

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Системи електропостачання»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого рівня вищої освіти

Електромеханіка

за темою № 5 – Перенапруги і захист від них.

Харків 2021

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 23.09.2021 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу
Протокол від 22.09.2021 № 2

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 30.08.2021 № 1.

Розробник:

1. Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, Волканін Є.Є.

Рецензенти:

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.

2. Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання КЛК ХНУВС, к.т.н., професор Гаврилюк Ю.М.

План лекції:

1. Перенапруги в електроустановках.
2. Захист від прямих ударів блискавки.
3. Захист від грозових і хвиль перенапруг, що набігають.
4. Захист від внутрішніх перенапруг.

Рекомендована література:

Основна література:

1. Шкрабець Ф. П. Основи електропостачання: Навч. посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2012.
2. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
3. Разумний Ю.Т., Заїка В.Т., Степаненко Ю.В. Енергозбереження: Навч.посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2005.
4. Перехідні процеси в системах електропостачання / Півняк Г.Г., Винославський В.Н., Рибалко А.Я., Несен Л.И. и др. – Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000.
5. Васи́лега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. –Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 415 с.

Допоміжна література:

1. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД „Університетська книга“, 2006. -153 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД „Університетська книга“, 2007. - 280 с.
3. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Електропостачання>
2. <https://www.ukrناfta.com/sistema-elektropostachannya>
3. <https://www.pronet.ua/sistemi-elektropostachannya/>
4. <http://web.kpi.kharkov.ua/elmarsh/wp-content/uploads/sites/108/2017/04/Elektropostachannya-promislovih-pidpriyemstv.-Pidruchnik.Milih-V.I-Pavlenko-T.P.2016.pdf>
5. <https://avenston.com/solutions/mep-systems/power-supply-systems/>

Текст лекції

1. Перенапруги в електроустановках.

Перенапругою називається підвищення напруги понад номінальне значення, що представляє небезпеку для ізоляції електроустаткування і ліній електропередачі. Перенапруги виникають в результаті перехідних процесів і виявляються у вигляді короточасних аперіодичних імпульсних електромагнітних хвиль або аперіодичних загасаючих коливань довільної форми.

Імпульсна хвиля (рис. 1) характеризується полярністю, амплітудою, повною довжиною і довжиною фронту.

Фронт хвилі, вимірюється відрізком імпульсу від початку його дії до досягнення амплітудного значення. Хвостом хвилі називають частину хвилі від амплітудного значення з плавним зниженням.

Довжина, або тривалість, хвилі, τ_y у визначається часом від початку дії імпульсу до зниження його амплітуди в два рази. Довжина, або тривалість, фронту хвилі τ_ϕ визначається часом від початку дії імпульсу до досягнення амплітуди.

Іспит ізоляції відповідно до діючих норм здійснюється стандартною імпульсною хвилею з параметрами $\tau_y \cdot 40 \text{ мкс}$ і $\tau_\phi \cdot 1,5 \text{ мкс}$.

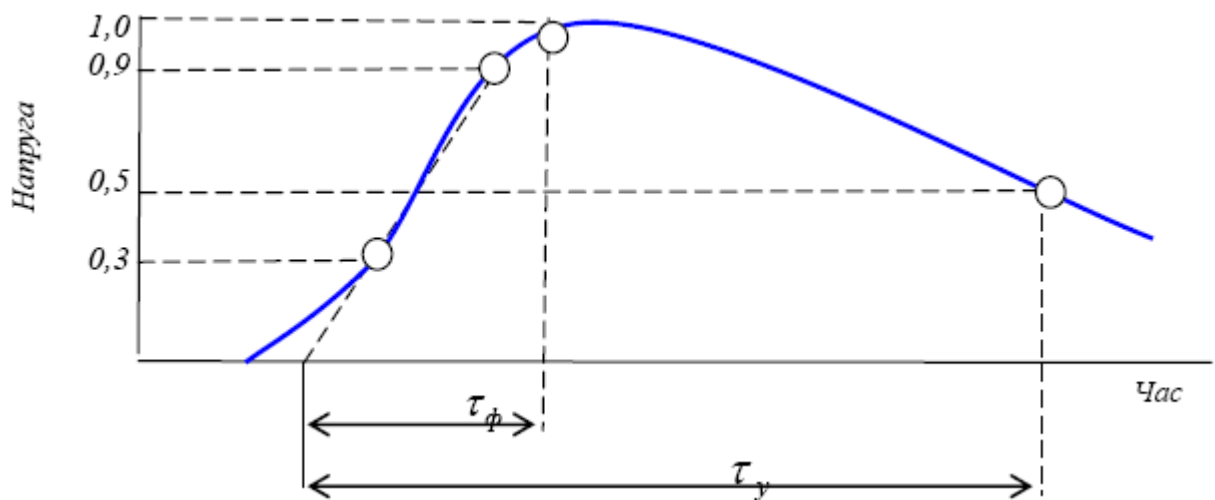


Рисунок - 1. Повна імпульсна хвиля.

Швидкість наростання напруги або струму визначає крутість фронту хвилі, і вимірюється в кВ/мкс або кА/мкс.

Час пробою ізоляційного проміжку залежить від амплітуди, тривалості і крутості фронту імпульсної хвилі. На підставі ряду осцилограмм імпульсних напруг можна побудувати вольт-секундну характеристику ізоляції (рис. 2). При малих амплітудах пробій відбувається в хвості імпульсної хвилі, тому що час формування і розвитку розряду більше тривалості фронту хвилі. При великих амплітудах час розряду t_p зміщується на фронт імпульсної хвилі.

Точки вольт-секундної характеристики знаходяться на перетинанні амплітудної напруги з відповідним йому часом пробією. Вольтсекундна характеристика визначає електричну міцність ізоляції і служить для вибору розрядників.

