**Практичне заняття 7, 8**

**Визначення параметрів ліній електропередач**

**8.1 Теоретичні відомості**

Повітряні лінії напругою 110 кВ і вище, як правило, зображають П-образною ***схемою заміщення*** (рис. 8.1)



Рисунок 8.1 – П-образна схема заміщення повітряної лінії

***Активний опір*** проводів та кабелів з урахуванням поверхневого ефекту обумовляє теплові втрати в них і визначається матеріалом струмоведучих провідників і площею їх перерізу. Погонний опір проводів різних марок наведені в табл. 1-8.

Погонний активний опір повітряної ЛЕП (опір 1 км. лінії, Ом/км) за нормальної температури (*t*=200C) визначається за формулою

, (8.1)

де *ρ*а  – питомий опір, Ом·мм2/км(для міді *ρ*а=17,24 Ом·мм2/км, для алюмінію *ρ*а=28,9 Ом·мм2/км);

F – переріз проводів, мм2;

*γ*a – питома провідність (для міді *γ*a=58 м/(Ом·мм2) , для алюмінію *γ*a=34,6 м/(Ом·мм2))

Активний опір (Ом) повітряної лінії за нормальної температури

, (8.2)

де *l* – довжина лінії, км.

***Індуктивний опір*** ЛЕП обумовлений змінним магнітним полем, що наводить в провіднику електрорушійну силу (ерс), зворотну до напряму струму, яким вона викликана (ерс самоіндукції).



Погонний індуктивний опір повітряної ЛЕП за нормальної температури (Ом/км) розраховується за формулою:

, (8.3)

де *r*пр – радіус проводу, мм;

*D*ср – середньо геометрична відстань між проводами, мм:

, (8.4)

де *D*12, *D*23, *D*31,– відстань між відповідними фазними проводами лінії, мм.

При розташуванні проводів горизонтально

.

При розташуванні проводів в вершинах рівностороннього трикутника



Таблиця 8.1 – Усереднені середні геометричні відстані між фазними проводами повітряних ЛЕП

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Напруга, кВ | 35 | 110 | 150 | 220 | 330 | 500 | 750 |
| Середньо геометрична відстань, м | 3,5 | 5 | 6,5 | 8 | 11,0 | 14,0 | 19,5 |

В ЛЕП напругою 330-750 кВ для зниження індуктивного опору, а також для зменшення втрати активної потужності на корону кожний фазний провід розщеплюють на 2-4 проводи. В цьому випадку погонний індуктивний опір (Ом/км) розраховується за формулою:

, (8.5)

де Rек – еквівалентний радіус, мм;

n – число проводів фази.

Еквівалентний радіус визначається за наступними виразами:

* при розчепленні на два і три проводи

, (8.6)

де *a*ср – середньо геометрична відстань між проводами фази,мм;

* при розчепленні на чотири проводи

. (8.7)

При розрахунку ***активної провідності*** повітряної ЛЕП необхідно враховувати не ідеальність її ізоляції, тобто втрату активної потужності на корону.

Погонна активна провідність повітряної ЛЕП (См/км) визначається за формулою:

, (8.8)

де *ΔP*кор – погонна втрата на корону (кВт/км), яка залежить від погоди та може бути визначена за табл. 9 додатку 1, або визначається розрахунковим шляхом:

, (8.9)

де *δ* – коефіцієнт, яким враховується бараметричний тиск та температура (δ=1 при t=250C);

*U*ф  – фазна напруга;

*U*кр.ф  – критична фазна напруга:

, (8.10)

де m0 – коефіцієнт яким враховується стан поверхні провода (для багатопроволочних проводів m0=0,83-0,87);

mn – коефіцієнт яким враховується стан погоди (при хорошій погоді mn=1, при дощі, тумані, снігу mn=0,8)

Формулу (8.8-8.10) можна використовувати якщо провода повітряної ЛЕП знаходяться у вершинах рівностороннього трикутника. Якщо ж провода лінії розташовані в одній площині, то корона на середньому проводі виникає при фазній напрузі, меншій критичної на 4%, а на крайніх проводах – більший на 6%.

**Реактивна** (ємнісна) **провідність** ЛЕП обумовлена дією електростатичного поля в діелектрику, що оточує струмоведучі елементи лінії.

Погонна ємність проводу транспонованої трифазної ЛЕП (Ф/км) визначається за формулою:

. (8.11)

Погонна ємнісна провідність (См/км):

. (8.12)

При розрахунках погонну ємнісну провідність можна знайти по табл. 6-8 додатку 1.

Наявність ємнісної провідності в ЛЕП призводить до утворення зарядних струмів, а відповідно, і реактивної потужності, що генерується лінією. Розраховується потужність (вар) за формулою:

, (8.13)

або знаходиться за табл. 6-8 додатку 1.

**Розщеплена фаза**

Кожна фаза являє собою конструкцію, що складається з декількох проводів, розташованих в просторі по вершинах правильних багатокутників.

Протягом прольоту фазного проводу між опорами правильне розташування проводів в просторі досягається установкою металевих розпірок.

Кількість проводів у фазі визначається розрахунковим шляхом, на підставі порівняння декількох варіантів. Виходячи з досвіду, встановлено оптимальну кількість проводів для ліній надвисокої напруги: *330 кВ - 2, 500 кВ - 3, 750 кВ - 4, 1150 кВ - 8.*

Розщеплена фаза представлена на рис. 8.1

*Причини використання розщепленої фази.* Застосування обумовлене тут кількома чинниками: збільшенням пропускної спроможності, зниженням втрат на «корону», зниженням напруженості і як наслідок зменшенням генерації перешкод для високочастотного зв'язку.

