перекриття ізоляції.

На освіту грозових розрядів на фазному проводі може впливати полярність робочої напруги промислової частоти. Отже, на території

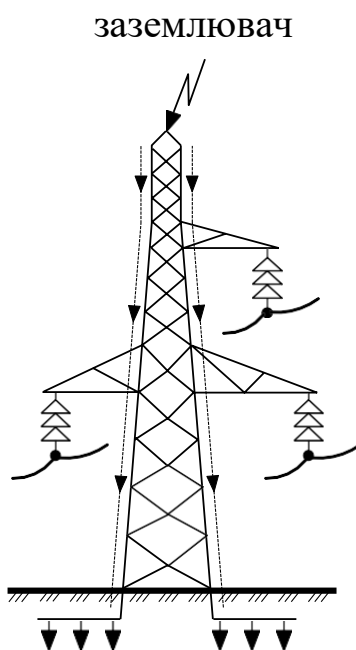
України блискавка характеризується перенесенням негативного заряду на землю, через це для певної фазної лінії розряд утворюється тільки в тому випадку, якщо миттєве значення напруги на цій лінії дорівнює амплітуді позитивної напівхвилі синуса 50 Гц. Але досвід експлуатації мережі і розрахунки показують, що облік робочої напруги в процесі оцінки ймовірності ураження блискавкою фазного проводу слід проводити тільки для ліній від 500 до 750 кВ.

Для лінії 10-35 кВ ізолятор блокується під час кожного прямого розряду блискавки на ПК, але це не зовсім проблема з опорним або фазним кабелем.

Незважаючи на все це, в деяких зарубіжних країнах можна побачити уявну лінію електропередачі з прикріпленим блискавкозахисним кабелем. У таких випадках кабель призначений для зняття індукованого перенапруги (кабель заземлений, а потенціал фазного проводу зменшується).

Кабелі блискавкозахисту встановлюються на повітряних проводах напругою 110-750 кВ, основне призначення яких - передавати розряди блискавки від провідних частин до заземлювальної частини повітряних проводів. Розрахунки, проведені в умовах з використанням різних технологій [8], показують, що установка кабелю блискавкозахисту знижує ймовірність попадання блискавки в фазну лінію в сотні разів і, таким чином, збільшує блискавко віддачу повітряних ліній електропередачі зі 110 до 750 кВ.

Коли блискавка вдаряється об опору повітряної лінії електропередачі, струм блискавки сам проходить через корпус опори і тече на землю через заземлюючий пристрій, як показано на малюнку 1.8..



Малюнок 1.8-Спосіб поширення струму блискавки в умовах розряду на опору надземного кабелю.

2. Засоби захисту повітряних ліній від грозових перенапруг

2.1 Загальні методи і методи зниження перенапруги блискавки

Традиційний спосіб зниження блискавичного перенапруги ізоляції на повітряних лініях полягає в наступному:

- Зниження удароміцності при заземленні опори;
- При стандартній опорі кабелю 110-750 кВ, 1,2, зазвичай макс., більше не регулюється;
- Підвищення ударної міцності ізоляції PL;
- При значному збільшенні ізоляції підводного човна необхідно змінити конструкцію опори;
- Розміщення кабелю блискавкозахисту на дроті.

Можливість застосування вищевказаного відносини обмежена:

- Не прийнято, щоб всі заземлення забезпечували опір заземлення, необхідне для опори.

З досвіду роботи електромережі ми бачимо, що сектори повітряних проводів кожного класу напруги мають більш традиційні рішення, такі як пристрої заземлення, типова ізоляція та кількість кабелів блискавкозахисту. Якщо у конкретної підводного човна немає можливості реалізувати звичайне рішення (зазвичай, за результатами розрахунків, воно не забезпечує необхідної блискавко віддачі лінії), то таке рішення неможливо.

- Найбільш поширеними є нетрадиційні засоби, які характеризуються установкою того чи іншого спеціального захисного пристрою на опорі підводного човна.:

- Тримач іскри;
- Має зовнішній іскровий розряд і при його відсутності - розрядник. грудень. Якщо для ПЛ маємо конкретні ділянки опори або траси, що дають значне погіршення грозостійкості повітряних ліній, внаслідок цього

збільшується кількість вимкнень лінії внаслідок виникнення грозових перенапруг, тоді, як правило, виникає потреба у зменшенні перенапруги для поданих нижче місць:

- для опор із поганим заземленням;
- для відносно високих опор (як приклад, внаслідок переходу через річки);
- для місць з послабленою механічною міцністю ізоляції (тут зразком може бути металева або залізобетонна опора на лініях з дерев'яними);
- для ділянок траси ПЛ, на яких встановили захисний трос;
- для ділянок з перетином ПЛ вищого класу напруги.

Якщо кількість переривань лінії через перенапруження блискавки в повітряних кабелях настільки велике, що стає важко визначити конкретні місця, де опір блискавки знижується, слід переглянути кілька варіантів маршруту лінії одночасно і способи зниження перенапруги. У цьому випадку необхідно виділити наступні 2 проблеми, щоб використовувати спеціальне обладнання та обладнання на повітряній лінії:

- Обсяг установки з цими пристроями;

Етап, на якому їх застосування найбільш ефективно.

2.2 Використання грозозахисних тросів

У лініях електропередач з номінальною напругою 110-750 кВ кабелі блискавкозахисту в основному використовуються в якості захисту фазних ліній від прямих ударів блискавки, які можуть привести до перекриття ізоляції і розриву ланцюга. Крім того, кабелі можуть бути встановлені не тільки на повітряних лініях з номінальною напругою 110-750 кВ, але і на повітряних лініях з номінальною напругою 10-35 кВ. у таких лініях електропередачі кабель має зовсім інше застосування, а саме він використовувався для зменшення значення перенапруги, яке зменшується при ударі блискавки поблизу шляху передачі.

Загальна кількість кабелів, що використовуються в повітряних кабелях напругою 110-750 кВ, дорівнюватиме 1 або 2. Кількість проводів також залежить від певних факторів: класу номінальної напруги, типу і конструкції опори, потужності шторму, вимог до надійності електропостачання для споживача.

При звичайному розташуванні кабель блискавкозахисту поміщається поверх фазного кабелю, але захисний кабель можна підвішувати до фазного кабелю. Це допоміжне розташування кабелів застосовується для зниження ризику освіти

"Зворотна" реплікація.

Додатковою функцією кабелю блискавкозахисту є підвищення вимог до захисту від впливу перенапруги від блискавки для пристроїв, розміщених на кінці жовтня. Для цього ділянки повітряних проводів напругою 35-110 кВ довжиною до декількох кілометрів, підключених до розподільного пристрою, повинні бути заземлені з підключеними 1-2 проводами, не звертаючи уваги на те, чи підключені кабелі до інших ділянок шляху повітряних ліній. Така секція називається підходом екранованого кабелю.

– Для кабелю блискавкозахисту в основному використовується металевий душ, виготовлений з оцинкованого або алюмінієвого дроту. Ця конструкція розрахована на дуже суворі умови експлуатації і стійка до розхитування.

– Тип скручування з поперечним перерізом не менше 35 мм² [13].

– В якості кабелю блискавкозахисту рекомендується використовувати дріт з термообробленого алюмінієвого сплаву зі сталевим сердечником або сталєво-алюмінієвий дріт в наступних випадках::

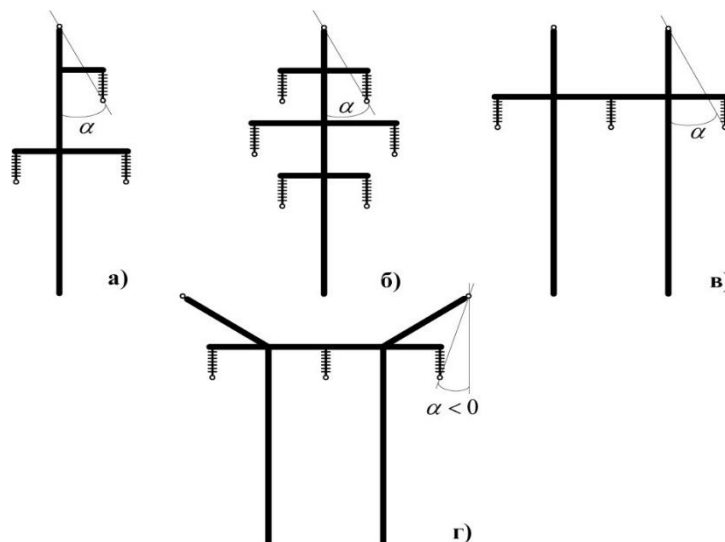
- На дуже небезпечних і відповідальних перехрестях через інженерні споруди (автомагістралі, судноплавні перешкоди, залізниця);;

- ділянки повітряних ліній, що проходять через райони зі значним забрудненням повітря (ділянки з засоленими ґрунтами і водоймами, зони промислового виробництва з підвищеною хімічною активністю викидів,

узбережжя і т.д.), в тому числі проїжджаючи через населені і важкодоступні райони;

- У лініях електропередач з високим однофазним струмом короткого замикання через вимоги щодо зниження впливу повітряних ліній на лінії зв'язку; На перехрестях далекого прямування.

Ефективність деки для ліній електропередачі від 110 до 750 кВ залежить від ймовірності попадання блискавки в провідну фазу. На відміну від цього, значення ймовірності залежить від таких факторів, як кут нахилу та кількість кабелів блискавкозахисту та блискавкозахисту, показаних на малюнку 1. 2.1.



Малюнок 2.1 - Розрахунок кута упору різних видів опор: а) - в трикутному розташуванні фаз; б) - в дволанцюжковому опорі; в) - в горизонтальному розташуванні фаз; г) - в горизонтальному розташуванні фаз.

Використовуючи кабель блискавкозахисту, необхідно виконати наступні вимоги:

1. 1-провідні Однорядні Залізобетонні і металеві опори мають кут захисту не більше 30, а 2–провідні опори - не більше 20.

2. Металева опора з горизонтальним розташуванням проводів

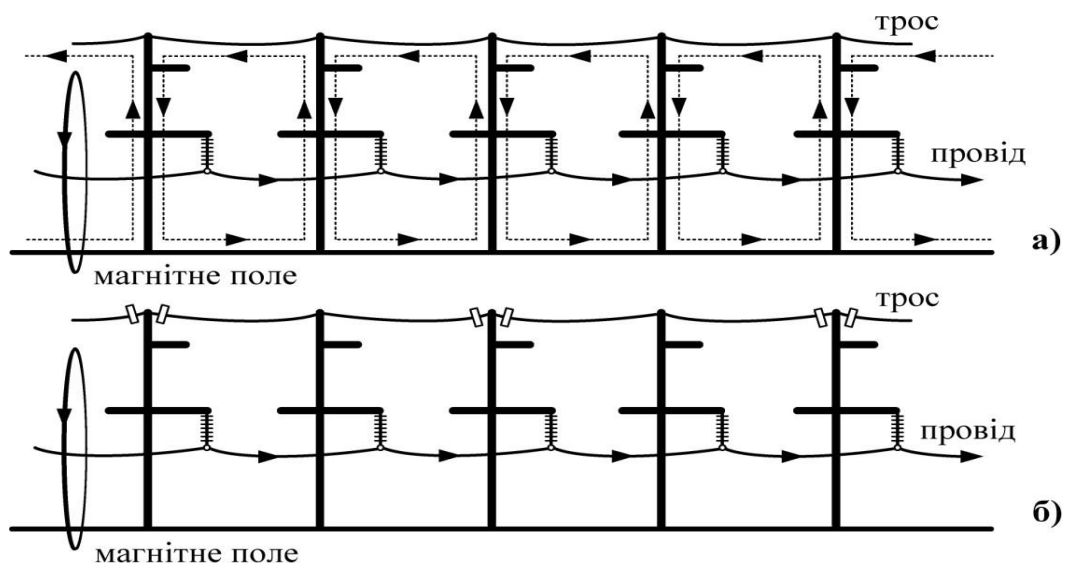
А для 2 проводів кут екранування зовнішніх проводів повітряних проводів

з номінальною напругою в грудні від 110 кВ до 330 кВ не повинен перевищувати 20, відповідно, для повітряних проводів 500 кВ не повинен перевищувати 25 і для повітряних проводів 750 кВ не повинен перевищувати 22.

3. У дерев'яних і залізобетонних опорах конструкції порталу кут захисту визначається величиною, що не перевищує 30, в залежності від крайнього проводу.

Кріплення проводів до всіх опор повітряних кабелів з номінальною напругою в грудні від 220 кВ до 750 кВ повинно виконуватися з використанням ізоляторів.

Коли провід підключений до кожної опори, в замкнутому контурі, він позначений пунктирною лінією на малюнку 1. 2.2 і в нормальному режимі роботи накладного дроту паразитний струм протікає через змінне магнітне поле, створюване струмом фазного проводу, що є результатом збільшення втрат потужності накладного проводу і корозії. кабель. Щоб протидіяти перешкодам під час використання мережі, кабель підключається до опори за допомогою ізолятора, як показано на малюнку 2. 2.2, б).



Малюнок 2.2 - різні способи кріплення кабелю блискавкозахисту до щогли електропередачі: а) - глухий; б) - за допомогою ізоляторів.

Для опорного кріплення кабелю використовується не менше 2 ізоляторів. Ця сума визначається відповідно до вимог для забезпечення належної надійності високочастотного шляху зв'язку.

Для ліній електропередач з номінальною напругою 150 кВ і нижче, якщо танення льоду не передбачено або кабель пл не має високочастотного каналу зв'язку, кріплення кабелю ізоляторами слід проводити тільки в тому випадку, якщо для ліній електропередач використовуються залізобетонні або металеві анкерні опори [13].

2.3 Конструкція та принцип роботи ОПН

Варистори являють собою напівпровідникові резистори і є основними конструктивними елементами нелінійних обмежувачів перенапруг. Електричний опір варистора нелінійно залежить від прикладеної напруги. Він також має характеристики нелінійних вольт-ампер. Активна частина Опн складається з ряду варисторів, з'єднаних з колоною. Залежно від бажаних характеристик і конструкції ОПН, захист від перенапруги може складатися з 1 стовпця або декількох стовпців, з'єднаних паралельно або послідовно.

Основна відмінність між нелінійними резисторами варистора опн і дека клапана полягає в тому, що варистор нелінійного обмежувача збільшує ККД, дозволяє опн працювати безперервно і безпечно під напругою, а також встановлюється дуже важливий рівень захисту електроустановки. Це дозволяє конструкції опн ігнорувати іскровий розряд [16].

Матеріали, що забезпечують нелінійний опір декомунізації, включають оксид цинку та оболонку, що нагадує емаль grіpta, що підвищує ефективність варистора. У процесі виробництва оксид цинку змішується з оксидами інших металів. Варистори, виготовлені на основі оксиду цинку,-це системи, які утворюються, коли рп-переходи з'єднуються послідовно і паралельно. Нелінійність вольт-амперних характеристик варистора визначається його р-п

переходом.

ОПН за своєю конструкцією являє собою колону бариста в трубі зі скловолокна, встановлену на колоні бариста, притиснутою до країв труби зі скловолокна, укладеної в дуже міцний полімерний корпус або порцеляновий корпус з полімерної гуми.

В обмежувачі перенапруги з полімерною ізоляцією відстань між трубою зі скловолокна і колон декою варистора заповнене низькомолекулярним каучуком, а в самій трубі є певний набір отворів для забезпечення необхідного рівня вибухобезпеки конструкції. під час короткого замикання струму.

ОПН з порцеляною ізоляцією має мембрану і ущільнювальне гумове ущільнювальне кільце на торцевій стороні шини, а на фланці встановлена спеціальна кришка з випускним отвором. На самій кришці є контактні гвинти для підключення до провідника.

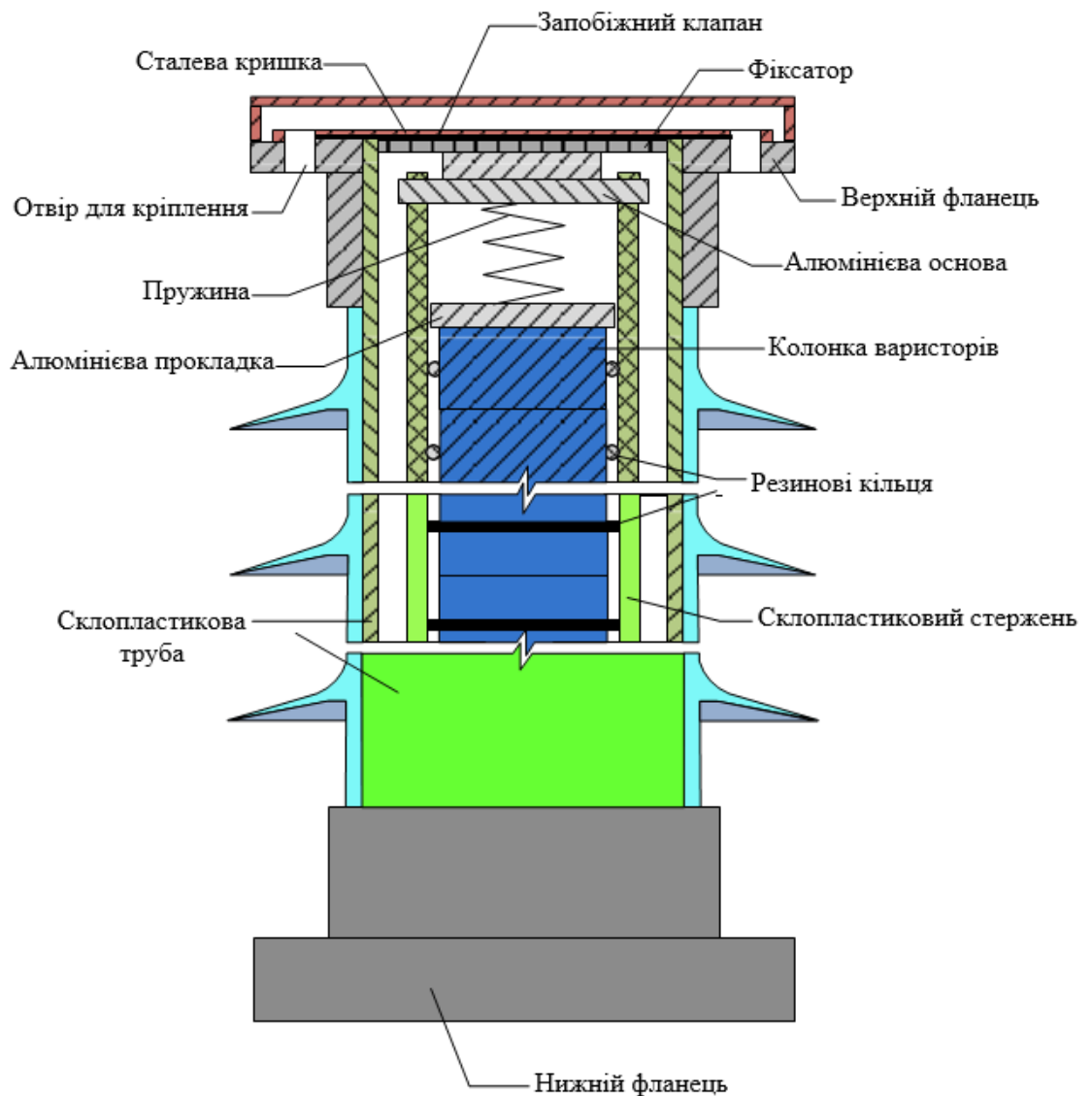
Пристрої з напругою вище 110 кВ також оснащені сітчастими фітингами, що забезпечують рівномірний розподіл напруги по висоті ряду варисторів і обмежують коронний межа обмежує елемента. Екран традиційно виконаний у вигляді одинарного або розділеного тороїда. Конструкція нелінійного пристрою захисту від перенапруги показана на малюнку 1. 2.6.

Процес ОПН заснований на сильно нелінійній вольтамперній залежності та варисторі. Ця властивість являє собою нелінійну залежність струму від напруги. Коли ОПН піддається фазовій робочій напрузі в звичайному мережевому режимі, струм проходить через варистор, і величина цього струму становить близько міліампер у відсотках. При встановленні перенапруги в мережі опір опн швидко падає до значення в кілька Ом, а варистор обмежувача переходить в струмопровідне стан і поглинає енергію електрообладнання, обмежуючи подальше підвищення перенапруги допустимими значеннями для ізолюючих елементів електрообладнання. Імпульс перенапруги перетворюється в теплову енергію і розсіюється по навколишньому середовищу.

Після проходження хвилі перенапруги Обмежувач перенапруги

знову повертається в надпровідний стан.

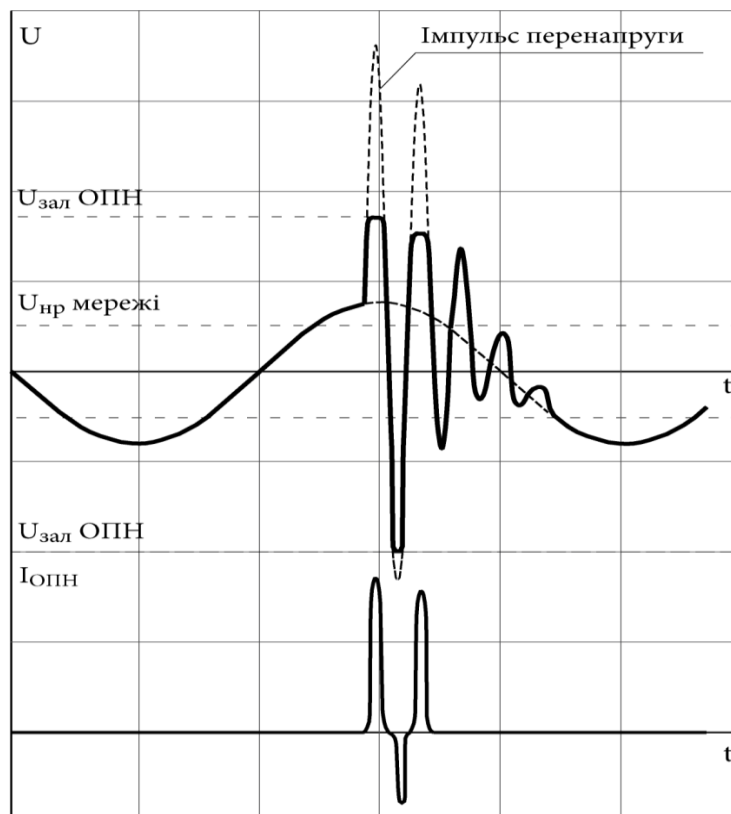
Час переходу ОПН в стан попередника досягає наносекунд, що дозволяє обмежувачу пульсацій якісно обмежувати високочастотне перенапруження[17]. На малюнку 2,6 показаний графік зміни напруги пристрою та струму, що протікає через ОПН під час виникнення перенапруги.