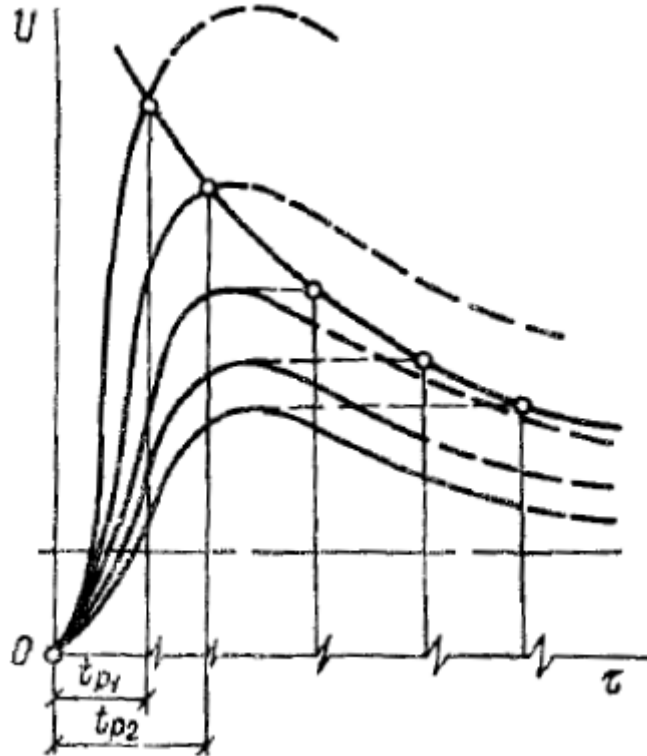


Рисунок - 2. Вольт-секундна характеристика ізоляції

Електромагнітна хвиля, що біжить, представляє електричну енергію хвилі напруги і магнітну енергію хвилі струму. Ці хвилі поширюються від місця збурювання в обидва боки електричного ланцюга.

Швидкість їхнього поширення залежить від індуктивності і ємності електричного кола

$$v = 1/\sqrt{LC}$$

і приблизно складає: для повітряних ліній 300 м/мкс, для кабельних – 160 м/мкс, в обмотках трансформаторів і електричних машин – 30-60м/мкс.

Співвідношення між значеннями струму і напруги електромагнітної хвилі визначається за законом Ома хвильовим опором, значення якого залежить від параметрів кола на одиницю довжини:

$$U/I = Z = \sqrt{L_0/C_0}.$$

Хвильовий опір повітряних ліній складає 400 - 500 Ом, кабельних ліній – 40 - 50 Ом, обмоток силових трансформаторів – 10 - 20кОм, електричних машин – 1-2 кОм.

У вузловій точці, де змінюються хвильові опори кола (наприклад, перехід повітряної лінії в кабельну), електрична і магнітна енергія падаючої хвилі перерозподіляються. Частина електромагнітної енергії переходить на

суміжну ділянку кола у вигляді переломлених хвиль струму і напруги, що продовжують рух з іншою амплітудою і швидкістю. Інша частина енергії відбиває від вузлової точки в протилежному напрямку. Відбита хвиля може мати будь-яку полярність.

Якщо полярність її збігається з полярністю падаючої хвилі, то у вузловій точці напруга зростає. Повне відображення хвилі, наприклад при розімкнутому кінці лінії, приводить до подвоєння напруги у вузловій точці.

В електричному колі, складеному з декількох ділянок з різними хвильовими опорами (повітряна лінія – кабель – трансформатор), спостерігаються багаторазові відображення і переломлення хвиль, що блукають між двома вузовими точками (у кабельній мережі). Такі відображення можуть привести до значного росту напруги у вузових точках.

Якщо в електричне коло з розподіленими параметрами включена індуктивність, наприклад лінія – реактор – лінія, то в початковий момент часу ЕРС самоіндукції буде перешкоджати проходженню хвилі і напруга перед індуктивністю подвоїться. Протидіючи росту напруги, ЕРС самоіндукції зменшує швидкість зростання напруги за індуктивністю. Таким чином, на ізоляцію лінії до індуктивності короткочасно діє подвоєна напруга падаючої хвилі, а крутість фронту й амплітуда переломленої хвилі за індуктивністю зменшуються.

Енергія електромагнітної хвилі, що проходить повз ємність, включену між лінією і землею, у початковий момент часу витрачається на заряд конденсатора, і напруга за ним стає рівною нулю. Так само як і заряд конденсатора, напруга в лінії за конденсатором зростає по експонентній кривій. Крутість фронту хвилі зменшується.

Згладжування крутості фронту хвилі знижує межвиткову різницю потенціалів на обмотках електроустаткування.

У мережах систем електропостачання перенапруги виникають при грозових явищах (атмосферні перенапруги) і при зміні режимів роботи мереж (внутрішні перенапруги).

Атмосферні перенапруги відбуваються при прямих ударах блискавки й в результаті електростатичної й електромагнітної дії струму блискавки при грозових розрядах. Розряд блискавки триває десяти частки секунди і складається із серії імпульсів тривалістю (кожний) у десятки мікросекунд. Амплітуда струму в каналі блискавки найчастіше складає 30 - 40 кА, але може досягати 120 - 160 кА. Тривалість фронту імпульсної хвилі струму блискавки 3-4 мкс. Крутість фронту хвилі в практичних розрахунках приймають 30 кА/мкс.

Прямий удар блискавки наводить на заземлених предметах і струмоведучих частинах, що знаходяться поруч, потенціали в кілька мільйонів вольт, що може викликати зворотний розряд з цих частин на землю.

При поразці блискавкою повітряної лінії на її проводах наводяться високі потенціали, що приводять до імпульсного перекриття лінійної ізоляції

і КЗ. Грозові розряди поблизу повітряної лінії indukуют на проводах перенапруги, які не перевищують 600 кВ, що не представляє безпосередньої небезпеки для ізоляції ліній 110 кВ і вище. Индукована імпульсна хвиля перенапруг по проводах повітряної ЛЕП попадає на підстанцію, де вона досить небезпечна для подстанційної ізоляції.

До внутрішнього відносяться комутаційні і резонансні перенапруги. Перехідні процеси, викликані зміною сталого режиму роботи, приводять до перерозподілу внутрішньої електричної і магнітної енергії в індуктивностях і ємностях кола, появи вільних коливань і резонансові напруг.

Комутаційні перенапруги тривають кілька десятків мілісекунд і виникають внаслідок включення і відключення кіл при нормальних режимах роботи, раптових змінах навантаження і КЗ. В мережах з ізолюваною нейтраллю при нестійких замиканнях на землю спостерігаються дугові перенапруги. Повторні запалювання і гасіння дуги при цьому створюють коливальний процес у колі, в результаті чого напруга на справних фазах збільшується, а однофазне замикання може перейти в міжфазне к.з. Резонансні перенапруги пов'язані з появою резонансних коливань і виникають при неодноточасному включенні і відключенні фаз вимикачем або відмовленні в роботі однієї з фаз: перегорянні запобіжників в одній або двох фазах, обриві одного проводу лінії з заземленням.

Внутрішні перенапруги мають амплітуду 3-4 Уф . Вони можуть продовжуватися від десятих часток секунди до декількох секунд і часто повторюватися.

2. Захист від прямих ударів блискавки.

Захист від прямих ударів блискавки, що дають найбільше значення перенапруг, здійснюється за допомогою блискавковідводів. Розрізняють два типи блискавковідводів – стрижневі і тросові.

