

ПОРІВНЯННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗНАЧЕНЬ ЙМОВІРНОСТІ ПЕРЕХОПЛЕННЯ БЛИСКАВКИ ЗА МЕТОДАМИ ЗАХИСНОГО КУТА ТА ЕЛЕКТРОГЕОМЕТРИЧНИМ

Коновчук І.О., магістрант, Шостак В.О., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. Одним з важливих засобів захисту ліній електропередавання (ЛЕП) та інших об'єктів в енергетиці від впливів блискавок є грозозахисні троси. Для них визначають характерний параметр – кут захисту (α), який розраховують в залежності від висоти і конфігурації опор, з урахуванням впливу миттєвої напруги на фазних проводах та інших факторів [1]. В спрощених методиках для його розрахунку використовують формулу, яка враховує лише висоту розміщення тросу, та обмежуються перевіркою для зони захисту в перерізі опори [1]. В більш сучасних методиках застосовують електрогеометричний метод та інші [2, 3]. Зокрема, стандарт [2] включає можливість застосовувати і метод захисного кута (з відповідними графіками і обмеженням по висоті близько 20...25 м для високих рівнів надійності захисту), і електрогеометричний метод в його спрощеному варіанті «сфери, що котиться». У зв'язку з цим на практиці часто постає питання яким же методом краще користуватися для конкретних споруд і яка надійність захисту декларується кожним з них.

Мета роботи. Провести аналіз розрахункової ймовірності прориву блискавок повз грозозахисний трос на фазні проводи на прикладі ЛЕП класу 110 кВ за методом захисного кута (ЗК) та електрогеометричним методом сфери, що котиться (СЩК). Розрахунки провести для перерізів в площині опори та в середині прогону.

Матеріали і результати досліджень. Аналіз проводиться для ЛЕП з опорами типу ПБ 110-6 [4], з проводами марки АС-70 та з гірляндою ізоляторів типу ПСД 70Е [5]. Ескізи опори з необхідними для розрахунків розмірами наведено на рис. 1 та 2.

Враховуючи висоту опори $h_{оп} = 22.2$ м, висоту гірлянди, яка складається з семи ізоляторів типу ПСД 70Е з висотою 146 мм і арматури з висотою 180 мм [5], та стрілу провисання проводу [6], виконаємо аналіз за допомогою методу захисного кута та сфери, що котиться, для двох випадків: 1) переріз в площині опори; 2) переріз в середині прогону.

1) Переріз в площині опори

Значення кута захисту для верхнього фазного проводу С1:

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \cdot \operatorname{atan}\left(\frac{2}{3.9}\right) = 27.15 \text{ град.} \quad (1)$$

За кутом захисту визначаємо ймовірність прориву блискавки на проводи ЛЕП [1, 7]:

$$P1 = \frac{\alpha \sqrt{h_{\text{оп}}}}{90^\circ} - 4, \quad (2)$$

де α – кут захисту, в градусах, $h_{\text{оп}}$ – висота опори (від поверхні землі, у метрах). Звичайно, ця формула має певні обмеження щодо застосування (по максимальній допустимій висоті тросу; не враховує миттєве значення робочої напруги на фазних проводах та ін. [1]).