На малюнку 2.6 показана схема нелінійного захисту від перенапруги.

Вольт-амперна залежність нелінійного обмежувача перенапруг складається з трьох частин: області високого струму, області середнього струму і області низького струму. У зоні зниженого струму варистор знаходиться нижче робочої напруги, що не збільшує максимальну робочу напругу (опір варистора занадто велике, протікає невелика кількість струму витоку).

У режимі середнього струму варистор перемикається при виникненні перенапруги в мережі. На перетині 2 областей, в яких змінюється ТВП, опір варистора значно зменшується, і через них протікає короткочасний імпульс струму. Варистор поглинає енергію імпульсу і розсіює її в навколишнє середовище у вигляді тепла. Через поглинання енергії імпульс пульсації швидко падає. По-друге, це аварійний стан варистора, що характеризується швидким збільшенням опору варистору 3. це територія.

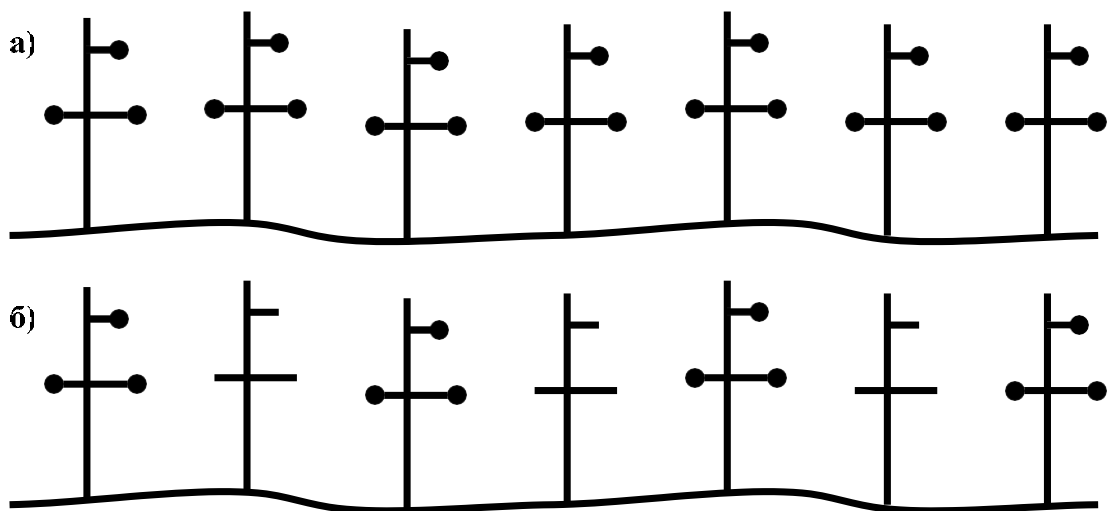


На малюнку 2.7 графічно показано зміну напруги в пристрої в разі перенапруги і струму, що протікає через ОПН.

2.4 ПЛ з обмежувачами перенапруги і перенапруженні блискавки

2.4.1 Розташування обмежувача по маршруту повітряної лінії.

Якщо конкретній повітряній лінії важко визначити ділянки маршруту, несприятливі з точки зору накладення штормової ізоляції, певних несприятливих місць і підтримки вздовж маршруту повітряної лінії, то ми можемо говорити про захист всіх ділянок лінії від штормового перенапруги. В цьому випадку необхідно вирішити, як часто буде встановлюватися обмежувач по маршруту повітряної лінії. Кожна опора (рис. 1). Рис. 2.2, а), через опору (рис. 2.2, а). 2.2, б), 2 підтримка і так далі. Іншими словами, ви повинні мати уявлення про захисну зону гострої ниркової недостатності.



Малюнок 2.2 розташування обмежувача поперек всього шляху повітряної магістралі: (а) на кожній опорі, (б) уздовж опори.

При установці розрядника на розподільному пристрої відстань від розрядника до екранованого силового трансформатора вздовж шини не повинно перевищувати десятків метрів [27]. Таким чином, оскільки захисна зона обмежувача на розподільному пристрої становить всього кілька десятків метрів, під час установки обмежувача на опорі верхнього кабелю ви можете:

Декомунізація між відмовою ізоляції трансформатора і лінійною ізоляцією ФО - це принципово інше явище з точки зору економічного збитку.

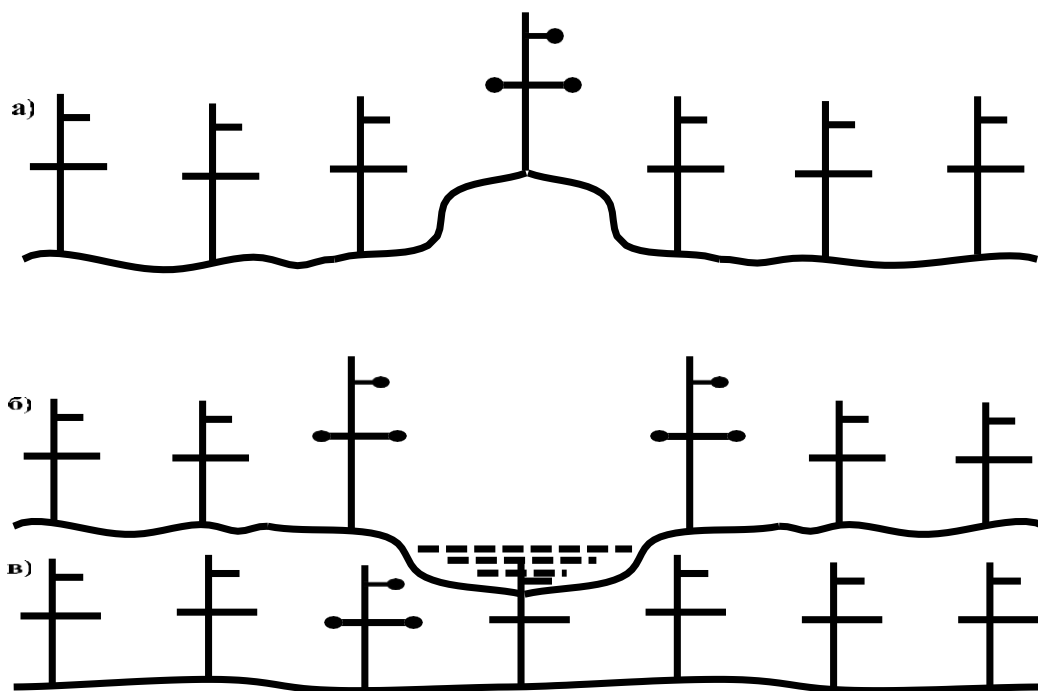
Однак захисною зоною обмежувача на повітряній лінії можна вважати всього кілька сотень метрів, а не більше.

- Для повітряних ліній напругою 6-10 кВ (Типовий розмах 60 м) не менше ніж на 2-3 опорах;

- Для повітряних ліній 35-750 кВ на кожній опорі.

- У разі штормового перенапруги на верхній лінії або на ділянці певної опори рекомендується установка обмежувача напруги:

- Над опорою часто била блискавка (рис. 1).2.3, а і 2.3, а і 2.3, б);
- Висока підтримка з підвищеною індуктивністю (рис. 1).2.3, б);
- Опора з підвищеним опором заземлення (рис. 1).2.3, в);
- В інших випадках.

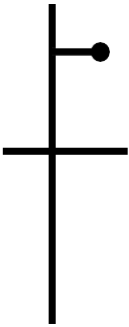
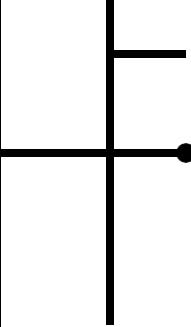
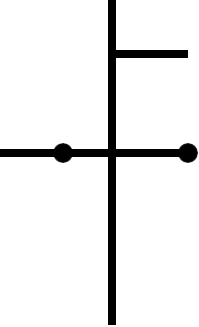
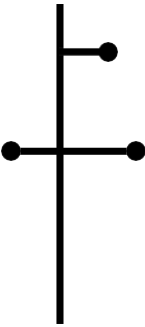


Малюнок 2.3. Розміщення обмежувачів на проблемних опорах: (а) - опора, на яку часто впливають, (б) - опора з підвищеною індуктивністю, (в) - опора з підвищеним опором заземлення

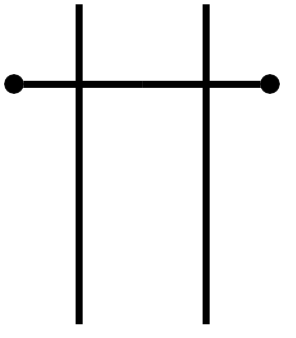
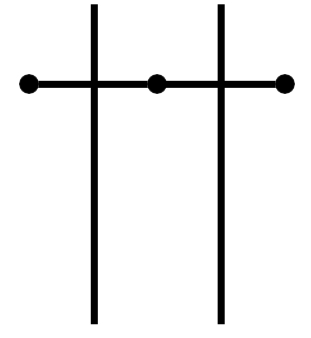
Одноланцюговий тримач опори повітряної лінії, ефективність якого полягає у зменшенні кількості необхідного обладнання та кількості блискавковідводів в ізоляції лінії, відрізняється.

Під час розряду блискавки перенапруження блискавки в ізоляції різних фаз може бути різним, і первинна установка розрядника краще в фазі, на яку ізоляція впливає найбільше. Такий етап був описаний раніше (в першому розділі) в спрощеному аналізі механізмів генерації перенапруг і став основою для формулювання загальних рекомендацій по розташуванню розрядників на одноланцюгових опорах, показаних в таблиці.2.3 для трикутного розташування проводів і столу.2.4 для горизонтального розташування проводів.

Таблиця 2.1. Захист одноланцюгових повітряних ліній з трикутним розташуванням проводів.

| розташування ОПН на опорі | у верхній фазі | в нижній фазі (Під верхньою) | в нижніх фазах | у всіх фазах |
|---------------------------|---|---|--|---|
| схема |  |  |  |  |
| число ОПН на опорі | 1 | 1 | 2 | 3 |

Таблиця 2.2. Захист однопровідних повітряних проводів з горизонтальним розташуванням проводів.

| розташування ОПН на опорі | в крайніх фазах | у всіх фазах |
|---------------------------|---|--|
| схема |  |  |
| число ОПН на опорі | 2 | 3 |

У кожному конкретному випадку найбільш підходящий варіант захисту повітряних кабелів повинен бути підтверджений технічними та економічними розрахунками, зокрема, необхідно визначити, який з 4 перерахованих в таблиці.2.3-2.4 розрахунковий стан є основною причиною припинення повітряних ліній електропередачі.

Для розташування трикутників на дроті теоретична основа узагальнених пропозицій наведена в таблиці.2.3 застосовуються наступні положення:

Розряди блискавки в кабель, швидше за все, знаходяться у верхній фазі, тому саме в них виправдана установка розрядників для захисту від перенапруги, викликаного прямим розрядом блискавки.;

Коли блискавка розряджається в опору лінії без проводів, максимальне перенапруження виникає у верхній фазі, яка вимагає захисту незалежно від опору заземлення опори;

Коли блискавка розряджається в дріт, важко вказати одну фазу, яка перебивається частіше, ніж інша, без розрахунку, але якщо опора заземлення мала, верхня фаза буде меншою.;

Індуктивне перенапруження підлягає установці перенапруги, при цьому всі 3 ступені одноланцюгової опори ізольовані і захищені від них

Тримач повинен бути в 3 етапи.

Для горизонтального розташування проводів наступні положення служать обґрунтуванням для узагальнених рекомендацій в таблиці 2.4:

При наявності проводів блискавичний розряд може відбуватися на екстремальних стадіях при відсутності проводів на будь-якому етапі;

Всі трифазні дроти мають індуктивність, рівну однакою висоті підвіски опорної секції від траверси до землі - тому при попаданні блискавки в опору лінії без проводів фазу неможливо вказати. де ізоляція перекривається частіше за інших.;

При наявності кабелю найвищий коефіцієнт з'єднання з кабелем виникає на проміжній деці (у нього "2 дроти", а на кінці тільки "1 провід") - тому при попаданні блискавки в кабель крайня щабель найчастіше перекривається.

Таблиця 2.3. Блискавичне перенапруження в ізоляції повітряних проводів одного ланцюга з трикутним розташуванням проводу і рекомендаціями по розташуванню для первинної установки обмежувача.

| № розрахункового випадку | Місце розряду блискавки | Місце установки обмежувачів перенапруг | |
|--------------------------|-------------------------|--|------------------|
| | | верхні фази | нижні фази |
| 1 | в фазний провід | + | |
| 2 | в опорі лінії без троса | + | |
| 3 | в трос | +(Малі R_3) | +(Великі R_3) |
| 4 | поруч з ПЛ | + | + |

Таблиця 2.4. Блискавичне перенапруження в ізоляції одноланцюгових повітряних проводів з горизонтальним розташуванням кабелів і рекомендаціями по розміщенню для первинної установки обмежувача.

| № розрахункового випадку | Місце розряду блискавки | Місце установки обмежувачів перенапруг | |
|--------------------------|---|--|--------------|
| | | крайні фази | Середні фази |
| 1 | в фазний провід лінії без троса | + | + |
| | в фазний провід лінії з тросом | + | |
| 2 | в опорі лінії без троса | + | + |
| 3 | в трос (поблизу або на видаленні від опори) | + | |
| 4 | поруч з ПЛ | + | + |

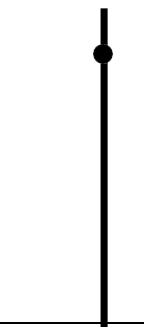
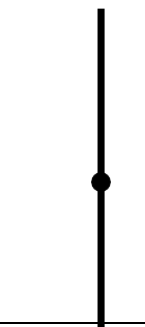
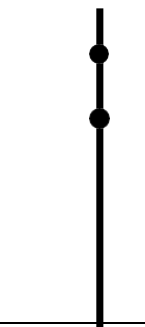
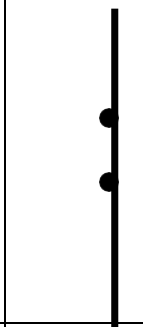
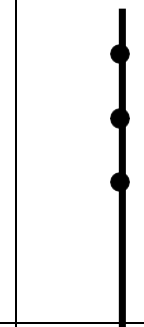
2.4.2 Установка обмежувача на опори з декількома ланцюгами

Коли блискавка розряджається в опору і кабель, можливі багато ланцюгові повітряні лінії

Перекриття ізоляції декількох ланцюгів одночасно небажано для споживачів, особливо якщо верхній провід є єдиним джерелом живлення. Ефективний захист від перенапруг за аналогією з багатомережевими (дволанцюжковими) повітряними лініями може бути створена умовно "сильною" і умовно "слабкою" з використанням принципу поділу ("диференціювання") ланцюга.

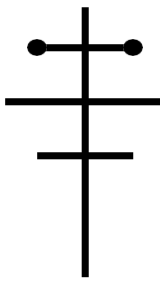
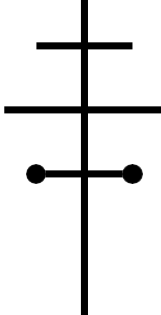
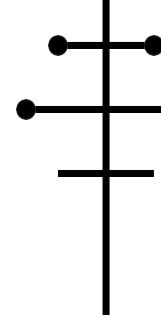
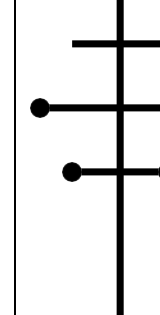
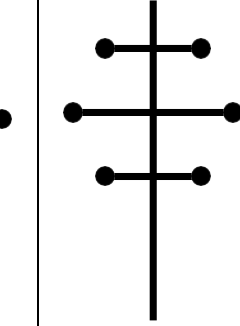
Посилення ізоляції контуру 1 досягається установкою розрядника в фазу розрядника - варіанти розміщення наведені в таблиці 2.5. Загальні рекомендації щодо використання 1 або будь-якого іншого варіанту встановлення обмежувача можна знайти в одноланцюговому ПЛІ (таблиця.2.3).

Таблиця 2.5. Захист дволанцюжкової повітряної лінії з горизонтальним розміщенням проводів
(Захист тільки 1 ланцюга).

| розташування ОПН на опорі | у верхній фазі | в нижній фазі | у верхній і середній фазах | в середній і нижній фазах | у всіх фазах |
|---------------------------|---|---|---|---|---|
| схема |  |  |  |  |  |
| кількість ОПН на опорі | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |

Таблиця 2.6. Захист дволанцюжкової повітряної лінії з горизонтальним розміщенням проводів

(Захист обох ланцюгів).

| розташування обмежувачів перенапруг на опорі | в верхніх фазах | в нижніх фазах | у верхніх і середніх фазах | в середніх і нижніх фазах | у всіх фазах |
|--|---|---|---|---|---|
| схема |  |  |  |  |  |
| кількість обмежувачів перенапруг на опорі | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 |

Якщо роз'єднання не тільки з декількома ланцюгами, але і з одним ланцюгом небажано, розрядник повинен бути встановлений на фазах всіх екранованих ланцюгів, як показано в таблиці 2.6, для забезпечення захисту ізоляції від перенапруги блискавки. Загальні рекомендації щодо використання 1 або будь-якого іншого варіанту регулювання обмежувача потужності аналогічні рекомендаціям для одноланцюгових рІ (Таблиця 1).2.3).

Основним традиційним способом підвищення газостійкості надземного проводу є посилення ізоляції, поліпшення заземлення опори і установка на опорі кабелів блискавкозахисту.

Для повітряних проводів від 6 до 10 кВ міцність ізоляції недостатня, тому традиційні способи підвищення блискавковідводу неефективні і не використовуються, а в деяких випадках опір перенапруження знижується.

Для повітряних ліній напругою від 35 до 750 кВ, якщо правильно виконати заземлення і захист кабелів, в більшості випадків немає необхідності встановлювати велику кількість обмежувачів по маршруту повітряних ліній, тільки для захисту деякої "слабкою" деки (перехід по повітряних лініях найвищого класу напруги, перехід по річках і т.д.).). Позиція) виправдана.

Конкретна потреба в обмежувачах на повітряних лініях напругою 35-750 кВ може виникнути в ситуаціях, коли традиційні заходи не виконуються в повному обсязі з різних причин.:

- Немає захисту кабелю на частині або всій довжині маршруту;
- Опора заземлення опори недостатньо мала.

Спочатку обмежувач напруги був розроблений для захисту від перенапруги розподільного пристрою (РР), замінивши обмежувач клапана, який був захисним пристроєм попереднього покоління. Особливість розподільного пристрою полягає в тому, що розряд блискавки в частині, що несе струм електроустановки, малоімовірний в його поле - це досягається за рахунок установки в поле РР потужної системи громовідводів. Штормове перенапруження, що впливає на ізоляцію обладнання, викликане штормами від підключених пристроїв

Вони утворюються в результаті розряду блискавки на рп повітряної лінії, на повітряній лінії або поруч з нею. Таким чином, обмежувач, встановлений на розподільчому пристрої, розсіює енергію штормових сплесків, які вже були ослаблені ізоляційним перекриттям повітряних ліній, імпульсною короною та втратами.

Повітряні кабелі мають свою власну систему захисту від прямого розряду блискавки на провідні компоненти (відвідні кабелі) - звичайні кабелі блискавкозахисту:

Ефективність кабелю полягає в тому, що в деяких випадках ймовірність попадання блискавки в фазний провід по повітряній лінії більше, ніж в зону розподільного пристрою, захищену громовідводом.;

Довжина повітряної лінії значно більше, ніж розміри рп;

Кількість розрядників на повітряних лініях може бути значно вище.

Якщо на землі встановлено велику кількість розрядників для захисту ізоляції від ударів блискавки, необхідно враховувати можливість попадання блискавки безпосередньо на фазний провід біля розрядників. Ця можливість була б більшою, якби на підводному човні не було блискавкозахисту. Розрядники,

можливо, не були призначені для сильних ударів, таких як прямі розряди блискавки. Давайте оцінімо ступінь небезпеки прямого розряду блискавки.

Під час роботи обмежувача варистора виділяється енергія у вигляді тепла, яка пропорційна кількості послідовно з'єднаних варисторів і класу напруги обмежувача. Здатність обмежувачів перенапруг розсіювати енергію або пропускати імпульси струму перевіряється при так званих робочих випробуваннях, коли в ньому одночасно з впливом напруги 50 Гц пропускають $N = 2$ Імпульсних струму прямокутної форми тривалістю $T_{II} = 2000$ мкс, величина яких залежить від діаметра варисторів і лежить в діапазоні $I_{II} = 300 \div 2000$ А

Допустимі навантаження для варисторних обмежувачів середнього діаметра наступні:

$$q = N \cdot \int_0^t i(t) \cdot dt = N \cdot I_{II} \cdot T_{II} = 2 \cdot 1000 \cdot (2000 \cdot 10^{-6}) = 4 \text{ Кл.}$$

Коли блискавка розряджається в опору і провід, основна частина струму блискавки тече по корпусу опори заземлювального пристрою (за винятком збільшення частоти обертання), не створюючи помітного струму в встановленому на лінії обмежувачі.