Стрижневий блискавковідвід являє собою стрижень, установлений на будинку підстанції, прожекторній щоглі, димареві і т.д. або ж на спеціальній конструкції і з'єднаний сталевим проводом із заземлювачем. Зона захисту блискавковідводу залежить від його висоти, рельєфу місцевості, висоти грозових хмар і т.п. При правильному виборі числа, висоти і розміщення блискавковідводів грозвий розряд відбувається між хмарою і блискавковідводом і приділяється через заземляч у землю.

Зона захисту одиночного стрижневого блискавковідводу (рис. 3) обмежується поверхнею обертання навколо осі блискавковідводу кривій, описуваної в координатних осях формулою

$$\frac{r_x}{H} = \left(1 - \frac{h}{H} \right) \frac{1,6p}{1 + \frac{h}{H}},$$

де H – висота блискавковідводу; r_x – радіус зони захисту на висоті h від поверхні; p – множник, дорівнює одиниці при $H \leq 30$ м, а при $H \geq 30$ м визначається по формулі

$$p = \frac{5,5}{\sqrt{H}}$$

Зона захисту декількох стрижневих блискавковідводів перевищує суму зон захисту одиночних стрижневих блискавковідводів. Для приклада на рис. 15.4 показана зона захисту двох, а на рис. 5 чотирьох стрижневих блискавковідводів однакової висоти. Для блискавковідводів висотою менш 30 м умовою злиття зон захисту окремих блискавковідводів на висоті h від поверхні землі є нерівності $a < 7(H - h)$ – при двох і $D < 8(H - h)$ – при чотирьох одиночних блискавковідводах. Пунктиром показані зони захисту одиночних блискавковідводів. Таким чином, установка декількох блискавковідводів порівняно невеликої висоти більш вигідна, ніж установка одного дуже високого блискавковідводу.

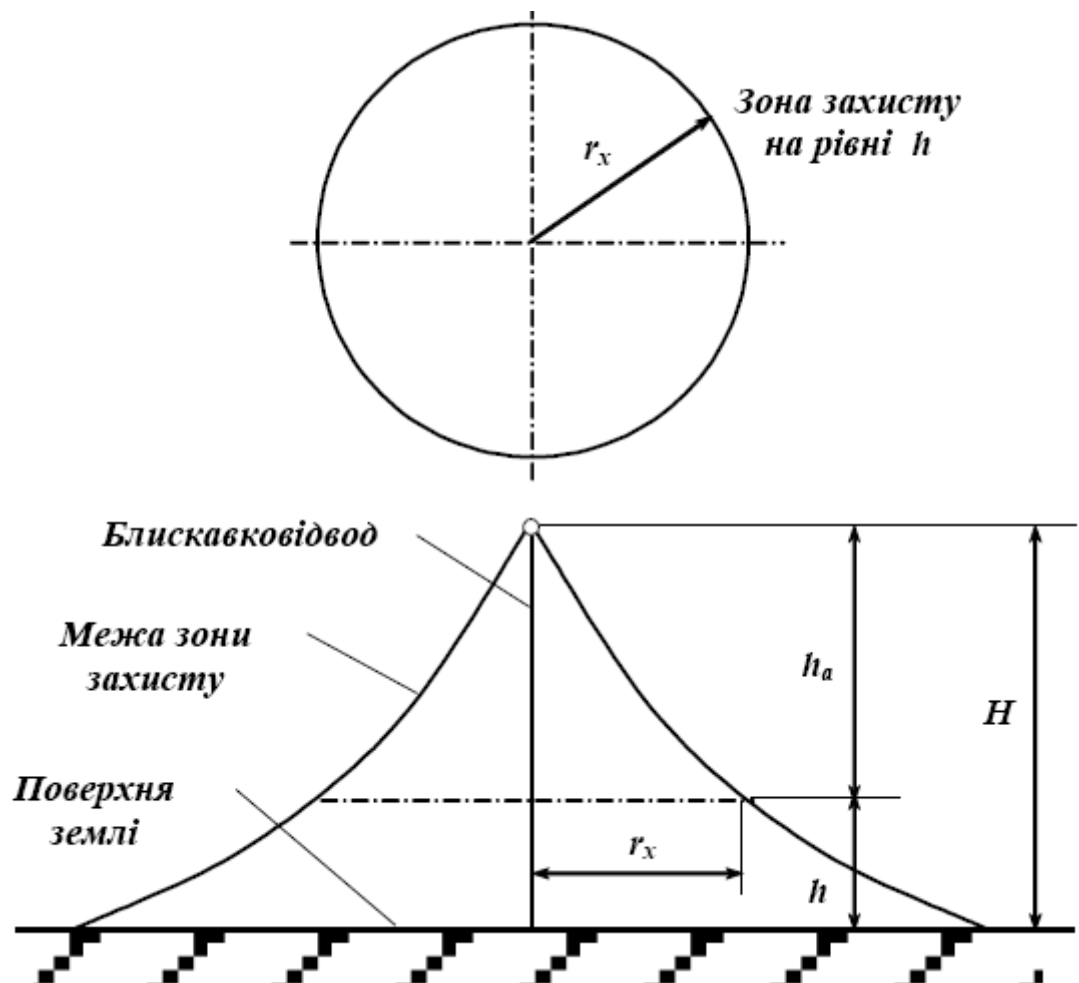


Рисунок - 3. Зони захисту одиночного стрижневого блискавковідводу:
а – зона дії блискавковідводу; б – висота впливу блискавковідводу.