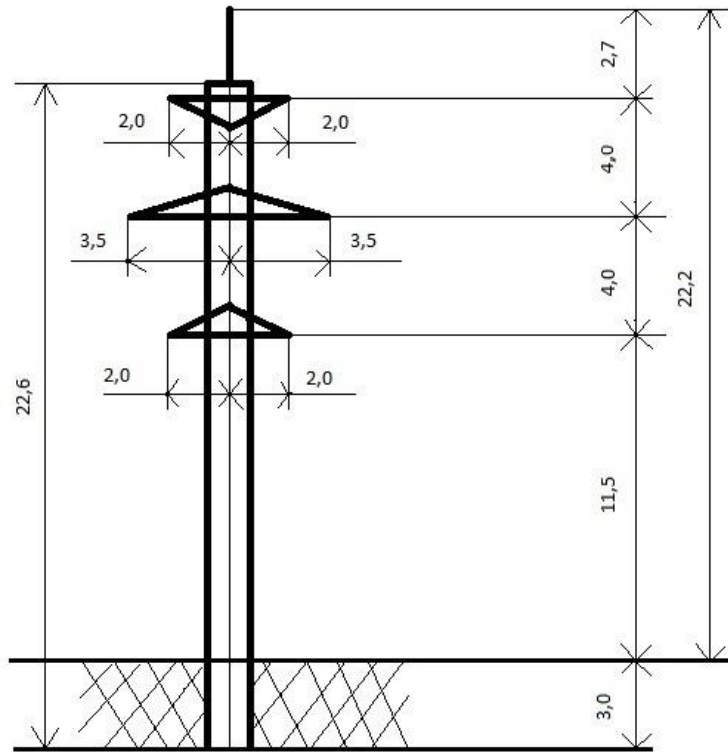


Рисунок 1 – Основні розміри опори ПБ 110-6 для розрахунків

Результати розрахунків захисних кутів та відповідних ймовірностей прориву $P1$ для всіх фазних проводів наведено у табл.1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків характеристик захисту для перерізу в площині опори

Провід	$\alpha, ^\circ$	$P1$ (для захисного кута)	P (для сфери, що котиться)	$I, \text{кА}$	$R, \text{м}$
С1 (верхній)	28	0.003	0.997	3.5	22.576
С2 (середній)	24	0.002	0.998	3.0	20.423
С3 (нижній)	10	0.0003	0.9997	1.4	12.445

Для визначеної за (2) ймовірності прориву блискавки $P1$, розраховуємо ймовірність перехоплення $P = 1 - P1$, а далі з наступного виразу (3) можна

знайти відповідне граничне значення струму I (у кілоамперах) першого зворотного удару [3]:

$$P = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{31}\right)^{2.6}} \cdot \quad (3)$$

За методом сфери, що котиться, наприклад, для струму $I = 3.5$ кА ймовірність перехоплення $P = 0.997$ відповідає ймовірності прориву $PI = 0.003$, визначеній за методом захисного кута. Звідси можна знайти відповідний радіус сфери R , що котиться, за [3]:

$$R = 10 \cdot I^{0.65}, \quad (4)$$

де I – амплітуда струму зворотного удару блискавки, кА.

Розраховані значення ймовірностей перехоплення P , струмів блискавки та відповідних радіусів СЩК теж подано у табл. 1, а зони захисту, за двома методами, показано на рис. 2.