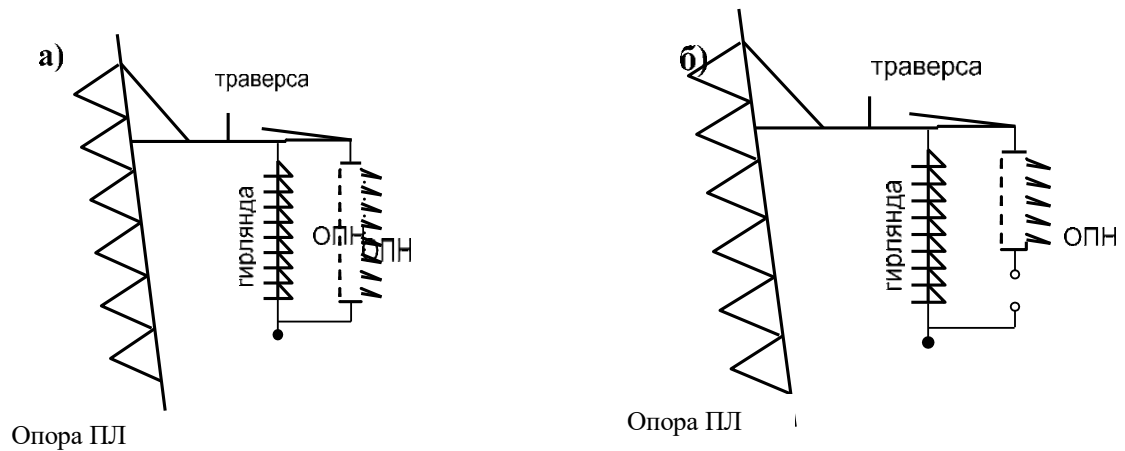
Коли блискавка розряджається в фазну лінію, через розрядник протікає струм, порівнянний з струмом блискавки - цей конкретний випадок є одним з найнебезпечніших з точки зору ризику перегріву і пошкодження розрядника

2.5 Основні типи розрядників і способи їх підключення до повітряної лінії

Обмежувач із зовнішнім іскровим груднем (OPNI) не слід плутати з обмежувачем клапана. Проміжок, патрон клапана із зовнішнім іскровим розрядником і розрядник мають послідовний іскровий розряд, але є наступні відмінності:

- в конструкції обмежувачів перенапруг із зовнішнім іскровим проміжком використовується зовнішній іскровий проміжок, а в конструкції РВ - внутрішній;

- в конструкції обмежувачів перенапруг і обмежувачі перенапруг із зовнішнім іскровим проміжком використовуються нелінійні елементи набагато досконаліші, ніж в конструкції вентиляльних розрядників.



Малюнок 2.6. основні способи установки захисту від перенапруги на опорі: (а) - без іскрового розрядника, (б) - через зовнішній іскровий розрядник.

У конструкції обмежувачів перенапруг із зовнішнім іскровим проміжком іскровий проміжок (ІП) налаштовується на спрацювання при грозових перенапруженнях, виключаючи вплив на нелінійні елементи нормального робочого напруги мережі, а також квазістаціонарних і комутаційних перенапруг. Перераховані особливості обмежувачів перенапруг із зовнішнім іскровим проміжком, як це прийнято вважати, є його перевагами, проте, насправді:

- Перемикаюче перенапруження слід враховувати тільки для довгих повітряних кабелів напругою 330-750 кВ і тільки при установці 1 комплекту обмежувача напруги.;

- Напів постійне перенапруження практично не представляє небезпеки для розрядника при правильному виборі максимальної робочої напруги [30]

- Для підвищення надійності розрядника повітряних проводів потрібна підвищена напруга УВЧ, оскільки ізоляція повітряних проводів має більшу ударостійкість в порівнянні з внутрішньою ізоляцією РР.;

- Згідно з дослідженням [31], тривалий вплив обмежувача перенапруги робочої напруги мережі компенсує зниження характеристик нелінійних елементів через проходження імпульсних струмів, відновлюючи вихідні характеристики напруги обмежувача перенапруги.;

- Тривалий вплив напруги призводить до " висихання " пристрою і збільшує ризик його зволоження.

Для довгих повітряних ліній напругою 330-750 кВ з єдиною установкою розрядників наявність іскрових розрядників є явною перевагою розрядників, в той час як в інших випадках іскрові розрядники вкрай незручні.

Найбільш важливим фактором, який слід враховувати при виборі способу установки обмежувача на опорі, є велика ймовірність того, що накладний провід буде прокладений далі в разі пошкодження одного з встановлених обмежувачів.

Як правило, ОПНІ має жорстке кріплення до опори, що необхідно для забезпечення сталості розмірів іскрового грудня. Якщо розрядник, встановлений в іскровому грудні, виходить з ладу, на повітряній лінії з'являється місце з поганою подачею електроенергії. Такий Обмежувач перенапруги важко виявити, тому що пошкодження обмежувача перенапруги може не вплинути на огляд, і не завжди можливо побачити пристрій в обхід повітряної лінії.

- Оскільки іскрового проміжку немає, розрядник можна прикріпити до опори за допомогою гнучкого кільця з прикріпленням "роздільником" (рис. 1).2.7, а). Символ:

- При нормальній роботі струм передачі ОПН невидимий, коли він проходить через розрядник;

- У режимі обмеження блискавки і зміни перенапруги імпульсний

струм не з'являється сам по собі при проходженні через ОПН;

- Знищений (рис. 1).2.7, б) якщо ОПН виходить з ладу через збільшення струму промислової частоти.

У мережі з заземленою нейтраллю (це 110-750 кВ) при пошкодженні обмежувача перенапруги через нього проходить однофазний струм короткого замикання, що призводить до швидкого руйнування "розгалужувача" і відключення лінії. Обмежувач перенапруги, повітряна лінія ще до виключення головного вимикача. Лінія буде відключена на короткий час, але автоматичний перезапуск буде успішним. При цьому наявність рваних волосків не заважає подальшій експлуатації ПЛ, що наочно свідчить про пошкодження пристрою при огляді ПЛ (рис. 1).2.7, б)

В ізольованих або компенсованих нейтральних (це 6-35 кВ) мережах, якщо захист від перенапруги пошкоджена, в захиснику від перенапруги буде генеруватися невеликий (ємнісний) струм однофазного замикання на землю.

Донедавна відсутність "розділової" конструкції для мереж 6-35 кВ була фактором, що суттєво обмежує використання обмежувачів перенапруги на повітряних лініях 6-35 кВ.

Якщо однофазне коротке замикання відбувається в мережі 6-35 кВ через низький струм, релейний захист не може вибірково виявляти живильники з пошкодженням ізоляції, а працює лише для сигналізації. Якщо замикання на землю викликано пошкодженням обмежувача напруги 1, встановленого на лінії, через кілька хвилин його ланцюг вийде з ладу, від'єднає Обмежувач перенапруги від лінії, відновить нормальну роботу лінії і призведе до зникнення сигналу тривоги.

У разі багатофазного пошкодження мереж 6-35 кВ струм короткого замикання вже достатній для вибіркової роботи релейного захисту. Якщо це пов'язано з пошкодженням обмежувача перенапруги, підключеного до лінії, струм короткого замикання буде проходити через такий Обмежувач перенапруги, що призведе до швидкого руйнування відповідного НС, розриву контуру і відключення обмежувача перенапруги від лінії. ще до лінії повітряна

лінія відключається головним вимикачем.

У цьому випадку переривання циклу:

- Не дозволяє пошкодженому обмежувачу перенапруги заважати подальшій роботі повітряної лінії і забезпечує успіх ОПН:

- Зменшує кількість мережевих місць з пошкодженням ізоляції;

- Під час огляду ПЛ чітко показує пошкоджене пристрій (рис. 1)

Наявність іскрового грудня в обмежувачі перенапруги, що не дозволяє використовувати роздільники, може бути виправдано тільки в тому випадку, якщо Обмежувач перенапруги встановлений 1 раз на довгій повітряній лінії 330-750 кВ.

Основні властивості обмежувача перенапруги, пов'язані з властивостями його нелінійних елементів, полягають у тому, що:

- Найвища робоча напруга;

- Питома енергія, що поглинається кораблем.

Ще одним важливим параметром є «імпульс великого струму $I_{4/10}$ (форма 4/10 мкс), оскільки він відображає здатність обмежувача перенапруг пропускати значні за величиною імпульсні струм

Надійність обмежувача перенапруги в нормальному режимі і при полупостійному перенапруженні (чим більше U_{NRO} , тим краще) ;

- Рівень залишкової напруги обмежувача перенапруги при обмеженні блискавки і зміні перенапруги (чим нижче U_{NRO} , тим краще).

Як показано, в межах даного класу напруги обмежувача перенапруги значення напруги мало впливає на кількість зупинок блискавки в повітряній лінії, тому основна увага приділяється першому з 2 факторів - для підвищення надійності обмежувача перенапруги. Рекомендації щодо використання НРО наведені в таблиці 2.1.

Імпульс струму $I_{4/10}$ для ПЛ всіх класів напруги слід приймати

максимально можливим - в даний час це 100 кА. Таке значення в вигляді жирної вертикальної лінії нанесено на наведених раніше рисунках, які відносяться до струмових впливів на обмежувачі перенапруг. Вибір $I_{4/10} = 100\text{кА}$ має підвищити надійність роботи обмежувача перенапруг, при прямих розрядах блискавки в фазні проводи ПЛ.

Таблиця 2.1.Рекомендовані значення для GNR для підвищення надійності ОПН.

| | | | | | | | | |
|-----------------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_{НОМ}$, кВ | 6 | 10 | 35 | 110 | 220 | 330 | 500 | 750 |
| $U_{НРО}$, кВ | 7.6 | 12.7 | 42.5 | 88 | 176 | 230 | 333 | 500 |
| $I_{4/10}$, кА | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Здатність обмежувача перенапруг поглинати енергію W при грозових імпульсних токах спеціальними випробуваннями не перевіряється. W можна оцінити на основі випробувань обмежувача перенапруг більш високих класів пропускну здатності [29], в рамках яких на обмежувач перенапруг в сукупності з напругою промислової частоти впливають $N = 2$ імпульсний струм прямокутної форми тривалістю $T = 2000$ мкс і величині I

$$W = N \cdot \int_t u(t) \cdot i(t) \cdot dt = N \cdot \left\{ \sqrt{2} \cdot U_{НРО} \right\} \cdot K \cdot I_{П} \cdot T ,$$

де $K \approx 2$ - кратність обмеження перенапруг

Питомою енергією N імпульсів струму називається величина енергії, приведена до найбільшої робочої напруги обмежувача перенапруг:

$$W_{уд} = \frac{W}{U_{НРО}} = N \cdot \sqrt{2} \cdot K \cdot I_{П} \cdot T .$$

Для обмежувача перенапруг 110 кВ, що має найбільшу робочу напругу $U_{НРО} = 88$ кВ і струм пропускну здатності $I_{П} = 1000$ А, припустиму енергію можна оцінити як $W \approx 1000$ кДж.

Коли блискавка розряджається у фазні кабелі та опори (бездротові

повітряні кабелі), енергія більшості встановлених обмежувачів перенапруги 110 кВ може значно перевищувати рівень 1000 кДж.

Ризик пошкодження захисту від перенапруги залежить від::

- Обмежувач пульсацій від питомої енергії (або енергії Вт);
- Наявність зовнішнього іскрового грудня в обмежувачі перенапруг;
- Підтримка опору заземлення;
- Через наявність кабелів;
- Починаючи з кількості фаз, розрядник встановлюється на опорі;

Якщо обмежувач встановлений тільки на тій кількості опор уздовж маршруту повітряної лінії, ви не можете отримати ОПН, оскільки він пропорційний кількості розрядів блискавки і опор на лінії поблизу обмежувача перенапруги.

В таблиці 2.7, видно, що річне число ушкоджень обмежувача перенапруг істотно знижується з ростом допустимих енергетичних впливів на обмежувача перенапруг (з ростом його питомої енергії $W_{пит}$ або пропорційній їй величині – струму пропускної здатності $I_{П}$). Пошкодження обмежувача перенапруг викликає коротке замикання на ПЛ і вимагає її відключення з подальшим запуском циклу АПВ, успішність якого залежить від факту наявності універсального відділювача.

Якщо ПЛ захищена за допомогою порівняно «легких» обмежувачів перенапруг з струмом пропускної здатності $I_{П} = 500$ А, то частота пошкоджень обмежувачів перенапруг в розрахунку на 100 км довжини ПЛ і 100 грозових годин частота складе:

- для ПЛ без троса $N_{опн} \approx 3$ в рік (три ОПН за рік);
- для ПЛ з тросом $N_{опн} \approx 0.01 \div 0.02$ в рік (один ОПН за 50-100 років).

З огляду на викладене, на ПЛ без троса використання «легких» обмежувача перенапруг неприпустимо, а рекомендується використання порівняно «важких» обмежувача перенапруг з грозових годин мати «розумне» річне число

пошкоджень $N_{ОПН} \leq 0.5$ при реальних довжинах ліній і числі грозових годин мова йде про пошкодження одного ОПН за кілька років експлуатації ПЛ).

Таблиця 2.8, а. Оцінка по (2.4) річного числа пошкоджень обмежувача перенапруг при їх установці на усі три фази кожної опори одноланцюгової ПЛ 110 кВ без троса.

| $R_3, \text{ Ом}$ | $I_{П}, \text{ А}$ | D_{ϕ} | P_{ϕ} | D_0 | P_0 | $N_{ОПН}, \text{ на } 100 \text{ км і } 100 \text{ год}$ |
|-------------------|--------------------|------------|------------|-------|--------|--|
| 10 | 500 | 0,5 | 0,0434 | 0,5 | 0,0048 | 2,41 |
| | 1000 | 0,5 | 0,0072 | 0,5 | 0,0002 | 0,37 |
| | 1500 | 0,5 | 0,0006 | 0,5 | 0,0000 | 0,03 |
| 30 | 500 | 0,5 | 0,0212 | 0,5 | 0,0252 | 2,32 |
| | 1000 | 0,5 | 0,0024 | 0,5 | 0,0040 | 0,32 |
| | 1500 | 0,5 | 0,0002 | 0,5 | 0,0000 | 0,01 |
| 100 | 500 | 0,5 | 0,0210 | 0,5 | 0,0438 | 3,24 |
| | 1000 | 0,5 | 0,0022 | 0,5 | 0,0070 | 0,46 |
| | 1500 | 0,5 | 0,0000 | 0,5 | 0,0012 | 0,06 |

Таблиця 2.9, б. згідно з рейтингом (2.4), річна кількість пошкоджень, завданих захисним пристроям від перенапруги, становить одна ланцюг 110 кВ вони встановлюються по одному кабелю на кожні три ступені кожної опори надземного проводу.

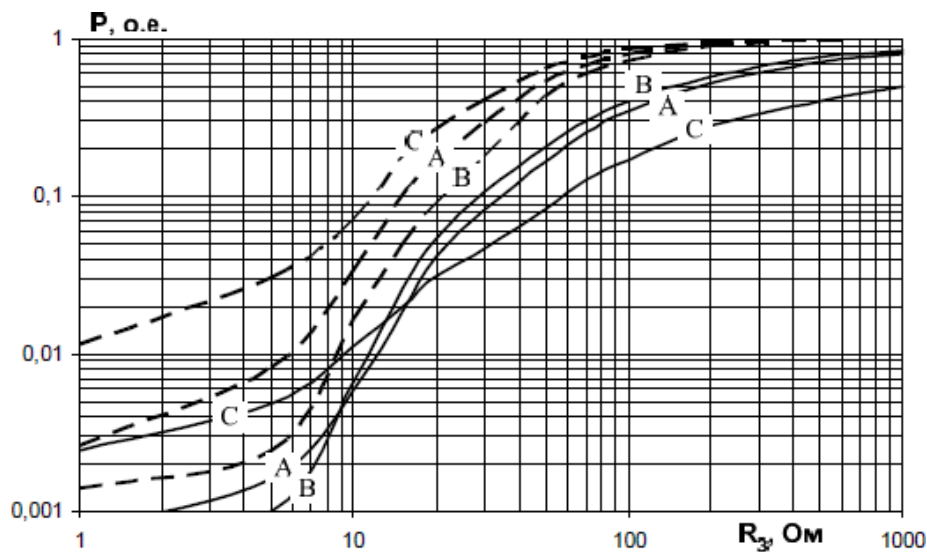
| $R_3, \text{ Ом}$ | $I_{П}, \text{ А}$ | D_{ϕ} | P_{ϕ} | D_0 | P_0 | $N_{ОПН}, \text{ на } 100 \text{ км і } 100 \text{ год}$ |
|-------------------|--------------------|------------|------------|-------|-------|--|
| 10 | 500 | 0,005 | 0,0434 | 0 | 0 | 0,0217 |
| | 1000 | 0,005 | 0,0072 | 0 | 0 | 0,0036 |
| | 1500 | 0,005 | 0,0006 | 0 | 0 | 0,0003 |
| 30 | 500 | 0,005 | 0,0212 | 0 | 0 | 0,0106 |
| | 1000 | 0,005 | 0,0024 | 0 | 0 | 0,0012 |
| | 1500 | 0,005 | 0,0002 | 0 | 0 | 0,0001 |
| 100 | 500 | 0,005 | 0,0210 | 0 | 0 | 0,0105 |
| | 1000 | 0,005 | 0,0022 | 0 | 0 | 0,0011 |
| | 1500 | 0,005 | 0,0000 | 0 | 0 | 0,0000 |

2.6 Ефективність традиційних методів підвищення грозостійкості при ударі блискавки об опору або трос

Діаграма кривої на малюнку, коли удар блискавки потрапляє в наземну частину конструкції надземного дроту 110 кВ. малюнок 3.4 для різного опору заземлення опори виконаний, а малюнок 4 для різного опору заземлення опори виконаний після обробки.

На рис. 2.8 показана залежність ймовірності перекриття ізоляції фаз "А", "В", "С" від опору заземлення опори:

- Пунктирна лінія відповідає розряду блискавки на опорі повітряної лінії без кабелю;
- Повна лінія відповідає розряду від удару блискавки по кабелю; при попаданні в кабель ймовірність розряду від удару блискавки по кабелю вважається однаковою як для ділянки кабелю, розташованого близько до деки, так і для ділянки кабелю в середній частині отвору між скобами.



Малюнок 2.8. Залежність від опору заземлення опори, ймовірність перекриття ізоляції різних ступенів одноланцюгового надземного проводу 110 кВ.

Лінія без кабелю пунктирною лінії має розряд блискавки на опорі. Використовуючи прямий провід, в проводі лінії відбувається розряд блискавки.

З рис.2.8 видно: при дуже малих опорах заземлення вірогідні перекриття ізоляції ПЛ 110 кВ.

При розряді блискавки в трос або опору по опорі в землю стікає імпульсний струм, що створює падіння напруги на заземлювальному пристрої

опори $R_3 \cdot u_{оп}(t)$, і на індуктивності ділянки опори від землі до траверси $L_{ТРАВ} \cdot \frac{du_{оп}(t)}{dt}$.

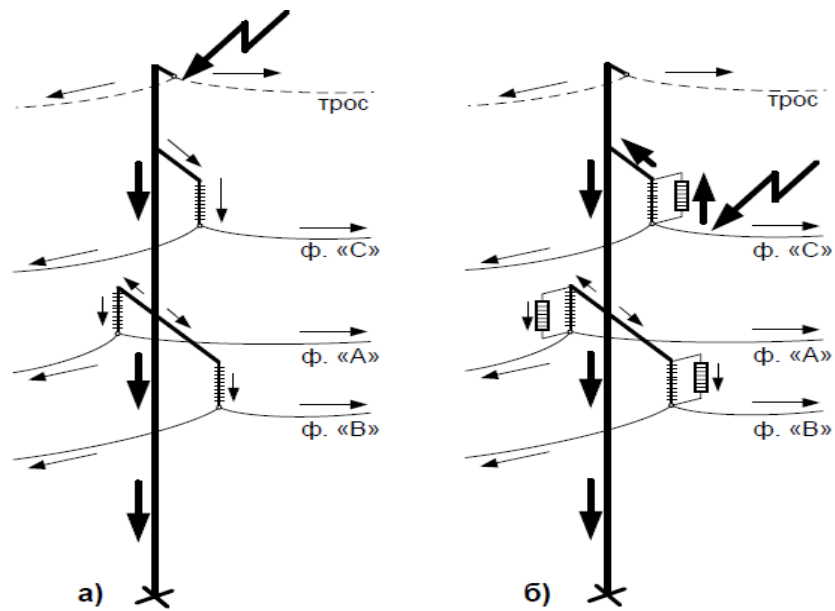
Висока напруга на опорі щодо фазного проводу призводить до перекриття ізоляції з заземленою траверси на фазний провід, тобто до «зворотнього» перекриття. Внаслідок наявності падіння напруги на індуктивності опори навіть ідеальне заземлення опори $R_3 \approx 0$ не гарантує відсутність зворотних перекриттів ізоляції ПЛ 110 кВ при ударах блискавки в її трос або опору. Оскільки для верхніх фаз ПЛ 110 кВ індуктивність $L_{ТРАВ}$ ділянки опори до заземлювального пристрою виявляється більше, то на рис.2.8 (пунктир) для верхньої фази «С» зафіксована підвищена ймовірність перекриття ізоляції в порівнянні з нижніми фазами «А» і «В».