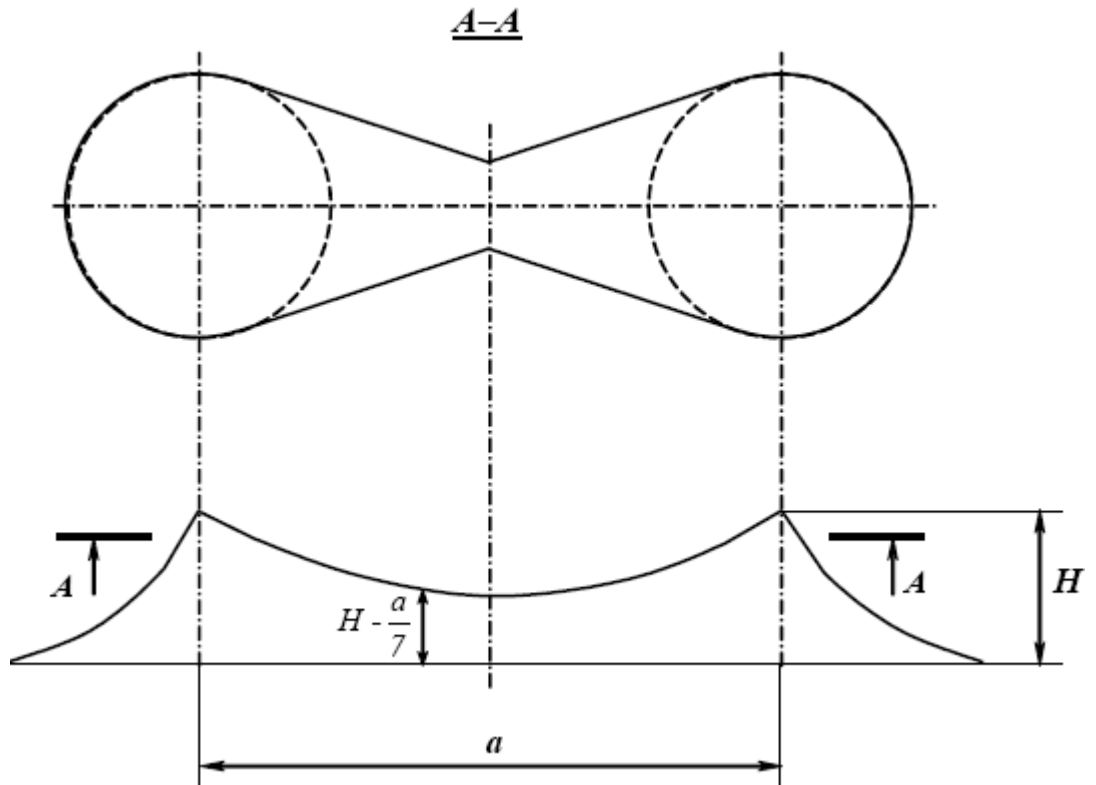


Рисунок - 4. Криві, що обмежують зону захисту двох стрижневих блискавковідводів

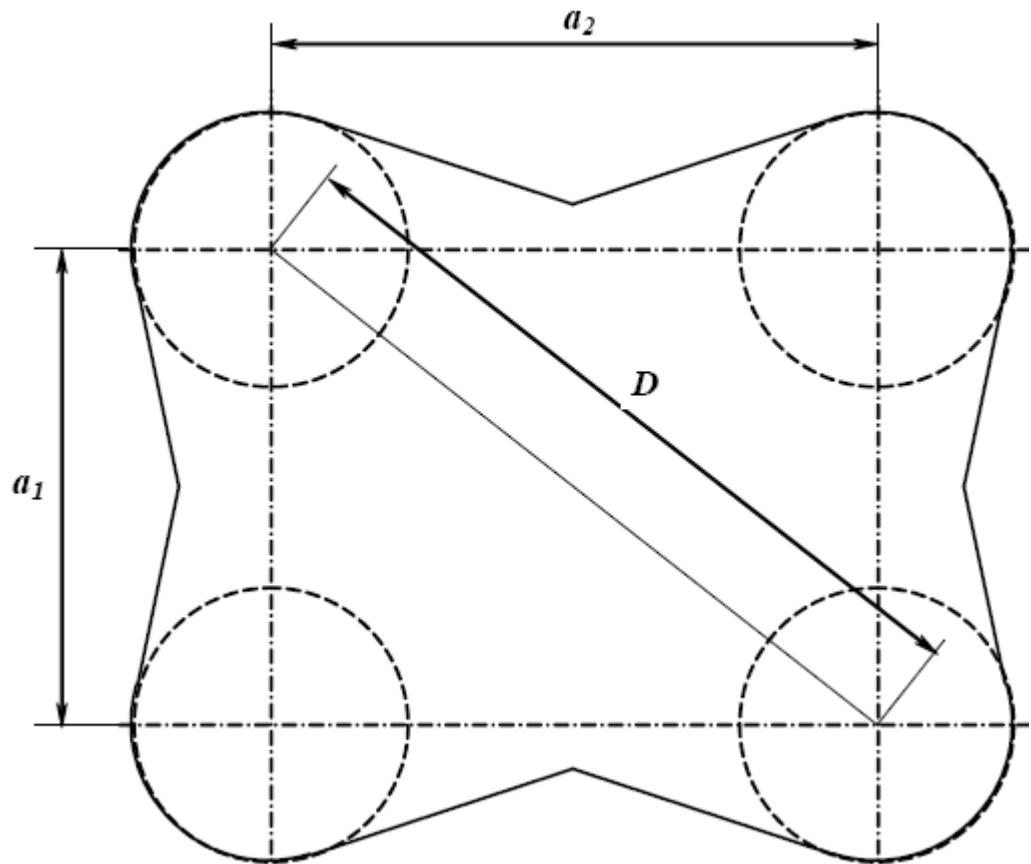


Рисунок - 5. Криві, що обмежують зону захисту чотирьох стрижневих блискавковідводів

Стрижневими блискавковідводами захищають:

а) відкриті розподільні пристрої і відкриті підстанції напругою 20-500 кВ;

б) будинки закритих розподільних пристроїв і закритих підстанцій у районах з числом грозових годин у році більш 20;

в) розташовані на території підстанції будинки трансформаторної вежі, маслохолозства, електролізної, синхронних компенсаторів, місця збереження паливних рідин і газів.

При наявності в будинків закритих розподільних пристроїв і закритих підстанцій металеві покрівлі або несущих залізобетонних конструкцій покрівлі захист від прямих ударів блискавки здійснюється заземленням останніх.

Тросовий блискавковідвід являє собою металевий трос перетином не менш 35 мм², прокладений по опорах повітряної лінії над струмоведучими проводами (рис. 6). Його призначенням є запобігання грозових розрядів безпосередньо в струмоведучі проводи. Захисна дія тросів стосовно крайніх проводів характеризує захисний кут α , значення якого приймається рівним 200 - 300.

Зона захисту одиночного тросового блискавковідводу обмежується поверхнями, лінії перетинання яких площиною, перпендикулярної напрямкові лінії передач, описуються виразом

$$\frac{r_x}{H} = \left(1 - \frac{h}{H} \right) \frac{0,8}{1 + \frac{h}{H}}.$$

Значення вхідних у формулу величин ті ж, що й у формулі для стрижневого блискавковідводу.