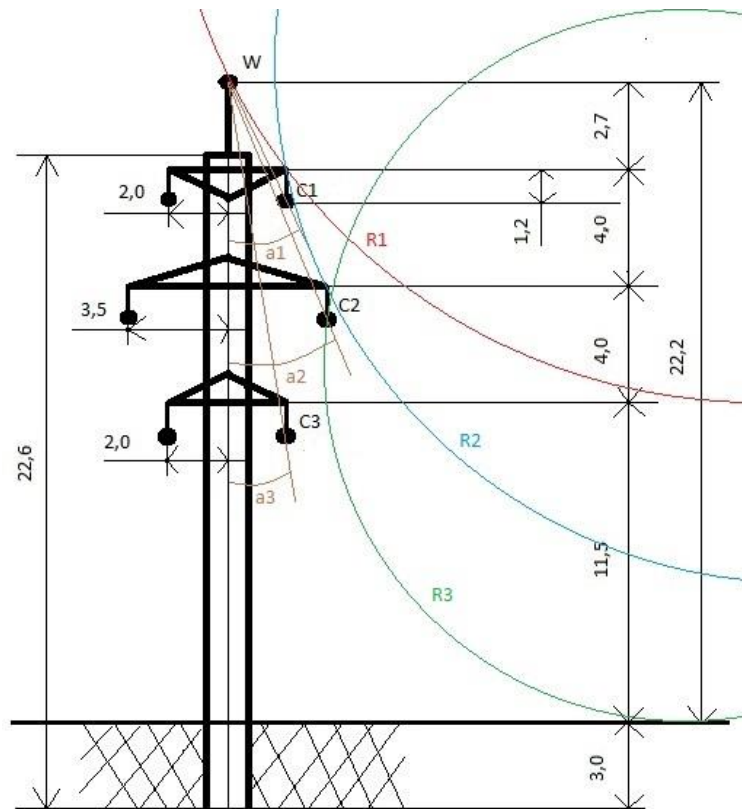


Рисунок 2 – Зони захисту, за двома методами, в площині перерізу опори

2) Переріз в середині прогону

Для цього випадку кути захисту для проводів не змінюються, тому що міняється лише їх висота над землею (враховуючи стрілу провисання 3.07 м, яка може мати незначні відмінності для окремих проводів), а взаємна їхня позиція майже незмінна. Розрахунок стріли провисання виконано для температури 20 °С [5]. Отже, значення захисного кута будуть такими ж, як і для

розглянутого вище випадку в площині опори, а ймовірність прориву може дещо зменшитися. Значення розрахованих для цього випадку величин представлено у табл. 2, а зони захисту за двома методами – на рис. 3.

Таблиця 2 – Результати розрахунків характеристик захисту для перерізу в середині прогону

Провід	$\alpha, ^\circ$	$P1$ (для захисного кута)	P (для сфери, що котиться)	$I, \text{кА}$	$R, \text{м}$
C1 (верхній)	28	0.0023	0.9977	3.0	20.410
C2 (середній)	24	0.0015	0.9985	2.5	18.245
C3 (нижній)	10	0.0003	0.9997	1.4	12.323

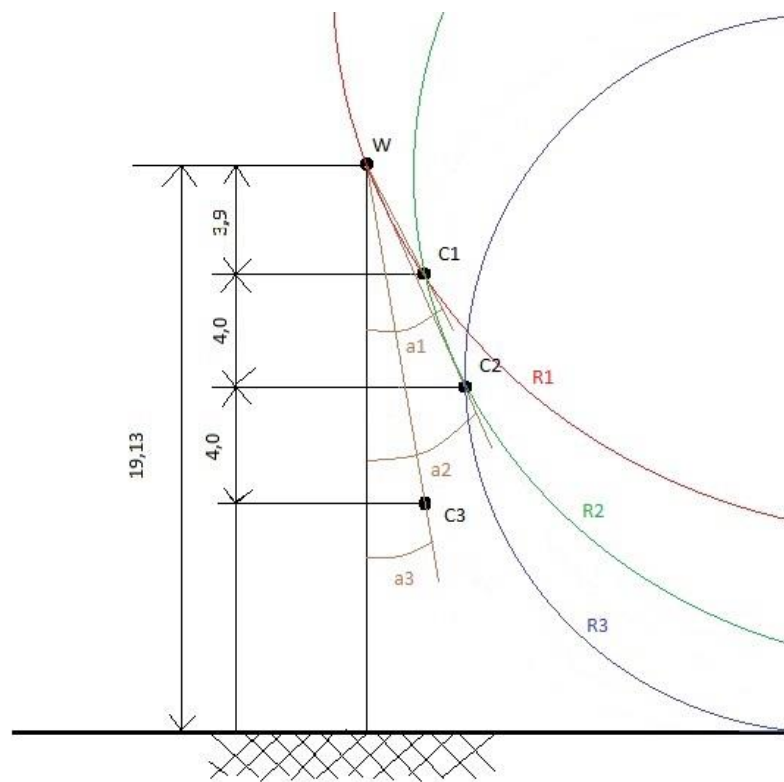


Рисунок 3 – Зони захисту, за двома методами, для перерізу в середині прогону лінії

Як і для першого, так і для другого випадків з рисунків видно, що за методом сфери, що котиться, проводи не є захищеними з такою надійністю, як визначено за методом кута, а з дещо меншою. Знайдемо мінімальний радіус сфери, який відповідає захисту всіх проводів. Схему до розрахунку усередині прогону в цьому випадку представлено на рис.4.

Цей радіус становить $R = 34.2$ м. Із згаданих вище формул, знаходимо граничне значення струму $I = 6.6$ кА та відповідні значення ймовірностей перехоплення $P = 0.9822$ та прориву $P1 = 1 - P = 0.0178$.