Для провідної лінії, для провідної лінії, описаної на малюнку, кабель вище фази "з", описаної на малюнку 2.8 (пряма лінія)

Якщо кабель, підключений до контуру струму блискавки, має слабкий вплив, визначте кількість зворотних копій лише за допомогою "невеликої" опори заземлення. У великій " опорі заземлення струм блискавки протікає через заземлюючий пристрій найближчої опори і по дроту заземлювального пристрою сусідньої опори до землі (рис. 2.9, а).

Наявність напруги на тросі і опорі $u_{оп}(t)$ призводить до наведенням на фазні проводи $u_{ф}(t) = K_{фТ} u_{оп}(t)$, де $K_{фТ}$ - коефіцієнт зв'язку проводу і троса [2]. Наведення (або коефіцієнт $K_{фТ}$) виявляються максимальними для верхнього фазного проводу «С», найбільш близько розташованого до тросу, тобто для верхньої фази буде найменша напруга на ізоляції $(1 - K_{фТ}) u_{оп}(t)$ ймовірність її перекриття рис.3.5

(суцільна лінія) при «великих» опорах.



Малюнок 2.9. Спосіб поширення струму блискавки під час розряду:
 (а) - до кабелю або опорі лінії без обмежувача перенапруги і (б) - до фазного кабелю в лінії з обмежувачем перенапруги.

У мережі 110 кВ з заземленою нейтраллю досить перебивати ізолятор, так як відбувається коротке замикання і необхідно перебити верхній провід

З 1 фази 1 фаза є принаймні однією з 3 фаз. Тому для дека ми будемо розглядати тільки максимальну ймовірність перекриття ізоляції ФЛ між усіма фазами. Ця ймовірність показана на малюнку 2.8. і 2.10 (суцільна крива немає і пунктирна крива ні.2).

Криві №1 і №3 отримані в разі, коли довжина гірлянди ізоляторів ПЛ 110 кВ відрізняється від наведеної в розрахунках $L_3 = 1.25$ м.

Малюнок 2.10. Опір заземлення опори і ізолятора залежить від довжини гірлянди, ймовірності перекриття ізоляції одноланцюгової повітряної лінії 110 кВ: пунктирна лінія - з розрядом блискавки на опорі лінії без проводів. Прямая лінія-провід лінії в кабелі супроводжується розрядом блискавки.

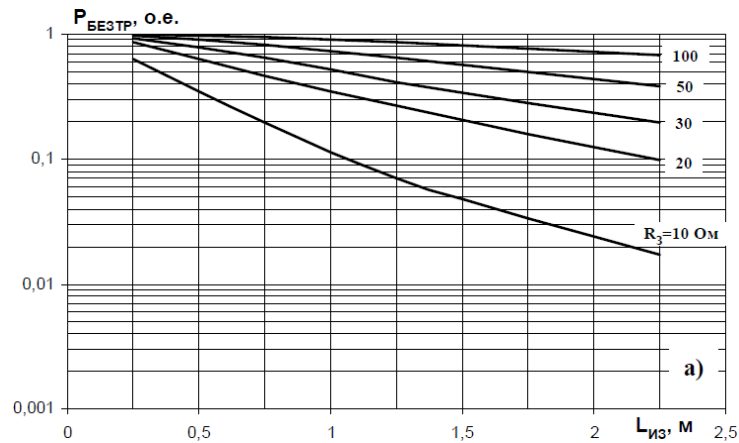
Криві, на рис.2.10, ілюструють відомий факт того, що для зниження ймовірності перекриття ізоляції ПЛ потрібно:

зниження опору R_3 заземлення опор;

- підвищення міцності ізоляції ПЛ (підвищення
- установка тросової захисту.

Для більш широкого діапазону довжин $L_3 = 0.25 \div 2.25$ м, що охоплює класи напруги від 10 кВ до 220 кВ, ефективність традиційних засобів підвищення грозостійкості ПЛ можна оцінити за рис.2.11. Відповідно до рис.2.11 :

- кожне додаткове зменшення опору заземлення опор впливає на число перекриттів ізоляції ПЛ все більш відчутно;

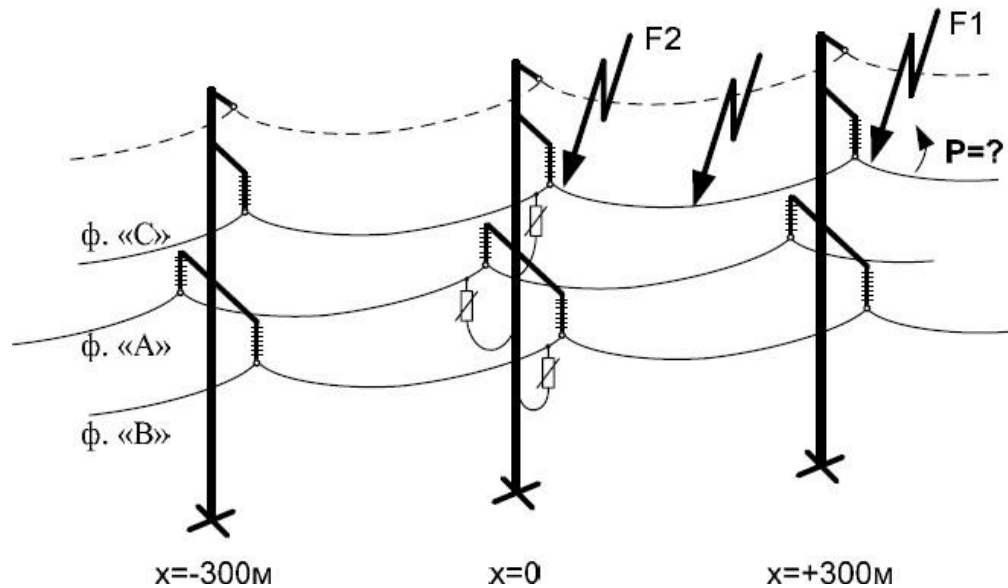


Малюнок 2.11. Залежно від опору заземлення опори і довжини ізолюючої гірлянди ймовірність перекриття ізоляції одноланцюгового надземного проводу напругою 110 кВ становить:

Частота установки обмежувачів за маршрутами повітряних ліній при ударі блискавки по фазовій лінії.

Опора вздовж ізолюючої гірлянди дозволяє перекривати ізоляцію повітряної лінії 110 кВ. для опори з обмежувачем перенапруги правильний вибір її характеристик виключає перекриття ізоляції екранованої фази, але пояснює здатність орп зменшувати перенапруження блискавки в порівнянні з ізоляцією інших опор.

Тут і далі будемо вважати, що обмежувач перенапруг не має іскрового проміжку, оскільки такі апарати потрібно використовувати при масовій установці обмежувачів перенапруг уздовж траси ПЛ. Характеристики обмежувачів перенапруг, приймемо з найбільшою робочою напругою $U_{\text{нРО}} = 88$ кВ напругою 250 кВ при імпульсному струмі 10 кА.



Малюнок 2.13. Одноланцюгова ПЛ з прольотом 300 м і комплектом обмежувачів перенапруги на одній з опор.

На рис. 2.13 показаний одноланцюговий відрізок надземного проводу напругою 110 кВ, на якому обмежувач встановлений над опорою, а не над кожною парою. Припустимо, що на повітряній лінії немає проводів, і розряди блискавки відбуваються у верхній фазній лінії (номери точок 1, 2, 3). Залежно від X-координати положення розряду блискавки ймовірність перекриття з ізоляцією незахищеної опори приведена на рис. 1.2.14.

Згідно рис.2.14 розряд блискавки в фазний провід на відстані $x = 300$ метрів від опори з обмежувачем перенапруг (точка F1) не залежно від величини опору заземлення R_3 супроводжується перекриттям ізоляції ПЛ з імовірністю P .

Це пояснюється тим, що по фазному проводу в сторону незахищеної опори поширюється хвиля

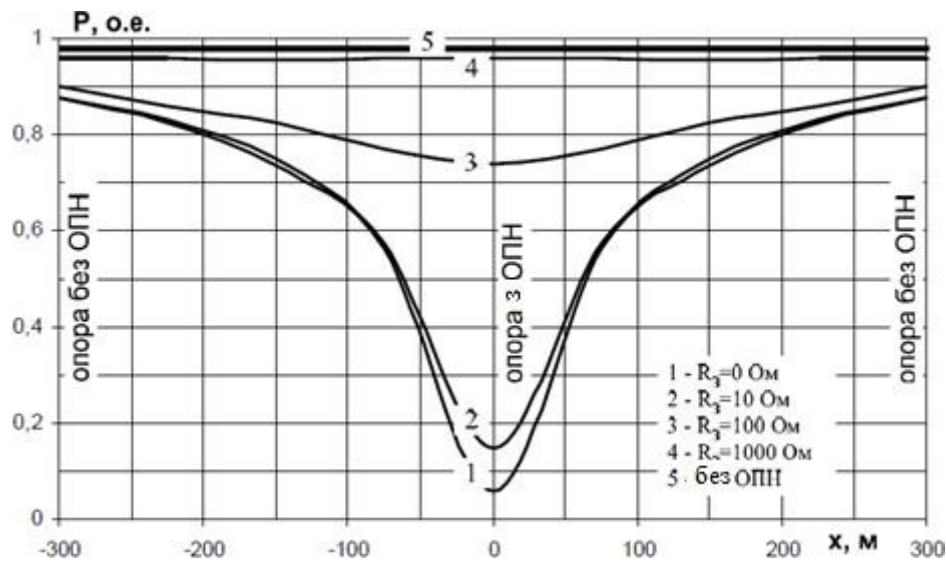
$$u_{\text{ОПН}} + L_{\text{ТРАВ}} \cdot \frac{di(t)}{dt} + R_3 \cdot i(t) \text{ кої в залежності від } i_M(t)$$

величини струму блискавки і швидкості його зміни може помітно перевищувати і залишається напруга опори ПЛ $u_{\text{ОПН}}$ на обмежувачі

перенапруг, і міцність гірлянди ізоляторів незахищена.

Ефективність пакетної установки ОПН будь-якої 2D-опори повітряних ліній

Площа під кривою форми визначається формою.2.14. Така зона являє собою середню ймовірність перекриття ізоляції при розряді блискавки в будь-якій точці фазного проводу, результат її розрахунку показаний на малюнку 1.2.15 в залежності від опору заземлення і довжини зазору опори. Крива номер 4 на



малюнку.2.15 відповідає відсутності обмежувача перенапруги на лінії.

Малюнок 2.14. Залежно від координати x розряду блискавки до фазного проводу "с" і опору заземлення опори (кабель не підключений) опора не захищена обмежувачем перенапруги.

-Аналіз залежності.2.15 ми можемо зробити висновки, що узгоджуються зі світовим досвідом, отримані в разі чергового розряду блискавки в фазний провід надземного проводу 110 кВ без кабелю:

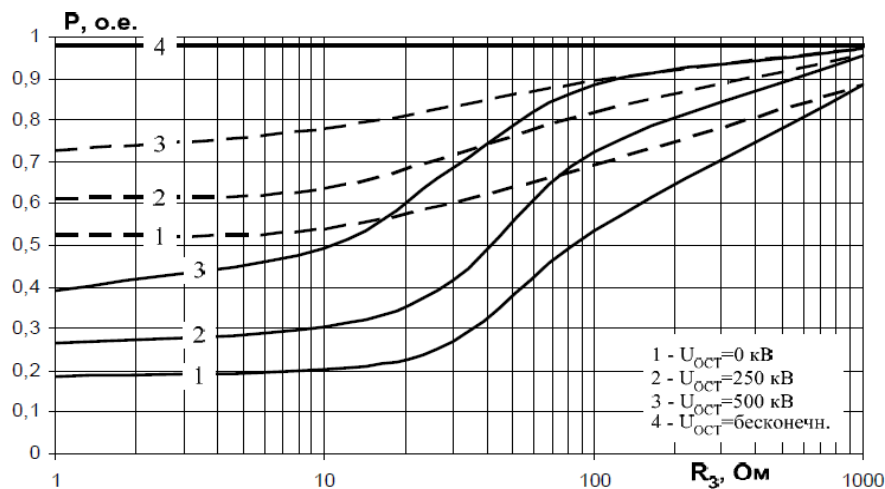
- Установка обмежувача перенапруги через опору ефективна тільки для ліній з коротким прольотом; 200-300 метрів, зазвичай над головою 110 кВ.;

Немає необхідності використовувати розрядник зі зниженим залишковим напругою для підтримки ізоляції лінії.У межах зазначеного класу напруги повітряної лінії і класу обмеження перенапруги Номінальна напруга $U_{нп}$ не робить істотного впливу на роботу під час розряду блискавки повітряної лінії.

Оскільки швидкість хвилі для лінії без кабелю, провідної лінії, розряду в фазну лінію і розряду в опору або кабель кінцева, результат, показаний на іншому прикладі розряду блискавки в фазну повітряну лінію без кабелю, є звичайним явищем.:

При збереженні всього маршруту повітряної лінії установка обмежувача перенапруги повинна проводитися як мінімум кожні 200-300 метрів, тобто кожна опора повітряної лінії 35-750 кВ або 2-3 опори повітряної лінії 6-10 кВ.;

При установці обмежувачів перенапруги на окремі опори зона захисту обмежувачів перенапруги обмежена ізоляцією цих опор.



Малюнок 2.15. Залежно від опору заземлення опори і захисних характеристик обмежувача перенапруги ймовірність перебиття ізоляції надземного проводу без кабелю при розрядці блискавки встановлюється на опору кожні 1 секунду.

2.7 Обрунтування місця установки обмежувача перенапруги на опорі ПЛ

Розряд по дроту верхньої фази " з " і супутньої опори

Це в основному небезпечно перебиттям фаз " з " і "А". Таким чином, для повітряних кабелів без проводів поступове збільшення блискавковідводу можна налаштувати наступним чином, встановивши Обмежувач перенапруги на кожній опорі:

- Пристрій захисту від перенапруги не встановлено (Крива немає. за формою.1.2.16);

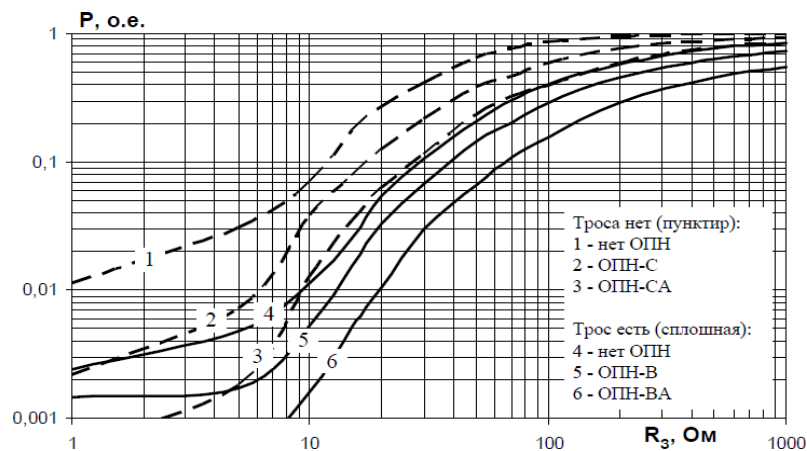
Установка обмежувача перенапруги в фазі " з " (крива немає.2);

Установка обмежувачів перенапруги на фазах "з" і "а" (крива №.3);

- установка обмежувачів перенапруги на фазах "з", "а", "в" (рис. Р=0);
2.16).

– Для надземного кабелю напругою 110 кВ з кабелем з типовою опорою заземлення основною небезпекою є зворотне перекриття при розрядці блискавки в кабель, яке, згідно рис. 1, є зворотним перекриттям при розрядці блискавки в кабель.3.5 (пряма лінія), швидше за все, призначена для підфаз "В" і "а". Таким чином, для повітряних проводів з проводами поступове збільшення блискавковідводу за рахунок установки ОПН на кожній опорі може бути організовано наступним чином:

- обмежувач перенапруг не встановлені (крива №4 на рис.2.16);
- встановлення обмежувача перенапруг в фазу «В» (крива №5);
- встановлення обмежувача перенапруг в фази «В» і «А» (крива №6);



Малюнок 2.16.Залежно від опору заземлення опори і ступені, на якій на кожній опорі встановлений

Обмежувач перенапруги, ізоляція верхнього проводу може перекриватися :Пунктирна лінія - коли блискавка розряджається в опору лінії без кабелю;

Пряма лінія - коли блискавка розряджається в кабель по тій же лінії, що і кабель.

Удари блискавки по повітряній лінії 110 кВ - це не просто удари блискавки по заземленій частині (рис. 1).2.16) щоб зробити остаточний висновок про ефективність конкретної схеми розміщення опн на опорі, необхідно розрахувати всі можливі площі розрядів блискавки, а також кількість

зупинок пл через розряд на фазному проводі.

Вплив установки обмежувача на кількість відключень кількість щорічних грозових розрядів на повітряних лініях 110 кВ залежить від довжини.

ПЛ і грозова активність. Основна небезпека перенапруги блискавки для ізоляції повітряних проводів напругою 110 кВ - це прямий розряд блискавки по повітряних проводах [2] (фазним проводам, опор і кабелів). Середнє відношення кількості розрядів до різних елементів повітряної лінії 110 кВ, що визначається різними доступними методами [2,3 і т.д.].] показано в таблицях 1-3.

Кожне імпульсне перекриття ізоляції ПЛ 110 кВ в мережах з заземленою нейтраллю переходить в силове коротке замикання. Тоді число відключень ПЛ, пов'язаних з грозовими перенапругами:

$$N_{\text{ПЛ}} = (D_{\text{Ф}}D_{\text{Ф}} + D_{\text{О}}D_{\text{О}} + D_{\text{Т}}D_{\text{Т}})n \frac{L_{\text{ПЛ}} T_{\text{Ч}}}{100 100} \quad (2.1)$$

$P_{\text{Ф}}, P_{\text{О}}, P_{\text{Т}}$ - імовірності (в.о.) перекриття ізоляції ПЛ відповідно при розрядах блискавки в фазу, в опору (або в трос поблизу від опори), в трос в середній частині прольоту;

n - питома кількість розрядів блискавки в ПЛ, що становить в середньому n

= 100 раз на кожні 100 км довжини ПЛ і 100 грозових годин;

$L_{\text{ПЛ}}$ - довжина ПЛ (км); $T_{\text{Ч}}$ число грозових годин [2] в році в районі розташування ПЛ.

Для оцінки по (2.1) конкретного числа відключень одноланцюгової ПЛ 110 кВ необхідні:

– величина величина $P = P_{\text{Ф}}$;

- $P = P_{\phi}$ - ймовірність перекриття ізоляції при розрядах блискавки в опору; на рис.3.13 (пунктирні лінії);
- величина $P = \frac{D_{\phi}}{D_T} P_T$ - середня ймовірність перекриття ізоляції при

Розрядах блискавки в різні ділянки троса; вона дана на рис.2.16 (суцільні лінії).

У разі розрядів блискавки в фазні проводи ПЛ 110 кВ (швидше за все в верхню фазу «С») ймовірність P_{ϕ} можна прийняти:

перекриття ізоляції ураженої фази

- рівній $P_{\phi} \approx 1$ при відсутності обмежувачів перенапруг на фазі «С» (крива №4 на рис.2.14);
- рівній $P_{\phi} \approx 0$ при наявності на кожній опорі ОПН в фазі «С».

У табл.2.10 наведені результати розрахунків річного числа грозових відключень ПЛ 110 кВ, без обмежувачів перенапруг. Розрахунки виконані для $L = 100$ км і $T_{ц} = 100$ годин, але при необхідності можуть бути пропорційно перераховані на будь-яку іншу довжину і інтенсивність грозової діяльності.

Дані з табл.2.10 дозволяють відзначити, що в рамках заданого класу ізоляції ПЛ зменшення опорів заземлення опор та встановлення блискавкозахисних тросів є досить ефективними засобами зниження числа грозових відключень ПЛ.

Таблиця 2.10, а. Оцінка числа грозових вимкнень одноланцюгової ПЛ 110 кВ без тросу.

| $R_3, \text{ Ом}$ | D_{ϕ} | P_{ϕ} | D_o | P_o | $N_{\text{ОПН}}$, на 100 км і 100 годин |
|-------------------|------------|------------|-------|--------|--|
| 1 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,0114 | 50,6 |
| 5 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,0306 | 51,5 |
| 10 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,0696 | 53,5 |
| 15 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,1764 | 58,8 |
| 20 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,2670 | 63,4 |
| 30 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,4172 | 70,9 |

| | | | | | |
|------|-----|-----|-----|--------|-------|
| 50 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,6466 | 82,3 |
| 70 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,7746 | 88,7 |
| 100 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,8574 | 92,9 |
| 200 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,9604 | 98,0 |
| 500 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,9952 | 99,8 |
| 1000 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,9992 | 100,0 |

Таблиця 2.10, б. Оцінка числа грозових вимкнень
одноланцюгової ПЛ 110 кВ з тросом.

| $R_3, \text{ Ом}$ | D_ϕ | P_ϕ | $(D_O P_O + D_T P_T)$ | $N_{опн}$, на 100 км і 100 годин |
|-------------------|----------|----------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0,005 | 1,0 | 0,0024 | 0,7 |
| 5 | 0,005 | 1,0 | 0,0049 | 1,0 |
| 10 | 0,005 | 1,0 | 0,0113 | 1,6 |
| 15 | 0,005 | 1,0 | 0,0255 | 3,1 |
| 20 | 0,005 | 1,0 | 0,0543 | 5,9 |
| 30 | 0,005 | 1,0 | 0,1077 | 11,3 |
| 50 | 0,005 | 1,0 | 0,2063 | 21,1 |
| 70 | 0,005 | 1,0 | 0,3007 | 30,6 |
| 100 | 0,005 | 1,0 | 0,4003 | 40,5 |
| 200 | 0,005 | 1,0 | 0,5797 | 58,5 |
| 500 | 0,005 | 1,0 | 0,7647 | 77,0 |
| 1000 | 0,005 | 1,0 | 0,8527 | 85,8 |

Доцільність установки певної кількості обмежувачів на кожну опору можна оцінити за допомогою таблиці.2.11, для опору заземлення: 10, 30 і 100 Ом.