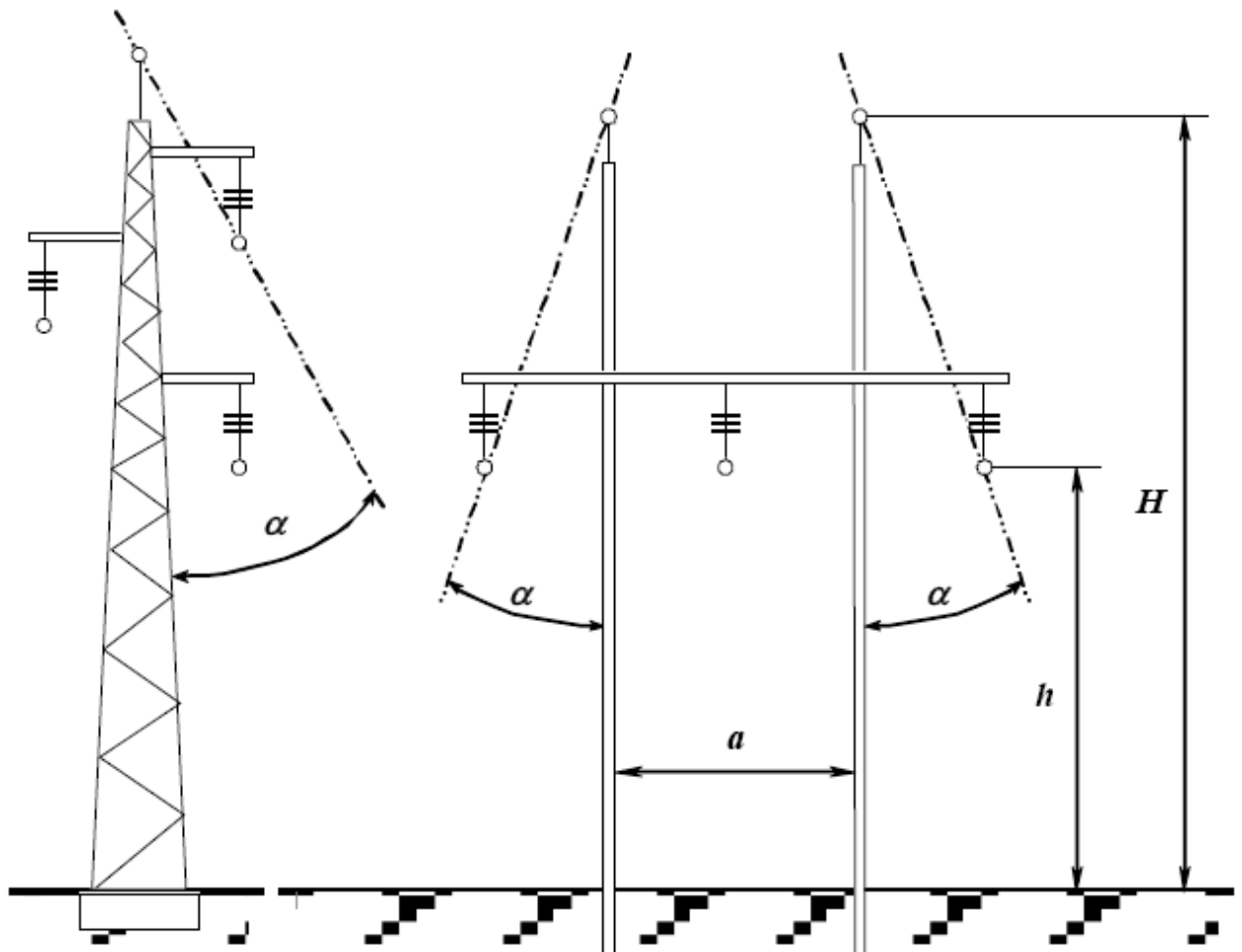


Рисунок - 6. Тросові блискавковідводи повітряних ЛЕП.

При рівнобіжній підвісці двох тросових блискавковідводів зона захисту перевищує суму зон захисту окремих блискавковідводів (рис. 7). Умова захищеності об'єкта висотою h , що знаходиться посередині між двома тросами, визначається нерівністю

$$a < 4(H - h)$$

Слід зазначити, що тросовий блискавковідвід захищає лінію і від наведених перенапруг, знижуючи їх на 30-45 %. Захисна дія троса повною мірою виявляється тільки тоді, коли він добре і досить часто заземлений. Значення опору заземлення регламентується ПУЕ в залежності від питомого опору землі.

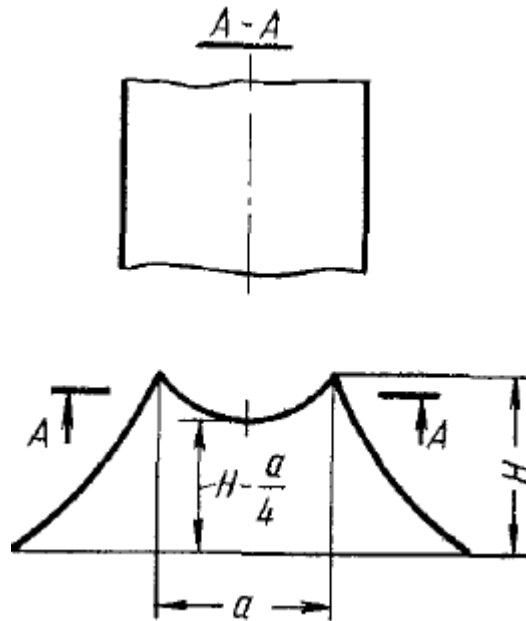


Рисунок - 7. Криві, що обмежують зону захисту двох тросових блискавковідводів

Найчастіше тросовий блискавковідвід знаходить застосування для захисту ліній напругою 110 кВ і більш на металевих або залізобетонних опорах, тому що після пробою ізоляції перенапругою зазначені робочі напруги можуть підтримувати стійкі дугові замикання так називаного супровідного струму в повітряних проміжках між проводами і металом опор. При дерев'яних опорах тросовий блискавковідвід застосовують рідко, оскільки наявність троса знижує додаткову ізоляцію, забезпечувану дерев'яною частиною опори. Як показав досвід експлуатації, при достатній відстані між фазами по дереву (4 м – при робочій напрузі 110 кВ, 3 м – при 35 кВ, 2 м – при 20 кВ, 1 м – при 10 кВ, 0,75 м – при 6 кВ і 0,5 м – при 3 кВ) дуга супровідного струму не може існувати довгостроково. Застосування металевих траверс на опорах з дерев'яними стійками не рекомендується, тому що вони послаблюють ізоляцію фаз.

Однак при відсутності тросового блискавковідводу по всій довжині повітряної лінії повинна здійснюватися захист тросовим блискавковідводом підходів до підстанцій при напрузі 35 кВ на довжині 1-2 км і при напрузі 110 кВ на довжині 1-3 км.