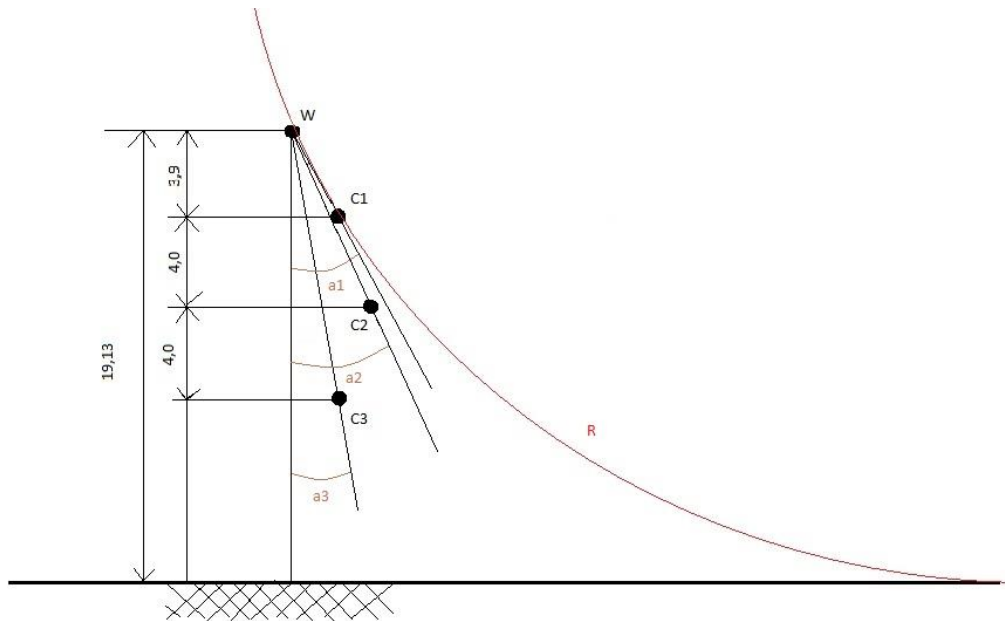


Рисунок 4 – Сфера з мінімальним радіусом $R = 34.2$ м, який відповідає захисту всіх проводів від блискавок зі струмами понад 6.6 кА (середина прогону)

Висновок. Для ЛЕП з заданими опорами, гірляндами ізоляторів та проводами і іншими умовами проведені розрахунки за двома методами показали: захисні об'єми, які забезпечує грозозахисний трос, визначені за методом захисного кута, є дещо більшими, ніж визначені за електрогеометричним методом СЩК. Це стосується як випадку для перерізу в площині опори, так і для середини прогону. Якщо за методом захисного кута ймовірність прориву на верхній фазний провід в середині прогону становить $PI = 0.0023$, то за методом сфери вона виходить 0.0178, тобто десь у 7.7 разів гірша. Згідно методу СЩК, на фазні проводи можуть пройти блискавки зі струмами не більше 6.6 кА. Отже, для розглянутої споруди ЛЕП і заданих умов метод СЩК є більш консервативним. Потрібні подальші дослідження, в т.ч. для експериментальної перевірки результатів визначення ймовірнісних характеристик зон захисту за різними методами і їхнього розвитку.

Перелік посилань

1. В. В. Базуткин, В. П. Ларионов, Ю. С. Пинталь. Техника высоких напряжений. – М.: «Энергоатомиздат», 1986, с. 213.
2. IEC 62305-3: 2010 Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard.
3. Carlo Alberto Nucci. A Survey on CIGRE and IEEE Procedures for the Estimation of The Lightning Performance of Overhead Transmission and Distribution Lines, Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2010, p. 1125.4_И. А.
4. Баумштейн, С. А. Бажанов, Справочник по электрическим установкам высокого напряжения. – М.: «Энергоатомиздат», 1989, с. 394.
5. Изолятор ПСД-70Е – http://www.em.dn.ua/iz/steklo/lin_steklo/psd70e.htm
6. Г. Е. Поспелов, Монтажные таблицы сталеалюминевых проводов. – Минск: «Высшая школа», 1974, с. 32.
7. Молниеотводы – https://studopedia.su/13_146701_molnieotvodi.html