Аналіз таблиці.2.11 призводить до наступних результатів:

- Встановлення лише 1 захисного кожуха від перенапруги на кожну опору (верхню фазу) значно зменшить кількість зупинок блискавки;
- Без кабелю встановлюється тільки 1 Обмежувач перенапруги

для ПЛ з тросом установка 1-2 фаз обмежувачем перенапруг на кожній опорі (в нижні фази) не дає серйозного зниження числа грозових вимкнень і, тому, для ліній з тросом треба встановлення обмежувача перенапруг одночасно в усі фази кожної опори.

При використанні обмежувача перенапруги існує ризик виходу з ладу, дані наведені на наступному малюнку: табл. 2.11, необхідно компенсувати оцінку кількості пошкоджень, завданих захиснику від перенапруги. В процесі експлуатації вихід з ладу захисту від перенапруги пов'язаний з неякісним виробництвом або неврахованим током і енергетичним впливом. За останніми даними провідних вітчизняних і зарубіжних компаній, ризик збитку від неякісного виробництва завжди був значно менше, ніж ризик збитку від неврахованих впливів. Потужний розряд блискавки по фазному проводу поруч з обмежувачем перенапруги служить одним з можливих неврахованих ефектів.

Таблиця.2.11, а. Оцінка ефективності установки обмежувача перенапруги на кожній опорі ПЛ 110 кВ без тросу.

| R_3 , Ом | ОПН | D_ϕ | P_ϕ | D_o | P_o | $N_{ПЛ}$, на 100 км і 100 годин |
|------------|-------|----------|----------|-------|--------|----------------------------------|
| 10 | немає | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,0696 | 53,5 |
| | С | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,0305 | 1,5 |
| | СА | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,0128 | 0,6 |
| | САВ | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0 |
| 30 | немає | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,4172 | 70,9 |
| | С | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,2178 | 10,9 |

| | | | | | | |
|-----|-----------|-----|-----|-----|--------|-------------|
| | CA | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,1156 | 5,8 |
| | CAB | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0 |
| 100 | нема є | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,8574 | 92,9 |
| | C | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,5962 | 29,8 |
| | CA | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,3988 | 19,9 |
| | CAB | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0 |

Таблиця 2.11, б. Оцінка ефективності розміщення обмежувача перенапруги з кабелем на кожній опорі повітряної лінії 110 кВ.

| $R_3, \text{ Ом}$ | ОПН | D_ϕ | P_ϕ | $(D_O P_O + D_T P_T)$ | $N_{пл}$, на 100 км і 100 годин |
|-------------------|-----------|----------|----------|-----------------------|----------------------------------|
| 10 | нема є | 0,005 | 1,0 | 0,0113 | 1,6 |
| | B | 0,005 | 0 | 0,0050 | 1,0 |
| | BA | 0,005 | 0 | 0,0016 | 0,7 |
| | BAC | 0,005 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | нема є | 0,005 | 1,0 | 0,1077 | 11,3 |
| | B | 0,005 | 0 | 0,0664 | 7,1 |
| | BA | 0,005 | 0 | 0,0282 | 3,3 |
| | BAC | 0,005 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | нема є | 0,005 | 1,0 | 0,4003 | 40,5 |
| | B | 0,005 | 0 | 0,2910 | 29,6 |
| | BA | 0,005 | 0 | 0,1662 | 17,1 |
| | BAC | 0,005 | 0 | 0 | 0 |

3. Аналітичні методи дослідження перенапруг

3.1 Системи відносних одиниць при розрахунках

перенапруг величезних систем

В розрахунках внутрішніх перенапруг, як правило, за одиницю часу береться

«синхронна секунда», рівна 1/314 с.

«Синхронний час» позначається через τ , причому

$$\tau = \omega_s t,$$

де, ω_s - кругова синхронна частота, с^{-1} ; t – момент часу, с.

У відносних одиницях часу кругова синхронна частота $\omega_{s*} = \omega_{\text{баз}} = 1$.

Будь-яка інша частота у відносних одиницях рівна

$$\omega = \frac{\omega}{\omega_s}$$

За базисну напругу $U_{\text{баз}}$ приймається максимальна фазна напруга мережі $U_{\text{ф}}$.

Тому напруга, зокрема перенапруга, у відносних одиницях рівна

$$U_{*} = \frac{U}{U_{\text{ф}}},$$

тобто, визначають кратності відносно фазної напруги; саме ця кратність і цікавить нас в розрахунках перенапруг.

Як правило, основне електричне значення - це Хвильовий опір лінії I або номінальний струм трансформатора і т.д. вибирається за допомогою. Тр. включений в схему проектування. Решта основні електричні значення визначаються з двох значень, обраних відповідно деки. 3.1.

Таблиця 3.1 – Базисні електричні величини

| Схема відносних одиниць I | Схема відносних одиниць II |
|--|--|
| $U_{\text{баз}} = U_{\text{ф}}$ | $U_{\text{баз}} = U_{\text{ф}}$ |
| $z_{\text{баз}} = z_{\text{ф}}$ | $I_{\text{баз}} = I_{\text{н.тр.}}$ |
| $I_{\text{баз}} = \frac{U_{\text{баз}}}{Z_{\text{баз}}} = I_{\text{нат.л.}}$ | $Z_{\text{баз}} = \frac{U_{\text{баз}}}{I_{\text{баз}}}$ |
| $P = U_{\text{баз}} \cdot I_{\text{баз}} = P_{\text{нат.л.}}^3$ | $P = U_{\text{баз}} \cdot I_{\text{баз}} = P_{\text{ном.тр.}}^3$ |

де $P_{\text{нат.л.}}$ – натуральна потужність лінії;

$P_{\text{ном.тр.}}$ – потужність трифазного трансформатора).

У розрахунки перехідних процесів входять індуктивності L і ємності C . Оскільки в системі відносних одиниць синхронна частота

$\omega_{s*} = 1$, то $x_* = \omega_{s*} L_* = L_*$ і $b_* = \omega_{s*} C_* = C_*$, тобто, кількісне значення індуктивного опору та індуктивності, як і ємнісної провідності і ємності, збігаються.

За базисну величину потокозчеплення приймається значення при фазній напрузі синхронної частоти на індуктивності

$$\Psi_{\text{баз}} = \frac{U_{\phi}}{\omega_s}$$

Тоді в системі відносних одиниць напруга робочої частоти буде кількісно рівна потокозчепленню $U_* = \Psi_*$. На частоті $\omega \neq \omega_s$.

$$U_* = \omega_* \Psi_*$$

Довжини ліній l (км) під час розрахунків виражаються в радіанах, тобто в розрахунки входить електрична довжина лінії:

$$\lambda = l \frac{\omega_s}{v} = \pi \frac{1}{3000},$$

Де v , - швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі.

У розрахунках внутрішніх перенапруг зазвичай використовують кругову частоту $\omega_s = 314 \text{ c}^{-1}$. Проте в деяких режимах, наприклад, при скиданні навантаження, швидкість обертання роторів генераторів, особливо гідрогенераторів, може істотно зрости. Це призводить до підвищення напруги і частоти. У таких випадках за базисну частоту слід приймати не $\omega_s = 314 \text{ c}^{-1}$, а дійсну частоту $\omega_{\text{дж}}$ джерела. На цій частоті кількісно зростають x і b елементів мережі, а також зростає електрична довжина ліній.

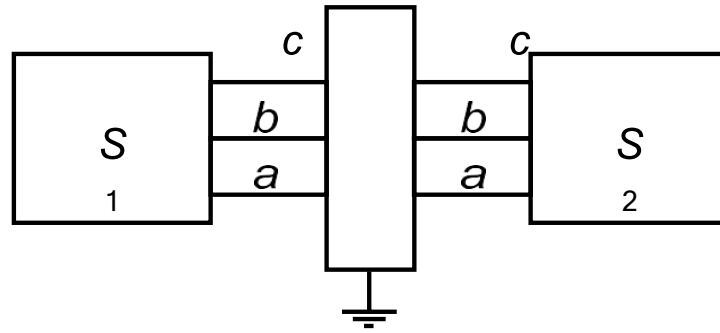
У всіх подальших розрахунках, за деяким винятком, використовуються відносні одиниці. Для спрощення запису знак зірочки на величинах, виражених у відносних одиницях, буде опущений. Таким чином, приймається $\omega_s = 1$; $L = x$; $C = b$; $U = \Psi$.

3.2 Метод симетричних складових в розрахунках перенапруг

При обчисленні переходів при асиметричному перемиканні широко використовуються методи симетричних компонентів, особливо обчислення на основі складних схем підстановки. Конструкція цих ланцюгів описана в уроці "переходи в електричних системах". Особливістю схеми розрахунку перенапруги є те, що опір прямих і зворотних послідовностей z_1 і z_2 дорівнює. Єдиним елементом системи з Z_1 не дорівнює z_2 є Оберттова машина, але для машин з демпфуючими ланцюгами на обох осях при розрахунку перенапруги враховуються ультраконвертіруємі реактивні опори, які приблизно однакові в системах прямого і зворотного струму.

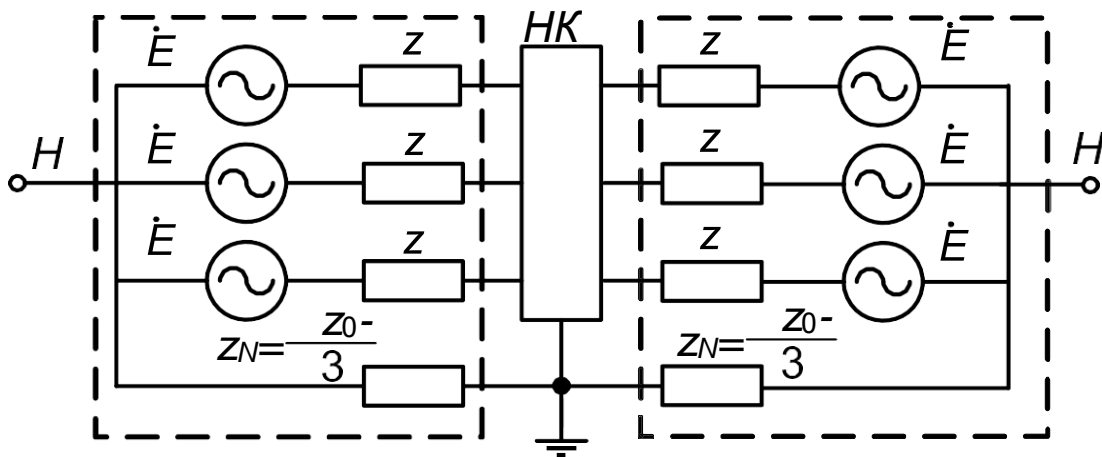
За умови $z_1 = z_2$ розрахунок напруги та струму в асиметричній схемі може базуватися на універсальній складній схемі у фазових координатах, конфігурація якої показана на рис. 1 3.1.3 обох сторін будь-якого асиметричного перемикання він умовно показаний на малюнку. Як показано на малюнку 3.1, блок ЧПУ містить усі типи мереж S_1 та S_2 з будь-якою тимчасовою підтримкою.

На схемі показано заземлення в місці комутації. За методом активного двополюсника для трифазної мережі можна перетворити S_1 і S_2 до схеми на рис. 3.1,б, в якій $\dot{E}_a, \dot{E}_b, \dot{E}_c$ – еквівалентні джерела напруги, яка рівна фазним напругам на розімкнених кінцях a, b, c в симетричному режимі (напруга холостого ходу); z_1 - еквівалентний опір прямої послідовності, рівний фазним опорам в симетричному режимі з точок a, b, c при закорочених джерелах е.р.с (опір короткого замикання);



а)

1

 S_2 

б)

Рисунок 3.1 – Універсальна комплексна схема: а - початкова; б – розрахункова
 За схемі на рис. 3.1, б опір z_0 рівний потрійному опору з точок а, б, с при паралельно з'єднаних фазах:

$$3\left(\frac{z_1}{3} + \frac{z_0 - z_1}{3}\right) = z_0.$$

Ця тотожність підтверджується правильністю структури схеми на рис. 3.1, б. Таким чином, в цій схемі виконуються необхідні та достатні умови зв'язку міжсиметричними складовими напруги і струму.

Універсальна комплексна схема на рис. 3.1 дозволяє безпосередньо визначати фазні напруги і струми в несиметричних режимах. Відзначимо, що схема може бути використана не тільки в усталених, але і в перехідних режимах.

3.3 Параметри схеми розрахунку в каналах прямого і нульового порядку.

Другим етапом після складання розрахункової схеми є визначення параметрів

елементів схеми. Такі параметри, як реактивний і активний опір елементів, залежать від частоти. Спектр частот внутрішніх перенапруг зазвичай не виходить за межі $f = 10^4$ Гц, або кругової частоти $\omega = 2\pi \cdot 10^4$. Розрахункові формули, що наводяться нижче, відносять до цього діапазону частот.

Обладнання в схемі – генератори, трансформатори, реактори – заміщаються своїми реактивними опорами. Частотні характеристики цих елементів лінійні:

$$x(\omega) = \omega x; \quad b(\omega) = \omega b,$$

де, ω - кругова частота виражена в частках від частоти;

x і b — у відносних одиницях і відповідають синхронній частоті.

Джерело напруги (ЕРС.Він задається безпосередньо симетричною трійкою вектора послідовності. У таблиці 1.2 наведені значення реактивів в прямому і нульовому каналах елементів схеми - генератора G, трансформатора T, автотрансформатора АТ, реактора бічної компенсації Р, потужності поздовжньої компенсації на робочій частоті ПК.

Як реактивний (індуктивний) опір генератора береться зазвичай значення

надперехідного реактивного опору $x'' \approx x''$. При цьому вважають, що викликані в демпферних контурах струми за час комутаційного перехідного процесу не встигають згаснути. Допущення припустиме тільки для турбогенераторів. У гідрогенераторах загасання вільних струмів в демпферних контурах обчислюється декількома періодами, тобто наближається за часом до перехідного процесу в довгих лініях. Тому в таких схемах за розрахункове значення реактивного опору гідрогенераторів доцільніше брати перехідний опір x' .

Таблиця 3.2 – Схеми прямої і нульової послідовностей елементів електричних мереж

| Елемент системи | Схема прямої послідовності | Схема нульової послідовності |
|-----------------|----------------------------|------------------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Найбільш трудомістке визначення параметрів ліній електропередачі. Порядок розрахунку цих параметрів наводиться нижче.

Лінія задається своїми геометричними розмірами (рис. 1.3) і середньою питомою провідністю землі ($1/\text{Ом}\cdot\text{м}$). За заданими розмірами визначаються середні відстані:

- середньгеометрична відстань між фазами
- середньгеометрична відстань між проводом і дзеркальним відображенням інших проводів

$$D = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}$$

– середньгеометричні розміри всіх проводів

$$D_e = \sqrt[3]{r \overline{d^2}}.$$

Проводи задаються їх радіусом r ; для розщеплених проводів використовуються еквівалентні радіуси $r_{екв}$.

Формули для обчислення індуктивних опорів і ємнісних провідностей на 1 км лінії наводяться в табл. 3.3.

Таблиця 3.3-Формула розрахунку параметрів одноланцюгових повітряних кабелів (крім кабелів).

| Параметри | Питомі фазові параметри ПЛ | |
|-----------------------|---|---|
| | Поздовжній опір, Ом/км | Поперечна провідність 1/Ом*км |
| Пряма послідовність | $r_1 = r_{np}$ $x_1 = 29 f \cdot 10^{-4} \lg \frac{d}{r_{екв}}$ | $g_1 = 0$ $b_1 = \frac{7,56}{\lg \frac{D_0 d}{r_{екв} D}} 10^{-6}$ |
| Нульова послідовність | $r_0 = r_{np} + 3\pi^2 f \cdot 10^{-4}$ $x_0 = 87 f \cdot 10^{-4} \lg \frac{D_3}{D_{екв}}$ | $g_0 = 0$ $b_0 = \frac{7,56}{\lg \frac{D_0 D^2}{r_{екв} d^2}} 10^{-6}$ |

Магнітне поле струмів прямої послідовності в основному зосереджене в повітрі і лише частково проникає в землю. Магнітне поле струмів нульової послідовності проникає в землю на велику глибину.

Електричне поле напруги прямої і нульової послідовностей повністю розташоване в повітрі; поверхня землі має нульовий потенціал.

Швидкості розповсюдження хвиль каналами прямої і нульової послідовностей рівні:

$$v_1 = \frac{\omega}{\sqrt{x_1 b_1}} \text{ та } v_0 = \frac{\omega}{\sqrt{x_0 b_0}}.$$

На лінії з ідеально провідною землею електричні і магнітні поля зосереджені в повітрі та є дуальними. На такій лінії $v_1=v_0=c$ (c – швидкість світла). Внаслідок розділення електричних і магнітних полів на лінії з реальною землею, що має кінцеву провідність, швидкість v_1 близька до швидкості світла ($v_1 \approx 0,98 c$), а швидкість v_0 складає приблизно $0,6-0,7 c$. Заземлені троси знижують індуктивні опори і підвищують ємнісну провідність ліній.

У таблиці 3.4 наведено типові параметри ліній електропередачі 500 кВ з горизонтальним розташуванням проводів, обчислені для ґрунтів з середнім питомим опором $\rho = 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

Таблиця 3.4-типові параметри повітряних ліній електропередачі 500 кВ на робочих частотах.

| Параметри | Пряма послідовність | Нульова послідовність |
|--|---------------------|-----------------------|
| Активний опір, Ом/км | 0,022 | 0,17 |
| Індуктивний опір, Ом/км | 0,29 | 0,94 |
| Добротність x/r | 13,2 | 6,5 |
| Ємнісна провідність, $1/\text{Ом}\cdot\text{км}$ | $3,9 \cdot 10^{-6}$ | $2,7 \cdot 10^{-6}$ |
| Хвильовий опір, Ом | 270 | 590 |
| Швидкість розповсюдження хвилі, км/с | $2,95 \cdot 10^5$ | $1,97 \cdot 10^5$ |

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕНАПРУГИ В ДІЮЧИХ МЕРЕЖАХ

Найбільш цінну інформацію про внутрішнє перенапруження надають вимірювання в робочій мережі. 1. Одним з таких видів вимірювань є дослідження, що проводиться під час спеціально запланованого перемикання на обраному ділянці мережі відповідно до підготовленої програми. Як правило, ці роботи виконуються при введенні нових ліній електропередачі високої номінальної напруги, нового обладнання або нових схем передачі електроенергії. Вимірювання перенапруг, як правило, виконуються багатопрохідним катодним осцилографом з механічним скануванням одночасно в декількох точках мережі, починаючи з кола управління комутатором і передаючи сигнали по високочастотних каналах зв'язку. У цьому типі роботи зазвичай визначається максимальне перенапруження, що виникає при плановому перемиканні, або їх статистичні характеристики.

Інший тип вимірювання полягає в масовій реєстрації внутрішнього перенапруги під час роботи за допомогою автоматичного катодного осцилографа або іншого простого вимірювального пристрою, який реєструє лише амплітуду перенапруги. Ці дослідження проводилися в багатьох країнах. В Україні вони широко застосовуються в енергосистемі вузлових підстанцій. Вимірювання маси перенапруги дає матеріал для статистичного аналізу амплітуди (і форми) внутрішнього перенапруги, основою для вибору рівня ізоляції лінії і трансформаторного обладнання для досягнення цієї мети є кількість вимірювань, які повинні проводитися на всіх ділянках електричної мережі. можна очікувати виникнення перенапруги.

4.1 Вимірювання перенапруг в діючих мережах.

Щоб розробити конкретні заходи щодо обмеження перенапруги і підвищення надійності електрообладнання, необхідно вивчити типи і рівні перенапруг, що виникають в конкретній електроустановці.

Аналіз результатів реєстрації перенапруги дозволяє визначити максимальний вплив на установку обладнання, оцінити необхідність спеціальних заходів і запропонувати конкретні технічні рішення для обмеження перенапруги.

Сучасні інформаційні технології дозволяють реєструвати аварійні події в високовольтних електричних мережах з реєстрацією передаварійних режимів і застосовувати технології моніторингу на основі аналого-цифрових перетворювачів і ПК.

Вимоги до датчиків і записуючих пристроїв можуть бути скориговані відповідно до параметрів тимчасового процесу.

Основні характеристики перенапруги-амплітуда, частота перехідних процесів, тривалість, частота виникнення - визначаються випадковими факторами і мають значні розбіжності, тому технічні вимоги до набору засобів реєстрації внутрішнього перенапруги в аварійному режимі слід розробляти на основі аналізу можливого перенапруги. Наприклад, верхня межа очікуваної частоти перехідного процесу при замиканні дуги по напрузі становить 10-50 кГц, перемикання можливо за допомогою перемикача з декількома дуговими спрацьовуваннями (особливо з вакуумними).

З огляду на, що тривалість аварійного спрацьовування при внутрішньому перенапруженні коливається від 0,001 секунди до декількох секунд, система запису повинна не тільки забезпечувати досить високу швидкість вимірювання датчика і деки, але і забезпечувати одночасну запис 3-фазної напруги або струму

в аварійному режимі з внутрішнім перенапруженням, зберіганням і накопиченням інформації про надзвичайні події.