Удар блискавки в провід на підході повітряної лінії в безпосередній близькості від підстанції майже настільки ж небезпечний, як і удар безпосередньо в підстанцію. У хвилях же перенапруги, що з'являються за межами захищеного тросом підходу, при поширенні їх уздовж лінії амплітуда швидко знижується, а фронт згладжується, тому, досягаючи підстанції, вони представляють уже меншу небезпеку для її електроустаткування. Тросові блискавковідводи на підходах до підстанцій при всіх напругах повинні бути заземлені на кожній опорі, причому опір заземлення регламентується ПУЕ.

3. Захист від грозових і хвиль перенапруг, що набігають.

Лінії електропередачі можуть уражатися блискавкою десятки разів у рік. У результаті цих поразок у лінії виникають хвилі перенапруг, що поширюються в обидва боки від місця удару і доходять до підстанцій, так називані атмосферні перенапруги. Розрядна напруга ізоляції ліній повинне бути вище амплітуди цих хвиль.

При поширенні по лініях хвилі перенапруг випробують перекручування і загасання і проте вони становлять реальну небезпеку для підстанцій. Це порозумівається тим, що рівень подстанционної ізоляції по економічних розуміннях завжди значно нижче, ніж рівень лінійної ізоляції, і що напруга на ізоляції підстанції (при відсутності спеціального захисту) у результаті хвильових перехідних процесів може виявитися значно більше амплітуди приходящої на підстанцію хвилі.

Якщо перекриття ізоляції на опорі ЛЕП веде, як правило, тільки до перекриття гірлянди ізоляторів, що усувається дією РЗ і АПВ, то перекриття ізоляції на підстанції може викликати серйозне ушкодження апаратів, відключення підстанції і тривалий простій дорогого устаткування. Ушкодження подстанционного устаткування – пряма погроза нормальній роботі електричної системи. Тому поряд із захистом від прямих ударів блискавки на підстанції необхідно мати спеціальний захист від хвиль перенапруг, що набігають з ліній. Такий захист може бути здійснена за допомогою вентильних і трубчастих розрядників.

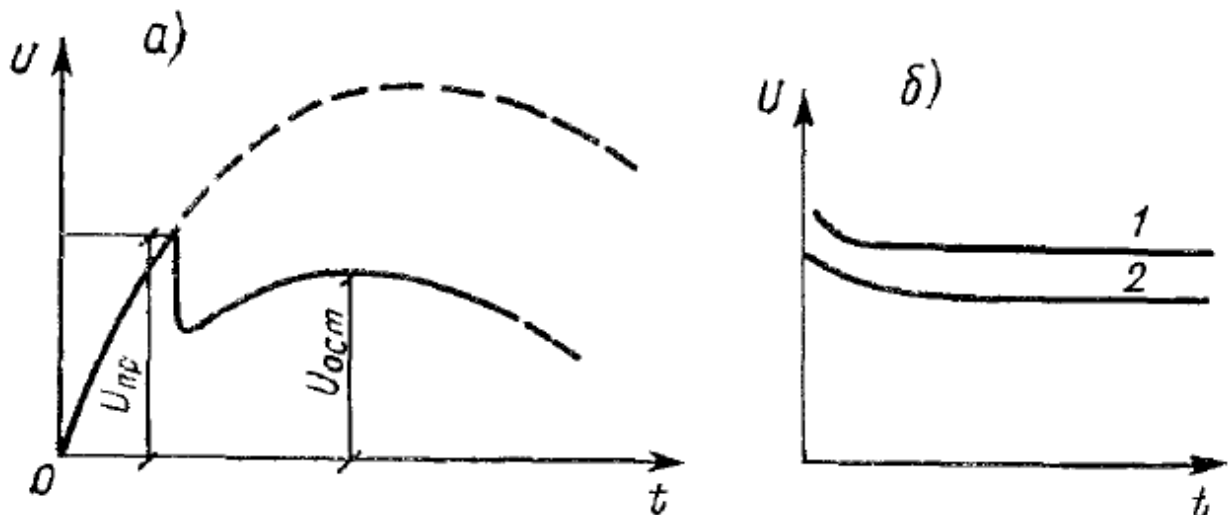


Рисунок - 8. Зріз хвилі розрядником (а) і координація вольтів секундних характеристик (б)

1 — характеристика ізоляції, що захищається,
2 - характеристика розрядника

Розрядником називають апарат, що захищає ізоляцію від перенапруг. Пробій іскрового проміжку розрядника, включеного між проводом і землею,

настає, коли амплітуда імпульсної хвилі, що набігає на розрядника, стає більше пробивної напруги проміжку (рис. 8,а).

Частина імпульсної хвилі зрізується. Напруга спрацьовування розрядника повинне бути менше напруги пробою ізоляції, що захищається, тому ординати вольт-секундної характеристики розрядника (рис. 8,б, крива 1) лежать на 15 - 20% нижче ординат характеристики ізоляції (крива 2) і пробій іскрового проміжку відбувається раніш пробою ізоляції.

Вентильним називається розрядник, що складається з іскрових проміжків і перемінного, що змінюється в залежності від напруги, опору. Найчастіше в якості такого опору використовується віліт, основним компонентом якого є карборунд, оброблений електричною дугою. Поверхня кристалів карборунду має «запірний шар».

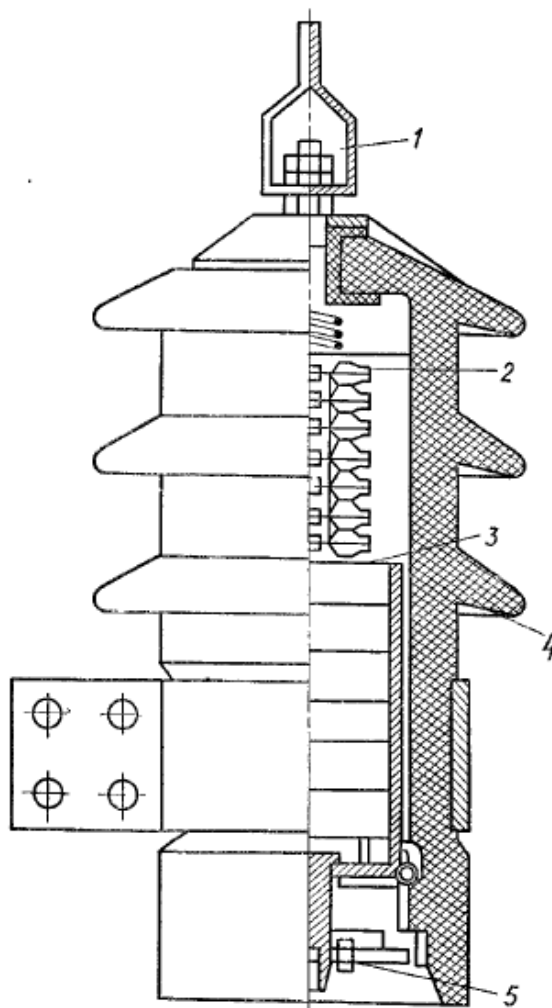


Рисунок - 9. Вентильний розрядник на 6 кВ:

- 1, 5 — верхній і затиски, що заземлює,
- 2 — іскрові проміжки,
- 3 — вилитовые диски,
- 4 — порцеляновий кожух

На рис. 9 показаний розріз вентильного розрядника на напругу 6 кВ. Розрядник складається із шести вілітових дисків і семи послідовно з'єднаних іскрових проміжків, укладених у герметичний порцеляновий кожух. Верхнім затиском розрядника приєднують до проводу мережі, нижнім затиском – до заземлення.