Вхідні дані

ВЛ $U_H = 750$ кВ довжиною $l = 400$ км. Опора з розрізаними дротами. Кількість реакторів: на живлючому кінці - 1; на приймальному кінці – 1. Схема живлення з еквівалентним реактивним опором X для мінімального і максимального режиму по прямій і нульовій послідовності: $X^1 = 144$ Ом; $X^{(0)} = 80$ Ом; ...; $X^1 = 100$ Ом; $X^{(0)} = 54$ Ом;

Приймальна схема з еквівалентним реактивним опором X по прямій і нульовій послідовності: $X^1 = 100$ Ом; $X^{(0)} = 540$ Ом.

За табл. П2.1 і П2.2 для $U_H = 750$ кВ визначаємо $Z_{\text{W}}^{(1)} = 265$ Ом; $Z_{\text{W}}^{(0)} = 560$ Ом; $\lambda^1 = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ л} = 1,08 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 0,432$ рад; $\lambda^0 = 1,768 \cdot 10^{-3} \text{ л} = 0,707$ рад.

Реактивний опір реакторів на живлювальному і приймальному кінцях в схемі без нульового реактора однаковий $X_p = 1880$ Ом.

Значення модулів векторів е.д.с. E залежать від типу комутації. Примім для всіх комутацій $E_{\text{min}} = 1,0$, а E_{max} відповідно до діапазону, зазначеного в таблиці 1.5.

| S | Вид комутації | E_{\max} | Тип режиму | v_p |
|---|--|------------|---------------|-------|
| 1 | Планове включення лінії без навантаження | 1.0 | Симетричний | 1.14 |
| 3 | Успішне ОАПВ | 1.15 | Несиметричний | 1.28 |
| 5 | Розрив передачі після неуспішного ОАПВ | 1.15 | Несиметричний | 1.2 |
| 6 | Трифазний розрив передачі внаслідок ліквідації несиметричного к.з. | 1.15 | Несиметричний | 1.2 |
| 7 | Успішне ТАПВ | 1.15 | Симетричний | 1.21 |
| 8 | Невдале ТАПВ | 1.15 | Несиметричний | 1.2 |
| 9 | Розрив передачі при асинхронному ході | 1.25 | Симетричний | 1.24 |

Для зручності розрахунків і наочності складемо робочу таблицю видів комутацій для ВЛ 750, використовуючи нумерацію видів з табл.

Таблиця значень вимушеної напруги на розімкнотому кінці електропередачі залежно від E_{\max} і виду комутації

4.1.1. Розрахунок вимушеної напруги перехідного процесу в симетричному режимі

Для ПЛ 750 вимушена напруга обчислювача за формулами на розкрученому ір і живлючому і" кінцях. За формулою П2.26 визначимо допоміжні параметри, що не залежать від виду комутації і значення е.л.с E :

$$X_p = \frac{1880 \cdot 1880}{1880 + 1880} = 940 \text{ Ом}$$

Для $X_1 = 144 \text{ Ом}$:

$$\operatorname{tg} \phi_p = \frac{1880 \cdot 1880 \cdot 144 - (1880 + 144) \cdot 265}{1880 \cdot 1880 \cdot 265} = 0.392$$

$$\phi_p = (0,374 \text{ рад}) \quad \cos \phi_p = 0,931 \quad \cos(\lambda + \phi_p) = 0,693$$

Для, $X_{1\min} = 100$ Ом визначивши аналогічно, отримуємо:

$$\phi_p = (0,225 \text{ рад}) \quad \cos \phi_p = 0,975 \quad \cos(\lambda + \phi_p) = 0,791$$

За формулами визначимо максимальне і мінімальне ненасичені значення вимушеної напруги на розклученому і живлючому кінцях для різних видів комутацій E_{\max}

4.1.2. Коммутація планового включення

$$v_{p\max} = v_{pe2} = 1 \frac{0,931}{0,693} \frac{940}{144 + 940} = 1,165; \quad v_{n\max} = v_{ne2} = 1,165 \cdot 0,908 = 1,057;$$

$$v_{p\min} = v_{pe1} = 1 \frac{0,975}{0,791} \frac{940}{100 + 940} = 1,114; \quad v_{n\min} = v_{ne1} = 1,114 \cdot 0,908 = 1,01$$

Оскільки $i_{нс2} < 1,15$, то враховувати насичення не потрібно, тоді $i_{pe2} = i_{pe1} = 2 \text{ і } V_{pe2} = V_{pe1} = U_{pe2} = U_{pe1}$.

Математичне очікування про p і дисперсія з γ вимушеного напруги при плановому включенні ненавантаженої лінії на розгнутаго кінці ВЛ 750 обчислюються за формулами П2.5а.

$$v_p = \frac{1,665 \cdot 1,114}{1,165 - 1,114} \ln \frac{1,165}{1,114} = 1,14; \quad \sigma^2 = 3,55 \cdot 10^{-3}$$

4.1.3 Коммутації ТАПВ

Оскільки E для всіх комутацій прийнято однаковим і рівним одиниці. то $i_{p,ш}$ також буде однаковим і дорівнює 1,114. Величина $i_{p,ш}$ (Ш визначається також, як у Г1.2.1, але при значенні $B \sim E$ та $x = 1,15$.

Ми отримаємо:

$$v_{p\max} = v_{pe2} = 1 \frac{0,931}{0,693} \frac{940}{144 + 940} = 1,34 \quad v_{n\max} = v_{ne2} = 1,46 \cdot 0,908 = 1,22;$$

Оскільки $v_{ne2} = 1,22 > 1,15$, то необхідний облік насичення, яке проводиться з використанням формул і кривих рис.

$$\varphi_2 = \arctg(1880/265) = 1,43 \text{ рад}; \quad \tg(\lambda + \varphi_2) = -3,33;$$

$$X_{p\max} = \frac{114 \cdot 1880}{144 + 1880} = 133,75 \quad \text{Ом}; \quad \eta_2 = 13,8 \cdot 10^{-3}.$$

За кривими рис. П2.3 при $\eta_2 = 13,8 \cdot 10^{-3}$ та $v_{ne2} = 1,22$ опиділяємо верхню межу на вищенною значення $v_{n2} = 1,19$. За формулою П2.4 знаходимо максимальне значення вимушеної напруги на розгнутому кінці:

$$v_{p2} = \frac{v_{n2}}{\cos \lambda} = \frac{1,19}{0,908} = 1,31.$$

При $v_{p1}=1,114$ и $v_{p2}=1,31$ визначаємо математичне очікування ви н уже н н н ного напруги при комутації успішного ТАПВ:

$$\bar{v}_p = \frac{1,31 \cdot 1,114}{1,31 - 1,114} \ln \frac{1,31}{1,114} = 1,21; \quad \sigma^2 = 6,4 \cdot 10^{-3}$$

4.1.4 Коммутація розриву передачі при асинхронному ході

Проводячи обчислення, аналогічні наведеним вище, отримуємо $v_{n \max}=1,32$, визначаємо насичене значення $v_{n \max}$ при $\eta_2 = 13,8 \cdot 10^{-3}$; $v_{n \max} = 1,26$;

$$v_{p \max} = 1,26/0,908 = 1,39;$$

8.1.3 Розрахунок вимушеної напруги перехідного процесу в несиметричному режимі

Визначте коефіцієнт несиметричності $h_{кз}$ на початку $h_{к1}$ і в кінці $h_{к2}$ лінії при максимальній $X_{1 \max} = 144$ Ом і мінімальній $X_{1 \min} = 100$ Ом реактивностях живлення.

Приймемо вхідні опори, розраховані за параметрами прямої і зворотної послідовності, рівними $X^{(1)}_1 = X^{(2)}_1$, тоді відповідно до формули $v_2 = 1$; $\varepsilon = 1/(2 + v_0)$

Формула прийме наступний вигляд :

$$h_{кз} = \sqrt{1 + \varepsilon(v_0 - 1 + \varepsilon(1 - v_0)^2)}.$$

За формулами визначимо допоміжні параметри: при $X_1 = 144$ Ом

$$X_1^{(0)} = \frac{80 \cdot 1880}{80 + 1880} = 76,7 \text{ Ом}; \quad X_1^{(1)} = 133,75 \text{ Ом};$$

при однополюсному к.з. в кінці лінії

$$v_0 = (76,7 \cdot 0,76 + 560 \cdot 0,65)/(133,75 \cdot 0,908 + 265 \cdot 0,419) = 1,817, \quad \varepsilon = 1 / (2 + 1,817) = 0,258$$

$$h_{к2} \cong \sqrt{1 + 0,258(1,817 - 1 + 0,258(1 - 1,817)^2)} = 1,12;$$

при к.з на початку лінії

$$v_0 = 76,7/133,75 = 0,573; \varepsilon = 1/(2 + 0,573) = 0,389;$$

$$h_{к1} \cong \sqrt{1 + 0,389(0,573 - 1 + 0,389(1 - 0,573)^2)} = 0,928;$$

при $X_{\min} = 100 \text{ Ом}$ $X^0_1 = 52,5 \text{ Ом}$, $X^1_1 = 94,95 \text{ Ом}$;

при к.з. в кінці лінії $v_0 = 2,05$; $\varepsilon = 0,247$, $h_{к2} = 1,15$;

лінії при к.з. на початку лінії $v_0 = 0,55$, $\varepsilon = 0,392$, $h_{к1} = 0,925$.

Отримані чотири значення коефіцієнта несиметрії $h_{кз}$ дають максимальні значення в залежності від режиму передачі і розташування к.з. на лінії. Для розрахунку мінімального значення v_{\min} , приймемо $h_{кз} = 0,925$, для розрахунку максимального значення $v_{\max} - h_{кз} = 1,12$.

Оскільки для комутації з асиметричним режимом живлення (розрив передачі після невдалого ОАПВ, трифазний розрив трансмісії внаслідок

ліквідації несиметричного к.з. і невдале ТАПВ) прийнято однакове значення $E = 1,15$. то величина v буде обчислюватися наступним чином.

Розрахунок про v_p і v_n при $E = 1$:

$$v_{pe \min} = 1,114; v_{ne \min} = 1,01;$$

$$v_{pek1} = v_{pe \min} h_{к1} = 1,114 \cdot 0,925 = 1,03; v_{nek1} = v_{ne \min} h_{к1} = 0,934.$$

При $E = 1,15$:

$$v_{pe \max} = 1,165 \cdot 1,15 = 1,34; v_{ne \max} = 0,908 \cdot 1,34 = 1,22$$

$$v_{pek2} = v_{pe \max} h_{к2} = 1,34 \cdot 1,12 = 1,5; v_{nek2} = v_{ne \max} h_{к2} = 1,37.$$

Оскільки і $v_{nek2} > 1,15$, то необхідно облік насичення .

За кривими при $\eta_2 = 13,8 \cdot 10^{-3}$ і про $v_{nek2} = 1,37$ визначаємо насичене значення вимушеної напруги $v_{nk2} = 1,29$, тоді $v_{pk2} = 1,29/0,908 = 1,42$.

Для визначення математичного очікування $\bar{U}_{\lambda z}$ на розімкненому кінці ПЛ приймемо $v_{k1} = 1,03$ і $v_{k1} = 1,42$, тоді $\bar{U}_{pkz} = 1,2$; $\sigma^2 = 0,022$.

4.1.5 Розрахунок вимушеної напруги частоти 50 Гц несиметричному режимі за успішного ОАПВ

Аналогічно проведеним вище розрахункам обчислюють максимальне v_{max} та мінімальне значення v_{min} вимушеної напруги, математичне очікування $\bar{U}_{OАПВ}$. З огляду на великий обсяг обчислень докладний розрахунок проведемо тільки для v_{max} , мінімальне значення наведемо без проміжних обчислень.

За формулами визначимо допоміжні параметри $\eta_{1;0}$ та q : за параметрами прямої послідовності електропередачі $X_p = 940$; $X_i = 133,75$; $\cos\varphi_p = 0,975$; $\cos(\lambda - \varphi_p) = 0,795$; $\cos\varphi_p = 0,645$; $\cos(\lambda - \varphi) = 0,9$; $\eta_1 = 100 \cdot 0,645 \cdot 0,795 / (133,75 - 0,975 \cdot 0,9) = 0,437$;

за параметрами нульової послідовності електропередачі $X^{(0)} = 940$;
 $X^{(0)} = 76,73$;

$\cos\varphi^{(0)} = 0,923$; $\cos(\lambda - \varphi^{(0)}) = 0,999$; $\cos\varphi^{(0)} = 0,141$; $\cos(\lambda - \varphi^{(0)}) = 0,542$; $n = 54 \cdot 0,141 \cdot 0,999 / (76,73 \cdot 0,923 \cdot 0,542) = 0,198$;

$$m = (54 (1 + 0,198) 0,437) / (100 (1 + 0,437) 0,198) = 0,994;$$

$$q = 1 - (1/1 + 2 \cdot 0,994) ((1/1 + 0,437) - (0,994/1 + 0,198)) = 1,045.$$

За формулою П2.24 визначається найбільше значення кута Θ_2 при $t_{OАПВ} = 0,6$ с, обчисливши попереднє значення аргументу функції \arcsin :

$$\left[\frac{0,8}{1 \cdot 1,114} \frac{144 + 940 \cdot 0,795}{940 \cdot 265 \cdot 0,975} \cdot 100 + 133,75 \frac{0,9 \cdot 0,975}{0,795 \cdot 0,645} \right] = [0,839] \quad \arcsin(0,8397) = 57^\circ;$$

$$\Theta_2 = 5,7 + (1 + 0,17 \cdot 0,6) 57 = 68,5^\circ; \quad \cos \Theta_2 = 0,366.$$

Провівши аналогічні розрахунки для X_{\min} та E_{\min} , отримаємо:

$$q_{\min} = 1,034; \Theta_1 = 40,17^\circ; \cos \Theta_1 = 0,764$$

Підставивши отримані значення формулу, отримуємо

$$L_{\min} = \sqrt{1,034^2 \cdot 1,114^2 + 0,034^2 \cdot 1 + 2 \cdot 1,034 \cdot 0,034 \cdot 1,114 \cdot 1 \cdot 0,036} = 1,165;$$

$$L_{\max} = \sqrt{1,045^2 \cdot 1,31^2 + 0,045^2 \cdot 1,15^2 + 2 \cdot 1,045 \cdot 0,045 \cdot 1,31 \cdot 1,15 \cdot 0,764} = 1,41;$$

Математичне очікування вимушеної напруги за успішного ОАПВ дорівнює

$$\bar{E}_p = 1,41 \cdot 1,165 \ln (1,41/1,165) / (1,41 - 1,165)$$

= 1,28; Дисперсія $\sigma^2 = 0,0043$.

5. Економічна частина

Комерціалізація вибору високовольтних обмежувачів перенапруг.
Маркетинговий аналіз.

5.1 Опис ідеї проекту

Передача енергії постійного струму-це вже усталена технологія, яка використовується вже більше 50 років. Протягом перших 30 років не було перспективних технологій, а кількість проектів на рік була обмежена.

Зі зміною вимог та зміною екологічних потреб лінії постійного струму стали популярним інструментом при проектуванні та розробці мереж передачі. Ключовим фактором декомунізації є необхідність збільшення пропускної здатності та відстані між виробниками та споживачами.

Нелінійні обмежувачі стали невід'ємною частиною будь-якої електростанції. Вхідне перенапруження блискавки, зміна перенапруги мережі, коротке замикання в лінії можуть викликати збудження високої напруги і струму в лінії, перешкодити роботі електрообладнання на підстанції і навіть вивести його з ладу. Щоб уникнути подібних ситуацій, на підстанціях, розроблених 10-20 років тому в Японії, Швеції та Німеччині, використовуються нелінійні обмежувачі напруги. Використання нелінійних обмежувачів дозволяє запобігти такі ефекти або мінімізувати їх наслідки.

Табл. 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту методів визначення захисних властивостей високовольтних обмежувачів перенапруг

| <i>Зміст ідеї</i> | <i>Напрямки застосування</i> | <i>Вигоди користувача</i> |
|-------------------|--|---|
| обмежувачів | 1.Вибір основних електричних характеристик нелінійних | Можливість вибору ОПН за його основними електричними |
| | 2.Визначення дійсного значення витриманого статичного навантаження нелінійних обмежувачів перенапруг | Можливість вибору нелінійних обмежувачів перенапруг за його витримуваним механічними навантаженнями |
| перенапруг | 3. Розрахунок провідності матеріалу ізоляційної покришки ОПН | Перевірка обраного ОПН для |

Перші 3 пункти представлені в табличній формі (таблиця 6.1) і описують зміст ідеї і всі можливі основні потенційні можливості для пошуку групи потенційних клієнтів.

Проаналізувавши потенційні техніко-економічні переваги ідеї перед пропозиціями конкурентів, можна сказати наступне: метод вибору ОПН дає можливість вибрати ОПН за найбільш вигідним ціновим показником шляхом вибору і порівняння моделей, відповідних розрахунковим характеристикам.

На нашу власну думку, порівняльний аналіз показників проводився на основі наступних показників: а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї визначення захисних властивостей високовольтних обмежувачів перенапруг постійного струму

| № п/ п | Техніко- економічні характери- стики ідеї | (потенційні) товари/концепції конкурентів | | W (слабка сторона) | N (нейтрал ьна сторона) | S (сильна сторона) |
|--------------|---|---|--|---|---|--|
| | | Мій проект | Конкурент | | | |
| 1. | Методика вибору нелінійних обмежувачі в перенапруг | Визначення основних електричних характеристи- к та дійсного значення витримуваного статичного навантаження ОПН | Відсутні попередні розробки. Існуючі розробки в інших країнах недоступ- ні (прихова- ні для одержання переваг – першості нових технологій). | Потреба в розробці нормативно ї документац ії на державному рівні. Відсутні державн і стандар ти та рекомендац ії з вибору високовольт них ОПН постійного струму | Часткове використ ання існуючих методик для розраху нку електри чних характери- стик ОПН змінного струму | Широкий діапазон можливості застосовува ння матеріалів для вибору ОПН постійного струму |

Виходячи з наведеного списку слабких, сильних, нейтральних характеристик та характеристик потенційних ідей продукту, ми можемо обговорити

конкурентоспроможність методології вибору високовольтних розрядників для ліній електропередач.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В рамках цього розділу проводиться аудит технології, за допомогою якої може бути реалізована ідея проекту (Технологія створення товарів).

Щоб визначити технічну доцільність ідеї проекту, необхідно проаналізувати наступні компоненти (таблиця 7.3):

- Яка технологія використовується для виробництва продукту відповідно до ідеї проекту.

- Чи існують такі технології або їх необхідно вдосконалювати / вдосконалювати?

- Чи Доступна така технологія творцеві проекту.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї вибору ОПН для ліній електропередач

| <i>№ n/n</i> | <i>Ідея проекту</i> | <i>Технології її реалізації</i> | <i>Наявність технологій</i> | <i>Доступність технологій</i> |
|------------------|---------------------|---|--|-----------------------------------|
| | | Технологія 1 | Чи вони наявні, або ж необхідно їх розробити/додати? | Чи вони доступні авторам проекту? |
| 1 | Методика Вибору ОПН | Технологія розрахунку основних електричних характеристик ОПН з урахуванням провідності матеріалу ізоляційної покриття ОПН | Технології наявні, але відсутня нормативна документація для їх застосування. | Технології авторам не доступні |

На підставі результатів аналізу таблиці можна зробити висновок, що технічна реалізація проекту можлива. Застосування можливе на початку впровадження технології передачі постійного струму в Україні та при розробці відповідних нормативних документів на державному або галузевому рівні.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Виявлення ринкових можливостей, які можуть бути використані при реалізації проекту на ринку, а також ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє планувати напрямки розвитку проекту з урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів і рекомендацій проекту. конкуруючі проекти.

До таблиці 5.4 занесені результати проведеного аналізу попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту вибору ОПН для ліній електропередач

| <i>№</i> | <i>Показники стану ринку (найменування)</i> | <i>Характеристика</i> |
|----------|---|---|
| 1 | Кількість головних гравців, од | 10 |
| 2 | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | -- |
| 3 | Динаміка ринку | Зростає |
| 4 | Наявність обмежень для входу | Відсутність вимог до стандартизації та нормативної документації |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Потребують розробки |
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), % | Невідома |

Надалі визначені потенційні групи клієнтів та сформований орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 6.5).

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту вибору ОПН для ліній електропередач

| <i>№</i> | <i>Потреба, що формує ринок</i> | <i>Цільова аудиторія (цільові сегменти)</i> | <i>Відмінності у поведінці потенційних груп клієнтів</i> | <i>Вимоги споживачів до товару</i> |
|----------|------------------------------------|--|--|---|
| 1 | Вибір ОПН для ліній електропередач | Електричні перетворювальні підстанції та вставки постійного струму | Відсутня єдина стандартизація та нормативна документація | Вимоги не сформовані в Україні. В Німеччині, Японії, Китаї затребуваний максимальний розвиток передачі постійного струму. |

За визначеними факторами конкурентоспроможності проведений аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 6.8).