При визначеному значенні перенапруги іскрові проміжки пробиваються і напруга хвилі знижується. Пробій звичайно відбувається на всіх трьох фазах, і при спрацьовуванні розрядника слідом за імпульсним струмом протікає супровідний струм КЗ робочої частоти.

Оскільки напруга мережі значно менше рівня перенапруги, опір вілітових дисків різко збільшується, струм зменшується до невеликого значення й у перший же період при переході через нульове значення припиняється.

Через хвилю перенапруги опір вілітових дисків при спрацьовуванні розрядника значно знижується і тому не перешкоджає проходженню струму блискавки в землю.

Вентильні розрядники поділяються на станційних розрядників типу РВС на 35 - 220 кВ, розрядники з магнітним гасінням типів РВМГ на 110 - 500 кВ, підстанційні розрядники типів РВП на 6 - 10кВ, РВМ на 6 - 35 кВ. Вони відрізняються один від одного конструкцією іскрових проміжків і значенням напруги спрацьовування.

Трубчасті розрядники (рис. 10) застосовуються на лініях електропередачі для захисту лінійної ізоляції від атмосферних перенапруг. Вони складаються з послідовно з'єднаних зовнішнього S2, і внутрішнього S1 іскрових проміжків.

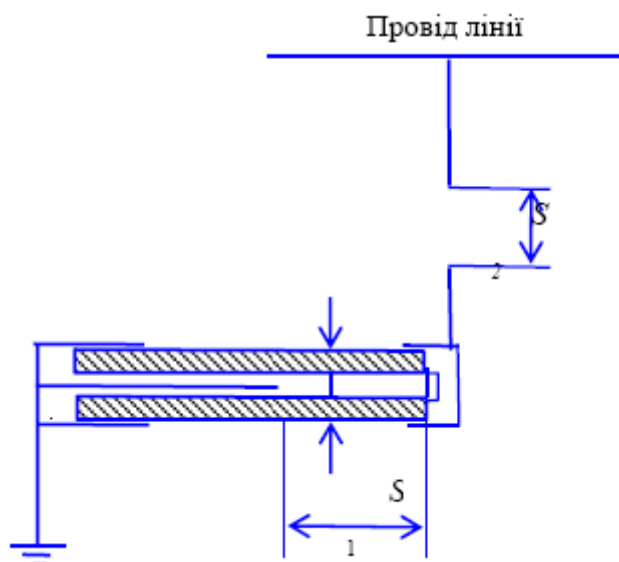


Рисунок - 10. Ввімкнення трубчатого розрядника на 6-10 кВ

Трубку виготовляють з фібробакеліта, вініласту або з органічного скла. Зовнішній іскровий проміжок служить для того, щоб трубка розрядника

не знаходилася під напругою, інакше струми виток викликають обвуглювання, а з часом – і згоряння трубки. У фібробакелітовій трубці трубчастого розрядника напругою 6-10 кВ поміщені стрижневий і пластинчастий електроди. Для визначення моменту спрацьовування розрядника мається показчик дії у вигляді бронзової смужки, що видувається газами при спрацьовуванні. Коли напруга на розряднику в результаті розряду блискавки перевищує встановлене значення, іскрові проміжки пробиваються і скрізь розрядник проходить струм грозового розряду до заземлителя. При цьому значення перенапруги зменшується. Одночасно через розрядника проходить струм КЗ робочої частоти, що викликає утворення в трубці електричної дуги. Під дією високої температури дуги стінки трубки бурхливо виділяють велику кількість газів. Гази вириваються з трубки під тиском $100-500 \text{ кгс/см}^2$ і видувають дугу. Дуга гаситься протягом 1-2 періодів, після чого установка знову готова до роботи.

Розрядники маркірують по номінальній напрузі, найбільшому і найменшому струмам, що вони можуть відключати. Якщо супровідний струм більше, ніж найбільший струм розрядника, то трубка може при спрацьовуванні зруйнуватися; якщо струм менше – дуга буде слабкої, виділення газів недостатньо інтенсивним.

Для захисту підстанційної ізоляції від хвиль атмосферних перенапруг, що набігають з лінії, на збірних шинах розподільних пристроїв, а також у трансформаторів, приєднаних до них за допомогою відпайок, передбачається установка комплектів вентильних розрядників, імпульсні характеристики яких відповідають характеристикам ізоляції апаратів, що захищаються, і трансформаторів.

Для обмеження амплітуди хвилі, а почасти і для зниження її крутості дуже важливо попередити можливість удару блискавки в безпосередній близькості від підстанції. Для цього на лініях без тросового захисту на підході до підстанції передбачаються троси визначеної довжини з установкою на початку цього підходу комплекту трубчастих розрядників. Найчастіше довжину захищеного проходу приймають рівної 1-3 км (рис.11). При цьому хвиля, що дійшла до підстанції, буде мати значно більш пологі фронт і трохи меншу амплітуду. Це полегшує роботу вентильних розрядників і сприяє обмеженню залишкових напруг на його робочому опорі, що у свою чергу запобігає виникненню небезпечних перенапруг на подстанциионной ізоляції.

Розподільні пристрої напругою 6-10 кВ, установлювані на знижувальних підстанціях, захищаються вентильними розрядниками РВ, розміщеними на шинах підстанції, і трубчастими розрядниками, розміщеними на відстані 100-200 м від підстанції. При цьому, якщо яканебудь з ліній 6-10 кВ має двостороннє живлення, то на введенні цієї лінії на підстанцію встановлюється другий комплект трубчастих розрядників. Тупикові підстанції захищають тільки вентильними розрядниками на вводі.

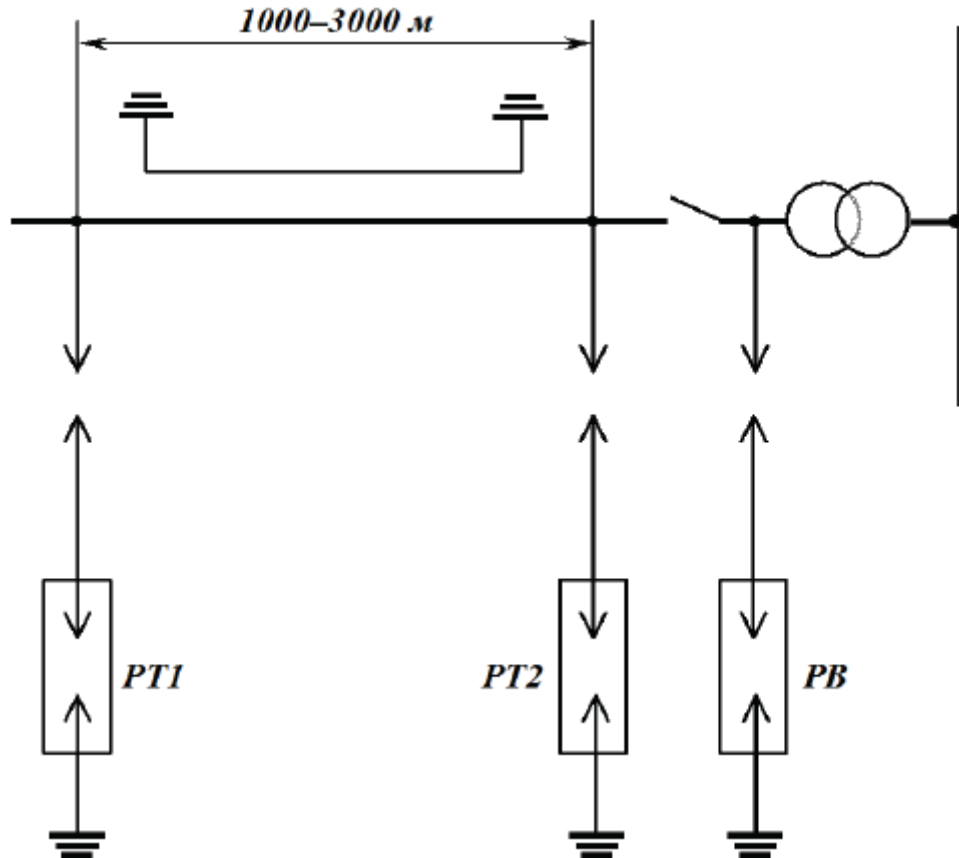


Рисунок - 11. Схема захисту від грозових перенапруг підстанцій 35- 220 кВ при підході повітряних ліній

Особливістю генераторів і інших обертових машин є те, що міжвіткова ізоляція в них значно слабкіше, ніж у трансформаторів. Тому при захисті генераторів від атмосферних перенапруг повинні бути передбачені не тільки елементи захисту, що знижують амплітуду хвиль перенапруги, що набігають, але й елементи, що не допускають до машини хвилі з крутим фронтом. Найбільш ефективною мірою захисту генераторів, що працюють на повітряну мережу, є приєднання їх до мережі через трансформатор.

4. Захист від внутрішніх перенапруг.

Комутаційні перенапруги в мережах промислових підприємств є наслідком частих експлуатаційних включень і відключень трансформаторів, електродвигунів, ліній. Захист, що обмежує значення комутаційних перенапруг, поєднує комплекс заходів: включення вентильних розрядників безпосередньо на виводах трансформаторів і двигунів; застосування вимикачів з резисторами, які шунтують контакти в момент розмикання; регулювання вимикачів на одночасність торкання контактів; перевірка швидкості і часу руху рухливих частин вимикачів, значення яких не повинні відрізнятися більш ніж на 10% від паспортних даних або даних, приведених у ПУЕ.

Для обмеження дугових перенапруг при нестійких та дугових однофазних замиканнях на землю в мережах з ізольованою нейтраллю передбачається компенсація ємнісних струмів замикання на землю шляхом заземлення нейтралі трансформатора через дугогасні апарати налаштовані в резонанс із ємністю мережі щодо землі і вентильні розрядники.

Одним з істотних недоліків ізольованої нейтралі є її схильність до небезпечних перенапруг при дугових однофазних замиканнях на землю. Крім того, у мережах з ізольованою нейтраллю можливе виникнення ферорезонансних процесів, що приводять до мимовільних зсувів нейтралі, що викликають багатомісні ушкодження ізоляції устаткування. Виконані виміри перенапруг при дугових однофазних замиканнях у мережах 6-35 кВ з ізольованою нейтраллю показують, що імовірність появи небезпечних для ізоляції мережі перенапруг (понад 2,4) U_{ϕ} досягає 30%.

Процес горіння дуги і виникнення максимальних перенапруг у переважній більшості випадків відповідає класичній теорії, відповідно до якої тривалість горіння дуги при кожному повторному запалюванні дорівнює напівперіоду вільних коливань. Однак, наявність у мережі вимірювальних трансформаторів напруги типу НТМІ приводить до істотної зміни картини процесу-перенапруги, як правило, знака не змінюють, а повторні запалювання дуги відбуваються через час, близький до періоду основної частоти. Після кожного загасання дуги відбувається процес відновлення фазних напруг. Для неушкоджених фаз, у реальних умовах, цей процес, носить коливальний характер за рахунок ємності мережі й активно-індуктивного опору обмотки ВН трансформатора напруги.

Дійовим заходом обмеження зазначених перенапруг є також заземлення нейтралі мережі через активний опір (резистор), значення якого повинно вибиратися з умови створення в аварійному режимі активної складової струму однофазного замикання на землю на рівні 50-100 % ємнісної складової. Зниження перенапруг при заземленні нейтралі через активний опір досягається за рахунок того, що за час кожної безструмової паузи (від загасання до нового запалювання дуги) накопичені на фазових ємностях мережі статичні заряди встигають розрядитися через активний резистор в нейтралі, тобто стікають у землю.

Накладення активного струму замикання на землю на рівні не менш 50 % ємнісного також практично цілком виключає можливість появи ферорезонансних перенапруг. Струми замикання на землю при цьому не повинні перевищувати значень, зазначених у ПУЕ.

Контрольні питання

1. Імпульсна хвиля.
2. Вольт секундна характеристика ізоляції.
3. Хвильовий опір.
4. Причини виникнення перенапруг.
5. Зона захисту блискавковідводів.

6. Призначення, будова та принцип дії вентильних та трубчатих розрядників.

7. Захист від комутаційних та дугових перенапруг.