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

| <i>№ n/n</i> | <i>Фактор</i> | <i>Зміст загрози</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|--------------|--|---|---|
| 1 | Збільшення курсу валюти | Здорожчання вартості помилки при виборі постачальника | Просування розробки унеможливилює зменшення ймовірності помилки |
| 2 | Протекційні заходи із підтримання українських виробників | Обмеження доступу іноземних компаній | Налагодження співпраці із вітчизняними виробниками |

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

| <i>№ n/ n</i> | <i>Фактор</i> | <i>Зміст можливості</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|-----------------------|---|---|--|
| 1 | Ймовірне долучення до стандартів МЕК | Створення мінімально необхідної нормативної бази. | Розробка компанією пропозиції із урахуванням стандартів МЕК. |
| 2 | Зростання кількості введених в експлуатацію підстанцій на постійному струмі | Потенційне збільшення попиту. | Формування бази потенційних клієнтів. |

Таблиця 5.8 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін вибору ОПН для ліній електропередач

| <i>№</i> | <i>Фактор конкурентоспроможності</i> | <i>Бал и 1- 20</i> | <i>Рейтинг вибору ОПН для ліній електропередач у порівнянні з конкурентом</i> | | | | | | |
|----------|--|----------------------------|---|----|----|---|----|----|----|
| | | | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1. | Врахування основних електричних характеристик ОПН | 15 | X | | | | | | |
| 2. | Врахування дійсного значення витриманого статичного навантаження ОПН | 10 | | X | | | | | |
| 3. | Використання розрахунку провідності матеріалу ізоляційної покришки 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 | |

Якщо ми проаналізуємо таблицю 6.8, ми зможемо зробити висновки. Початковий проект враховує основні електричні властивості опн і має ключові загальні конкурентні фактори, такі як визначення справжнього значення безперервного статичного заряду опн з використанням розрахунку провідності матеріалу ізоляційної шини опн. Це дає конкуруючим продуктам оцінку "-8". Фактором конкуренції, який Проект програє конкуруючим продуктам, є використання матеріалів, перелічених у каталозі виробників OPN, та необхідність розробки нормативних документів, що дають конкуруючим продуктам оцінку "+3". Загальний бал для конкуруючих продуктів становить "-5".

На основі порівняльного аналізу сильних і слабких сторін методики вибору ОПН та факторів загроз і можливостей проведено SWOT-аналіз стартап-проекту, який наведено у табл. 5.9.

Таблиця 5.9 – SWOT-аналіз стартап-проекту

| | |
|--|---|
| <p><u>Сильні сторони:</u> в методиці присутні матеріали для врахування основних електричних характеристик ОПН, визначення дійсного значення статичного навантаження. Особливістю вибору ОПН є розрахунок провідності матеріалу ізоляційної покришки ОПН.</p> | <p><u>Слабкі сторони:</u> відсутність нормативної документації на державному рівні. Необхідне створення нормативно-правової бази на загальнодержавному рівні.</p> |
| <p><u>Можливості:</u> на основі розробленої методики вибору ОПН для ліній електропередач на початкових етапах можливе розроблення нормативної бази для ліній постійного струму на основі стандартів МЕК та зростання попиту на послуги оцінювання ОПН.</p> | <p><u>Загрози:</u> нестабільність економіки та залежність вартості ОПН від курсу іноземної валюти. Зростання цінового фактора для споживачів у зв'язку із зростанням ціни на ОПН. Обмеження ринку постачальників вітчизняними компаніями.</p> |

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС МОНТАЖУ ОБМЕЖУВАЧА ПЕРЕНАПРУГИ

6.1 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 6.1 – 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 | 3,2 4 |
| Струм вибухобезпеки, кА | 10 |

Габаритні розміри та маса ОПНп-10/550/12,0 УХЛ1. Наведені на рис.6.1.

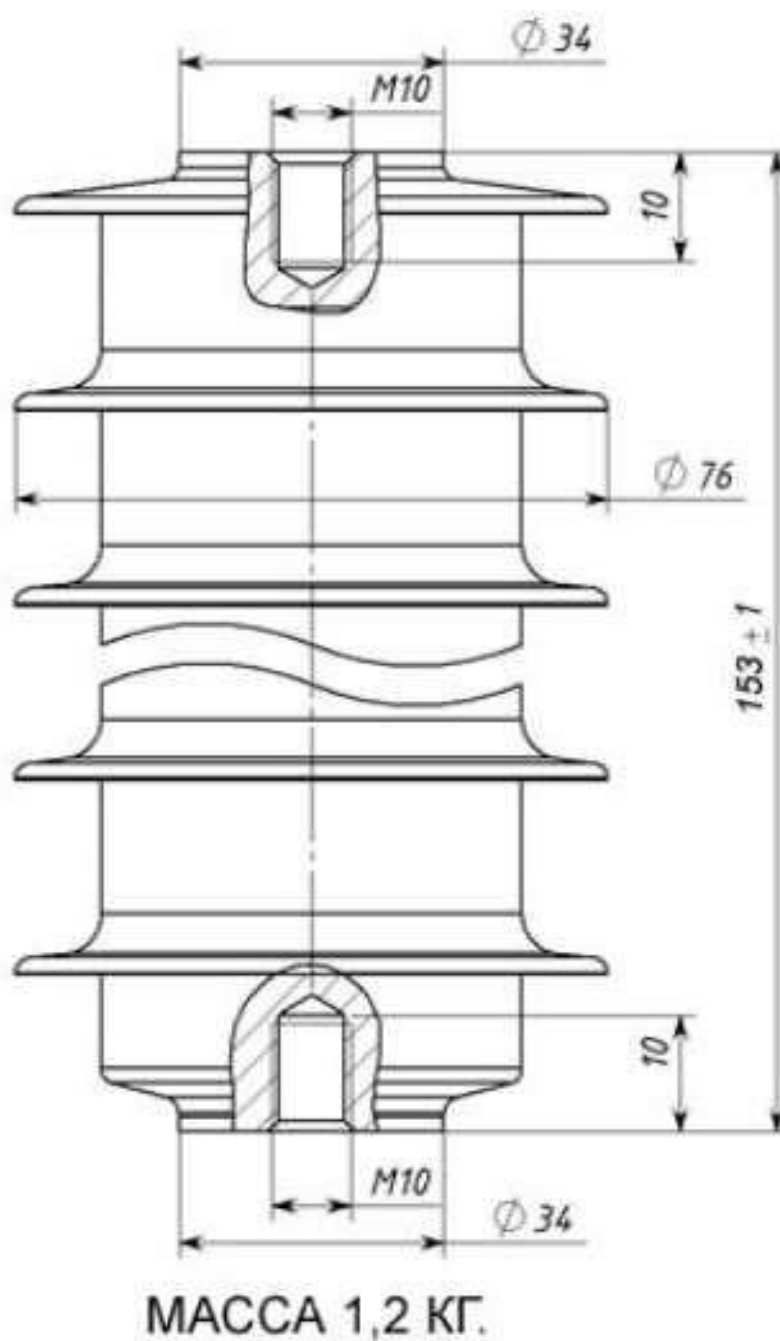


Рисунок 6.1 – Габаритні розміри та маса ОПНп-10/550/12,0 УХЛ1.

6.2 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. 6.2.

Таблиця 6.2 – 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 С70% 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) |

6.3 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Вищевказаний обмежувач встановлений між фазною лінією і землею дек.

Оскільки лінія не знеструмлена, основним фактором безпеки при установці ОПН на лінії електропередачі є робота на висоті і падаючих предметах. У таблиці 5.3 наведено перелік шкідливих і небезпечних виробничих факторів.

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 фактори, такі як хімічне, біологічне, шумове, вібраційне, кругле, ультразвукове, неіонізуюче випромінювання, іонізуюче випромінювання, мікроклімат, атмосферний тиск, освітлення, іонізація повітря, відсутні або можуть залежати від погодних умов.

6.4 Розробка і розрахунок технічних та організаційних заходів з охорони праці

Технічні і організаційні заходи при монтажі ОПН та їх показники наведені у табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – 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. |

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

Засоби індивідуального захисту від падінь з висоти оснащені системою ременів для кріплення до корпусу споживача і системою кріплення до надійних опор.

У передбачуваних умовах експлуатації цей тип засобів індивідуального захисту обмежує шлях вертикального падіння працівника таким чином, щоб запобігти зіткненню працівника з перешкодами.[33]

Результати вибору потрібних ЗІЗ надано у даному вигляді табл 6.5.

Таблиця 6.5 – Засоби індивідуального захисту

| Вид ЗІЗ | Призначення | Марка або маркування | Нормативні документи |
|-----------------------------|---------------------------------|---|----------------------|
| Захисний одяг | Захист від механічних ушкоджень | Костюм бавовняний 30-001 | [32] |
| Захисне взуття | Захист від механічних ушкоджень | Черевики шкіряні LEMAITRE «COUGAR» S1SRC | [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. 6.6

Таблиця 6.6. 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 |

6.6 Вибір технічних та організаційних заходів для унеможливлення ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Виконаємо аналіз імовірних небезпек, які можуть викликати надзвичайні ситуації та призвести до надзвичайних ситуацій

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 тазасобі до ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (табл. 5.7).

Таблиця 6.7 – Перелік заходів і засобів

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

6.7 Розрахунок напруженості електричного поля

Визначити напруженість електричного поля ЛЕП 750 кВ і розподіл напруженості в точці максимального провисання проводу між опорами, по заданим даним про ЛЕП, які наводяться нижче.

$$h = 1,8\text{м}; d = 19\text{м}; x = -50\dots 50\text{м}; r = 0,21\text{м}; H_0 = 25\text{м}; u = 750/\sqrt{3}$$

де: h - середня висота людини ;

d - відстань між проводами ;

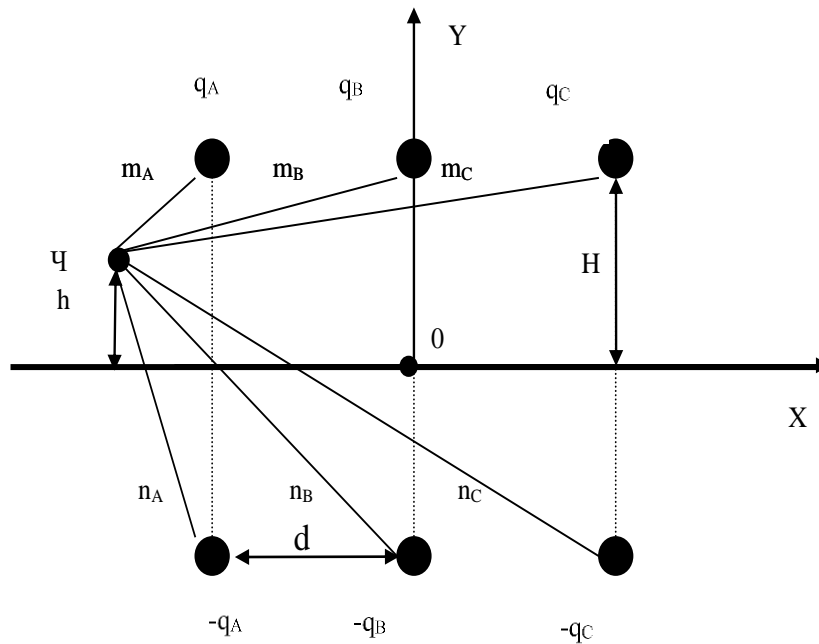
x - діапазон змінення відстаней на якій буде знаходитись людина ;

r - радіус розщепленого проводу ;

H_0 - відстань від проводу до землі в точці кріплення проводу ;

u - фазна напруга лінії ;

l - габарит лінії .



Розрахунок

Знайдемо довжину відрізків m і n :

m - найкоротша відстань від заданої точки до проводу відповідної фази;

n - найкоротша відстань від заданої точки до дзеркального зображення проводу відповідної фази.

$$m_A = \sqrt{(x+d)^2 + (1-h)^2}; \quad n_A = \sqrt{(x+d)^2 + (1+h)^2};$$

$$m_B = \sqrt{x^2 + (1-h)^2}; \quad n_B = \sqrt{x^2 + (1+h)^2};$$

$$m_C = \sqrt{(x-d)^2 + (1-h)^2}; \quad n_C = \sqrt{(x-d)^2 + (1+h)^2}.$$

Висота провисання проводу посередині прогону:

$$H_{cp} = \frac{H_0 + 2 \cdot l}{3}.$$

Знаходимо ємність фази відносно землі на одиницю довжини:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon}{\ln \frac{2H_{cp}d}{r \sqrt[3]{(4H_{cp}^2 + d^2)} \sqrt{H_{cp}^2 + d^2}}}$$

Знаходимо розрахункові коефіцієнти:

$$k = \frac{1}{2\pi\epsilon\epsilon_0};$$

$$k1 = \left(\frac{x+d}{m_A^2} - \frac{x+d}{n_A^2} \right); \quad k2 = \left(\frac{1-h}{m_A^2} + \frac{1+h}{n_A^2} \right);$$

$$k3 = \left(\frac{x}{m_B^2} - \frac{x}{n_B^2} \right); \quad k4 = \left(\frac{1-h}{m_B^2} + \frac{1+h}{n_B^2} \right);$$

$$k5 = \left(\frac{x-d}{m_C^2} - \frac{x-d}{n_C^2} \right); \quad k6 = \left(\frac{1-h}{m_C^2} + \frac{1+h}{n_C^2} \right).$$

Результуюча напруженість ЕП в точці «Ч» ПЛЕП:

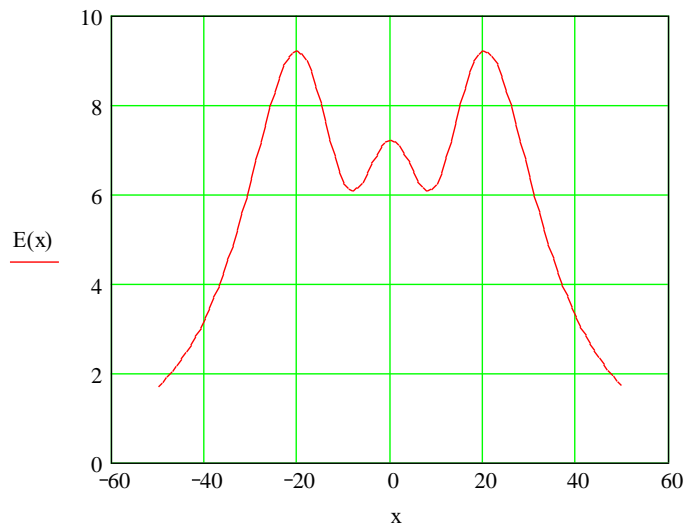
$$E = \frac{1}{2} c \cdot u \cdot k \cdot \sqrt{(2 \cdot k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2 + (2 \cdot k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3 \cdot (k_4 - k_6)^2}$$

Змінюємо координату x в інтервалі від -50 до 50 метрів та повторюємо розрахунок.

За одержаними даними будемо криву розподілу напруженості електричного поля вздовж осі x .

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|
| $x, \text{м}$ | -50 | -49 | -48 | -47 | -46 | ... | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| $E, \text{кВ/м}$ | 1,7 | 1,8 | 2,04 | 2,17 | 2,31 | ... | 2,31 | 2,17 | 2,04 | 1,8 | 1,7 |

Крива розподілу напруженості електричного поля



ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської кваліфікаційної роботи, було досліджено ефективність засобів обмеження перенапруг.

Обмежувач перенапруг може використовуватися в якості основного або додаткового засобу зниження числа грозових відключень ПЛ. Обмежувач перенапруг може розміщуватися:

- на опорах з підвищеним опором заземлення;
- на високих опорах з підвищеною індуктивністю;
- на часто вражаються блискавкою опорах або ділянках траси ПЛ;
- на ділянках траси ПЛ, які не мають встановленого троса;
- на будь-яких ПЛ, грозостійкість яких не задовольняє споживача.

Обмежувач перенапруг надійно захищає ізоляцію на відстані не більше 200-300 метрів від місця своєї установки, а значить необхідне число обмежувачів перенапруг можна порівняти з необхідним числом захисту опор.

– для ПЛ без тросу установка одного обмежувача перенапруг на кожній опорі (в верхню фазу) призводить до зниження числа грозових відключень;

– для ПЛ з тросом установка на 1-2 фази обмежувача перенапруг на кожній опорі (в нижні фази) не дає зниження числа грозових відключень і, тому, для ліній з тросом необхідне встановлення обмежувача перенапруг одночасно на усі фази кожної опори.

Вольтамперна характеристика обмежувача перенапруг в рамках заданого класу напруги мало впливає на ефективність роботи обмежувача перенапруг.

Для одноланцюгових ПЛ без тросу установка обмежувача перенапруг на опорі рекомендується:

- в одну верхню фазу при трикутному розташуванні проводів;
- в усі три фази при горизонтальному розташуванні проводів.

Для одноланцюгових ПЛ з тросом установка обмежувача перенапруг на опорі рекомендується:

- в усі три фази при трикутному розташуванні проводів;
- в дві крайні фази при горизонтальному розташуванні проводів.

ля багатоланцюгових ПЛІ установка обмежувача перенапруг на опорі, рекомендується тільки в фази однієї з двох ланцюгів.

Обмежувач перенапруг повинен приєднуватися до опори ПЛІ 6-750 кВ без будь-яких іскрових проміжків через спеціальний пристрій універсальний відділювач. У мережах з глухозаземленою нейтраллю приєднання обмежувача перенапруг допустимо за допомогою звичайного «відділювача».

Розглянуто аналітичні методи для дослідження внутрішніх перенапруг, метод симетричних складових для розрахунку перенапруг. Також детально розглянуто схемизаміщення електропередач, дослідили підвищення напруги на здорових фазах при однофазних замиканнях, та показано основні складові внутрішніх перенапруг та їх коефіцієнти.

Розглянуто випадок відновлювальних напруг при відключенні коротких замикань.

Детально розглянуті перенапруги при замиканні на землю. Розглянуто випадок нестійкого горіння заземлювальної дуги, перенапруг при перемежованому дуговому замиканні на землю в трифазній мережі з ізольованою нейтраллю та замиканні на землю і обриву проводу, а також перенапруги при перемежованому дуговому замиканні на землю в мережі з дугогасильною котушкою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
2. Перенапруги і блискавкозахист в електричних системах: навчальний посібник/ В. С. Собчук, Н. В. Собчук, О. Б. Бурикін.–Вінниця: ВНТУ, 2010.–145 с.
3. ДСТУ EN 62305:2012 “Захист від блискавки”.
4. Ліщак І. В. Сучасний грозозахист розподільчих повітряних ліній 6, 10 кВ довго-іскровими розрядниками (РДІ) / І. В. Ліщак, Т. В. Бінкевич // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2012. – № 736 : Електроенергетичні та електромеханічні системи. - С. 75-80.
5. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Проектування електричних систем» для студентів спеціальності 7.090602 – «Електричні системи і мережі» / Уклад. Ж.І. Остапчук. – Вінниця: ВДТУ, 1998, – 47 с.
6. Надійність електроенергетичних систем: навч. Посіб. / С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, Б. М. Сердюк, - К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с. – Бібліогр.: с. 214 – 216. – 100пр.
7. Остапчук Ж.І., Кулик В.В., Видмиш В.А. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Електричні системи і мережі». – Вінниця: ВНТУ, 2004.
8. Лук’яненко Ю.В., Остапчук Ж.І., Кулик В.В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. – Вінниця: ВДТУ, 2002.
9. Остапчук Ж.І., Томашевський Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Моделі оптимального розвитку електричних систем”. – Вінниця, ВДТУ, 2002.
10. Остапчук Ж.І., Кулик В.В., Тептя В.В. Моделювання в задачах розвитку електричних систем. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 128 с.
11. Остапчук Ж.І., Тептя В.В. Моделювання розвитку електричних систем в прикладах і задачах. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 97 с.
12. Перенапруги і блискавкозахист в електричних системах: навчальний посібник/ В. С. Собчук, Н. В. Собчук, О. Б. Бурикін.–Вінниця: ВНТУ, 2010.–145 с.

13. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (ІЕС 62305:2006, NEQ): ДСТУ Б В.2.5-38:2008. – Введений 01.01.2009. - Київ: Держстандарт України, 2008. - 65 с.

14. Ліщак І. В. Оцінка надійності схем грозозахисту повітряних ліній електропередавання / І. В. Ліщак, Т. В. Бінкевич // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2014. – № 785 : Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 39-45.

15. СОУ-Н МЕВ 40.1-21677681-67:2012 "Обмежувачі перенапруг нелінійні напругою 6-35 кВ. Настанова щодо вибору та застосування у розподільчих установках", затвердженого наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 13 липня 2012 року № 515.

16. Методичні вказівки з вибору обмежувачів перенапруг нелінійних виробництва підприємства „Таврида Електрик” для електричних мереж 6-35 кВ / [Бржезицький В. О., Беляєв В. К., Ільєнко О. С., Соколовський С. А.]. - Київ, 2001. – 40 с.

17. Методичні вказівки для виконання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей /Уклад. О.В. Кобилянський , О.П. Терещенко – В .: ВНТУ, 2003.- 46 с.

18. Кобилянський О.В. Охорона праці під час виконання спеціальних видів робіт в електроустановках Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 110 с.

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Дослідження пристроїв обмеження перенапруг для захисту повітряних ліній від грозових перенапруг

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність _____ Схожість _____

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Вишневський С.Я.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____
(підпис)

Присяжнюк О.О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Собчук Н.В.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б

Технічне завдання МКР

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

(підпис)

" _____ " _____ 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

«Дослідження пристроїв обмеження перенапруг для захисту повітряних ліній від
грозових перенапруг»
08-23.МКР.026.00.006.ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., доцент

_____ Собчук Н.В.

(підпис)

Магістрант групи 2ЕСМ-22м

_____ Присяжнюк О.О.

(підпис)

Вінниця 2023 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) для забезпечення необхідного рівня грозостійкості ПЛ використовують поєднання традиційних засобів блискавкозахисту: установку одного або декількох блискавкозахисних тросів, зниження опору заземлення опор, посилення ізоляції. Через високі значення опору заземлення опор ПЛ, високий питомий опір ґрунту, неможливість застосування блискавкозахисних тросів, високі вітро-ожеледні навантаження традиційні засоби грозозахисту не забезпечують необхідну грозостійкість ПЛ. Тому ефективним способом підвищення грозостійкості є установка на опорах ПЛ «підвісних» ОПН.;

б) наказ ректора ВНТУ № 247 від 18 вересня 2023 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

а) мета дослідження є аналіз пристроїв захисту ізоляції в електроенергетичній системі з метою визначення їх ефективності та розроблення пропозицій щодо покращення захисту від перенапруг, що виникають унаслідок різних експлуатаційних впливів на ізоляцію. Результати дослідження мають допомогти у підвищенні надійності та безпеки роботи електрообладнання і ліній електропередачі;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. Кулик В. В. Типові рішення при проектуванні електричних мереж напругою 110-330 кВ: навчальний посібник / В. В. Кулик, В. В. Тептя, О. Б. Бурикін, О. В. Сікорська. Вінниця: ВНТУ, 2018. 110 с.

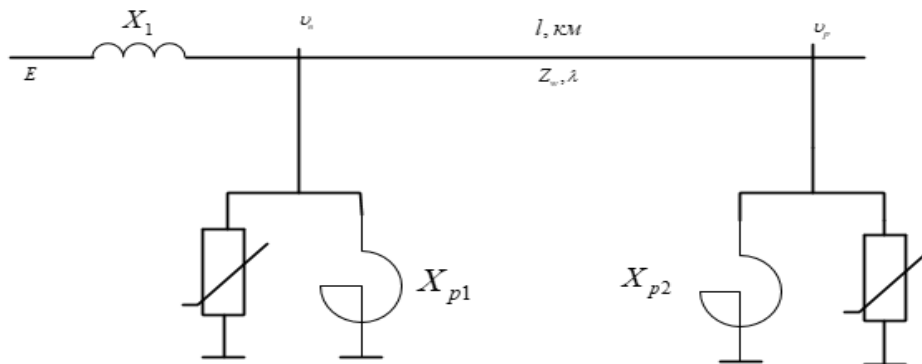
2. Електричні системи і мережі. Частина 1: навчальний посібник / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський. Вінниця : ВНТУ, 2020. 203 с.

3. Електричні системи і мережі. Частина 2: навчальний посібник / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський. –Вінниця : ВНТУ, 2021. 162 с.

4. Електричні системи і мережі. Частина 3 : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Малогулко Ю. В., Бурикін О. Б., Кацадзе Т. Л., Нетребський В. В. Вінниця : ВНТУ, 2022. 172 с.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Визначити число відключень ПЛ, пов'язаних з грозовими перенапругами до встановлення обмежувачів перенапруг і після встановлення обмежувачів перенапруг, враховуючи, що довжина лінії $L = 100$ км, число грозових годин, $T_{ц} = 100$ год, імовірність перекриття ізоляції ПЛ $P_{ф} = 1$, питома кількість розрядів блискавки в ПЛ $n = 100$. Оцінити доцільність установки на кожній опорі певної кількості обмежувачів перенапруг для опорів заземлення: $R_3 = 10, R_3 = 30, R_3 = 100$ Ом



Повітряна лінія $U_H = 750$ кВ довжиною $l = 400$ км. Опори з розрізаними тросами. Кількість реакторів: на живильному кінці - 1; на приймаючому кінці - 1. Живильна схема з еквівалентним реактивним опором X для режимів по прямій і нульовій послідовності: $X_{lmax}^1 = 144$ Ом; $X_{lmax}^{(0)} = 80$ Ом; ...; $X_{lmin}^1 = 100$ Ом; $X^{(0)} = 54$ Ом; ...;

Приймальна схема з еквівалентним реактивним опором X за прямою та нульовою послідовністю: $X^{12} = 100$ Ом; $X^{(0)} = 540$ Ом.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

- метод симетричних складових для розрахунку перенапруг;

5. Економічні показники

Комерціалізація вибору високовольтних обмежувачів перенапруг.

Маркетинговий аналіз.

6. Етапи МКР та очікувані результати

| № етапу | Назва етапу | Термін виконання | | Очікувані результати |
|---------|---|------------------|----------|---|
| | | початок | кінець | |
| 1 | Розроблення технічного завдання | 18.09.23 | 20.09.23 | формування технічного завдання |
| 2 | Перенапруги та їх дослідження | 21.09.23 | 23.09.23 | аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ |
| 3 | Застосування обмежувачів для захисту ізоляції ПЛ | 24.09.23 | 27.09.23 | розділ 2 |
| 4 | Аналітичні методи дослідження перенапруг | 28.10.23 | 13.10.23 | розділ 3 |
| 5 | Дослідження перенапруг в діючих мережах | 24.10.23 | 26.10.23 | розділ 4 |
| 7 | Перенапруги при замиканнях на землю | 11.11.23 | 16.11.23 | розділ 5 |
| 8 | Оформлення пояснювальної записки | 17.11.23 | 18.11.23 | пояснювальна записка |
| 9 | Виконання графічної частини та оформлення презентації | 19.11.23 | 25.11.23 | плакати, презентація |

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

9. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021р.

10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

Додаток В

Розрахунок числа грозових вимкнень одноланцюгової ПЛ

Оцінка числа грозових вимкнень одноланцюгової ПЛ без тросу

$$Df := 0.5 \quad Dt := 0$$

$$Pf := 1 \quad n := 100$$

$$Do := 0.5 \quad Pt := 0$$

$$L_{\text{ПЛ}} := 100$$

$$Po1 := 0.0114 \quad T_{\text{ч}} := 100$$

$$N_{\text{ПЛ}1} := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po1 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ПЛ}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 50.57$$

$$Po5 := 0.0306$$

$$N_{\text{ПЛ}5} := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po5 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ПЛ}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 51.53$$

$$Po10 := 0.0696$$

$$N_{\text{ПЛ}10} := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po10 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ПЛ}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 53.48$$

$$Po15 := 0.1764$$

$$N_{\text{ПЛ}15} := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po15 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ПЛ}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 58.82$$

$$Po20 := 0.2670$$

$$N_{\text{ПЛ}20} := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po20 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ПЛ}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 63.35$$

$$Po30 := 0.4172$$

$$N_{\text{ПЛ}30} := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po30 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ПЛ}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 70.86$$

$$Po50 := 0.6466$$

$$N_{\text{ПЛ}50} := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po50 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ПЛ}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 82.33$$

$$Po70 := 0.7746$$

$$N_{\text{ПЛ}70} := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po70 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ПЛ}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 88.73$$

$$Po100 := 0.8574$$

$$N_{\text{гнл}}100 := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po100 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{гнл}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 92.87$$

$$Po200 := 0.9604$$

$$N_{\text{гнл}}200 := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po200 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{гнл}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 98.02$$

$$Po500 := 0.9952$$

$$N_{\text{гнл}}500 := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po500 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{гнл}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 99.76$$

$$Po1000 := 0.9992$$

$$N_{\text{гнл}}1000 := (Df \cdot Pf + Do \cdot Po1000 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{гнл}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 99.96$$

Оцінка числа грозових вимкнень одноланцюгової ПЛ з тросом

$$Df := 0.005$$

$$Dt := 0$$

$$Pf := 1$$

$$n := 100$$

$$Pt := 0$$

$$L_{\text{гнл}} := 100$$

$$T_{\text{ч}} := 100$$

$$D1 := 0.0024$$

$$N_{\text{гнл}}1 := (Df \cdot Pf + D1) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{гнл}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 0.74$$

$$D5 := 0.0049$$

$$N_{\text{гнл}}5 := (Df \cdot Pf + D5) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{гнл}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 0.99$$

+

$$D10 := 0.0113$$

$$N_{\text{гнл}}10 := (Df \cdot Pf + D10) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{гнл}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 1.63$$

$$D15 := 0.0255$$

$$N_{\text{гнл}}15 := (Df \cdot Pf + D15) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{гнл}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 3.05$$

$$D20 := 0.0543$$

$$N_{\text{гнл}}20 := (Df \cdot Pf + D20) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{гнл}}}{100} \cdot \frac{T_{\text{ч}}}{100} = 5.93$$

Оцінка ефективності розміщення ОПН на кожній опорі ПЛ без тросу

$$\begin{aligned} Df &:= 0.5 & Dt &:= 0 \\ Do &:= 0.5 & n &:= 100 \\ Tч &:= 100 & Pt &:= 0 \\ L_{\text{ЛП}} &:= 100 & L_{\text{ЛП}} &:= 100 \end{aligned}$$

$$Po1 := 0.0696 \quad R3 := 10 \quad Pf1 := 1$$

$$N_{\text{ЛП}1} := (Df \cdot Pf1 + Do \cdot Po1 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ЛП}}}{100} \cdot \frac{Tч}{100} = 53.48$$

$$Po10C := 0.0305 \quad \underline{R3} := 10 \quad Pf2 := 0$$

$$N_{\text{ЛП}10C} := (Df \cdot Pf2 + Do \cdot Po10C + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ЛП}}}{100} \cdot \frac{Tч}{100} = 1.525$$

$$Po10CA := 0.0128 \quad R3 := 10 \quad Pf3 := 0$$

$$N_{\text{ЛП}10CA} := (Df \cdot Pf3 + Do \cdot Po10CA + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ЛП}}}{100} \cdot \frac{Tч}{100} = 0.64$$

$$Po10CAB := 0 \quad \underline{R3} := 10 \quad Pf4 := 0$$

$$N_{\text{ЛП}10CAB} := (Df \cdot Pf4 + Do \cdot Po10CAB + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ЛП}}}{100} \cdot \frac{Tч}{100} = 0$$

$$Po130 := 0.4172 \quad \underline{R3} := 30 \quad \underline{Pf1} := 1$$

$$N_{\text{ЛП}130} := (Df \cdot Pf1 + Do \cdot Po130 + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ЛП}}}{100} \cdot \frac{Tч}{100} = 70.86$$

$$Po30C := 0.2178 \quad \underline{R3} := 30 \quad Pf2 := 0$$

$$N_{\text{ЛП}30C} := (Df \cdot Pf2 + Do \cdot Po30C + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ЛП}}}{100} \cdot \frac{Tч}{100} = 10.89$$

$$Po30CA := 0.1156 \quad R3 := 30 \quad Pf3 := 0$$

$$N_{\text{ЛП}30CA} := (Df \cdot Pf3 + Do \cdot Po30CA + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ЛП}}}{100} \cdot \frac{Tч}{100} = 5.78$$

$$Po30CAB := 0 \quad \underline{R3} := 30 \quad \underline{Pf4} := 0$$

$$N_{\text{ЛП}30CAB} := (Df \cdot Pf4 + Do \cdot Po30CAB + Dt \cdot Pt) \cdot n \cdot \frac{L_{\text{ЛП}}}{100} \cdot \frac{Tч}{100} = 0$$

$$D30N := 0.1077 \quad R3 := 30 \quad \underline{Pf} := 1$$

$$N_{mm30N} := (Df \cdot Pf + D30N) \cdot n \cdot \frac{L_{mm}}{100} \cdot \frac{T_{\psi}}{100} = 11.27$$

$$D30B := 0.0664 \quad R3 := 30 \quad \underline{Pf} := 0$$

$$N_{mm30B} := (Df \cdot Pf + D30B) \cdot n \cdot \frac{L_{mm}}{100} \cdot \frac{T_{\psi}}{100} = 6.64$$

$$D30BA := 0.0282 \quad \underline{R3} := 30 \quad Pf := 0$$

$$N_{mm30BA} := (Df \cdot Pf + D30BA) \cdot n \cdot \frac{L_{mm}}{100} \cdot \frac{T_{\psi}}{100} = 2.82$$

$$D30BAC := 0 \quad \underline{R3} := 30 \quad \underline{Pf} := 0$$

$$N_{mm30BAC} := (Df \cdot Pf + D30BAC) \cdot n \cdot \frac{L_{mm}}{100} \cdot \frac{T_{\psi}}{100} = 0$$

$$D100N := 0.4003 \quad R3 := 100 \quad \underline{Pf} := 1$$

$$N_{mm100N} := (Df \cdot Pf + D100N) \cdot n \cdot \frac{L_{mm}}{100} \cdot \frac{T_{\psi}}{100} = 40.53$$

$$D100B := 0.2910 \quad R3 := 100 \quad \underline{Pf} := 0$$

$$N_{mm100B} := (Df \cdot Pf + D100B) \cdot n \cdot \frac{L_{mm}}{100} \cdot \frac{T_{\psi}}{100} = 29.1$$

$$D100BA := 0.1662 \quad \underline{R3} := 100 \quad Pf := 0$$

$$N_{mm100BA} := (Df \cdot Pf + D100BA) \cdot n \cdot \frac{L_{mm}}{100} \cdot \frac{T_{\psi}}{100} = 16.62$$

$$D100BAC := 0 \quad \underline{R3} := 100 \quad \underline{Pf} := 0$$

$$N_{mm100BAC} := (Df \cdot Pf + D100BAC) \cdot n \cdot \frac{L_{mm}}{100} \cdot \frac{T_{\psi}}{100} = 0$$

Додаток Г

Розрахунок напруженості електричного поля

Дано

$$h := 1.8 \quad d := 19 \quad x := -50 \quad r := 0,21 \quad H_0 := 25 \quad u := 750 \cdot \sqrt{3}$$

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} := 1$$

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \frac{\text{A}^2 \cdot \text{s}^4}{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}$$

Розрахунок

$$m_A := \sqrt{(x+d)^2 + (1-h)^2} = 31.01$$

$$n_A := \sqrt{(x+d)^2 + (1+h)^2} = 31.126$$

$$m_B := \sqrt{x^2 + (1-h)^2} = 50.006$$

$$n_B := \sqrt{x^2 + (1+h)^2} = 50.078$$

$$m_C := \sqrt{(x-d)^2 + (1-h)^2} = 69.005$$

$$n_C := \sqrt{(x-d)^2 + (1+h)^2} = 69.057$$

$$H_{\text{cp}} := \frac{(H_0 + 2 \cdot 1)}{3} = 9$$

$$C_{\text{sw}} := \frac{(2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon)}{\ln \left[\frac{2 \cdot H_{\text{cp}} \cdot d}{0.21 \cdot \sqrt[3]{(4 \cdot H_{\text{cp}}^2 \cdot d)^2 \cdot \sqrt{H_{\text{cp}}^2 + d^2}}} \right]} = 9.874 \times 10^{-11} \frac{\text{A}^2 \cdot \text{s}^4}{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}$$

$$k := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} = 1.798 \times 10^{10} \frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^4}$$

$$k_1 := \left(\frac{x+d}{m_A^2} - \frac{x+d}{n_A^2} \right) = -2.396 \times 10^{-4}$$

$$k_2 := \left(\frac{1-h}{m_A^2} - \frac{1+h}{n_A^2} \right) = -3.722 \times 10^{-3}$$

$$k_3 := \left(\frac{x}{m_B^2} - \frac{x}{n_B^2} \right) = -5.741 \times 10^{-5}$$

$$k_4 := \left(\frac{1-h}{m_B^2} - \frac{1+h}{n_B^2} \right) = -1.436 \times 10^{-3}$$

$$k_5 := \left(\frac{x-d}{m_C^2} - \frac{x-d}{n_C^2} \right) = -2.188 \times 10^{-5}$$

$$k_6 := \left(\frac{1-h}{m_C^2} - \frac{1+h}{n_C^2} \right) = -7.552 \times 10^{-4}$$

$$E := c \cdot u \cdot k \cdot \sqrt{(2 \cdot k_1 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2 + (2 \cdot k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3 \cdot (k_4 - k_6)^2} \cdot \frac{1}{2} = 1.891 \times 10^{19} \frac{\text{m}^4 \cdot \text{kg}}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^5}$$

Додаток Д

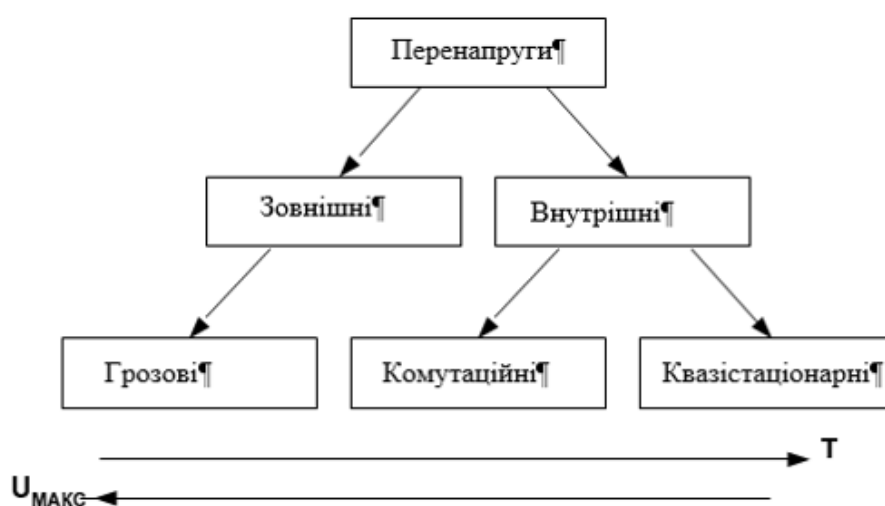
Дослідження пристроїв обмеження перенапруг для захисту повітряних ліній від грозових перенапруг

Виконав: студент 2-го курсу, групи 2ЕСМ-22м спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітня програма «Електричні системи і мережі»

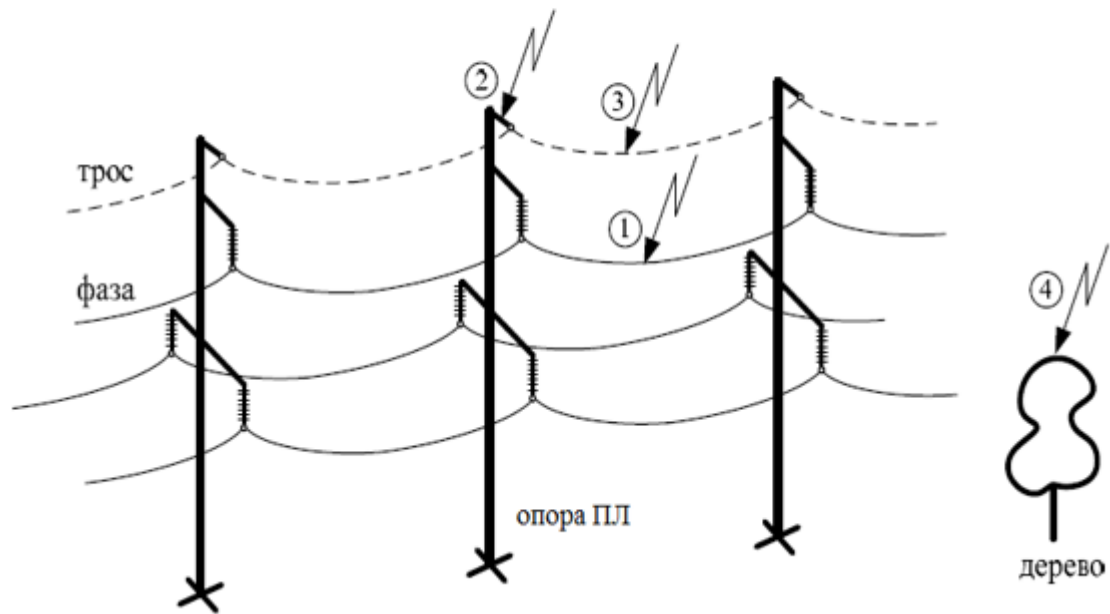
Присяжнюк О.О.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ЕСС Собчук Н. В.

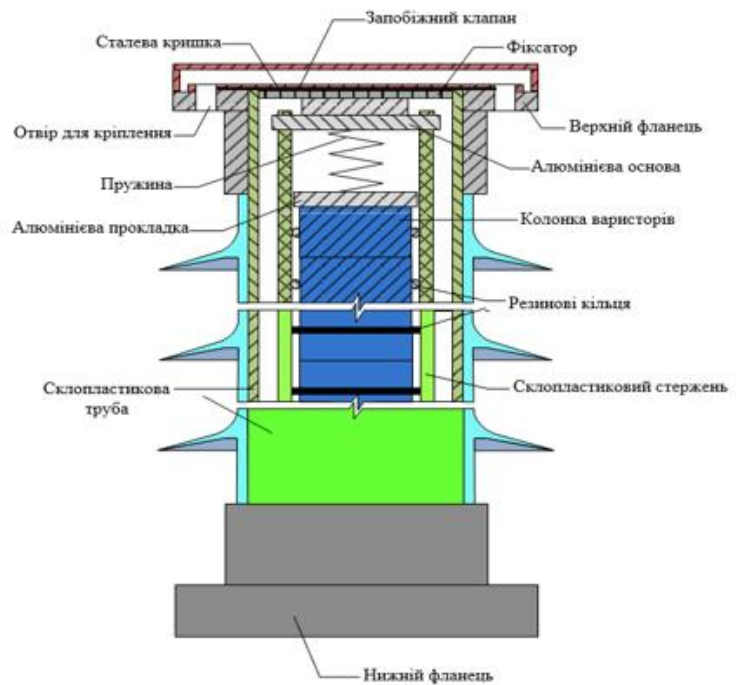
Класифікація перенапруг



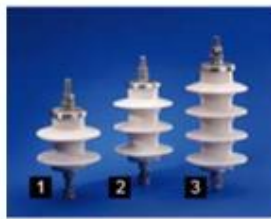
Причини грозових перенапруг на ізоляції ПЛЛ



Конструкція обмежувача перенапруг



Види ОПН по класам напруг



ОПН 3-10 кВ



ОПН 25-35 кВ



ОПН 110-220 кВ



ОПН 330-500 кВ



ОПН 750 кВ

ОПН-П-10/15/10/550 УХЛ1 на опорі