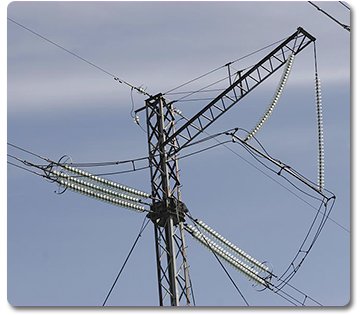
****

Рисунок 8.1 – Загальний вигляд розщепленої фази

При проектуванні і будівництві міжсистемних ліній надвисоких напруг їх економічну ефективність розраховують з умови передачі великих струмових навантажень, так, наприклад, для ліній 500 кВ порядку 1000 - 1200 А, 750 кВ від 2000 до 2500 А, 1150 до 5000 А. Для перетоків такої величини переріз одинарного проводу має бути в межах від 1000 мм2 до 4000 мм2.

Виготовлення такого проводу, вимагає спеціальної технології. До того ж, транспортування та монтаж проводу такого перерізу, представляється вельми не зручним і витратним. До всього вище сказаного можна додати, що застосування одного проводу великого перерізу вкрай не ефективно через поверхневий ефект.

Це означає, що щільність струму буде зміщена до поверхні проводу, а середня частина перерізу використовуватися не буде. Застосовуючи технологію розщепленої фази, загальний переріз визначають підсумовуванням перерізів окремих проводів.

Другою причиною застосування технології розщепленої фази є необхідність зниження напруженості, яка в свою чергу призводить до додаткових втрат на «корону», і генерації радіоперешкод для високочастотного зв'язку.

Надвисокі рівні напруг в системо утворюючих лініях електропередач призводять до утворення навколо проводів електричного поля високої напруженості, при якій виникає коронний розряд на проводах, що знаходиться в прямій пропорційній залежності від діаметра фазного проводу.

Чим вище показник рівня напруженості, при якій починається коронний розряд, тим менше втрати на корону. Якщо поодинокі проводи невеликого перерізу розмістити в вершинах правильного багатокутника, то таку систему можна розглядати як один еквівалентний провід.

**8.2 Приклад вибору**

**Приклад 1**

**Вихідні дані:**

Визначити параметри повітряної лінії напругою 500 кВ, що виконана розщепленими проводами 3×АСК-400/93, і скласти схему заміщення яка дозволить виконати розрахунок з визначенням значень струму, напруги і потужності на початку, в кінці та середині лінії, якщо її довжина 450 км.

**Знайти:** Визначити параметри повітряної лінії і скласти схему заміщення яка дозволить виконати розрахунок з визначенням значень струму, напруги і потужності на початку, в кінці та середині лінії.

**Рішення:**

1. Складемо схему заміщення (рис. 8.1).

Складемо П образну схему заміщення. Оскільки нам необхідно виконати розрахунок на початку, в кінці та середині лінії, то необхідно розбити її на дві однакові ділянки (в нашому випадку по 225 км кожна). Отже маємо дві послідовно з’єднані П образні схеми.



Рисунок 8.1 – Схема заміщення повітряної лінії

2. Визначимо погонний активний опір лінії, враховуючи, що для алюмінію *ρ*а=28,9 Ом·мм2/км, *γ*a=34,6 м/(Ом·мм2), і номінальний переріз трьох проводів дорівнює 3×400 мм2.

Тоді за формулою (8.1)

 Ом/км

Дійсний переріз проводу АСК-400 згідно довідкової літератури (табл. 2) дорівнює 406 мм2. Тоді

 Ом/км

При розрахунках активного перерізу ліній рекомендується використовувати більш точне розрахункове значення *r*0 (Ом/км), що наведене в довідковій літературі (табл. 2) з урахуванням дійсного перерізу багатожильних проводів.

Для проводу АСК-400 згідно довідкової літератури (табл. 2) *r*01=0,071 Ом/км

Тоді

 Ом/км

Це значення співпадає з розрахунковим, що було знайдено за дійсним перерізом проводів. Відповідно, при розрахунках погонного активного опору в формулу (8.1) необхідно підставляти дійсний, а не номінальний переріз проводів.

3. Визначимо активний опір ділянок лінії за формулою (8.2)

 Ом

4. Визначимо погонний індуктивний опір лінії за формулами (8.5), (8.6)

 мм

 Ом/км

5. Визначимо реактивний опір ділянок лінії за формулою (8.2)

 Ом

6. Визначимо погонну активну провідність лінії

Спершу визначимо критичну фазну напругу за формулою (8.10):

 кВ

Найбільша фазна напруга в лінії:

 кВ.

Найбільша фазна напруга менше критичної, тому на всій протяжності лінії втрат активної потужності на корону не буде і, відповідно, активна провідність в схемі заміщення лінії відсутня.

7. Визначимо погонну ємнісну провідність за формулою (8.12):

 См/км.

8. Визначимо реактивну провідність:

 См.

Сумарна ємнісна провідність проводів всій лінії визначає її зарядну провідність:

 Мвар

Ця потужність повинна бути врахована при розрахунку режиму роботи ЛЕП.

**Приклад 2**

**Вихідні дані:**

Напруга ЛЕП 330 кВ. Розташування проводів – горизонтальне Відстань між проводами 10 м.

**Знайти:**

Визначити як змінюється погонний індуктивний опір і ємнісна провідність ЛЕП якщо замість проводу АС-600/72 в кожній фазі підвісити два проводи АС-300/27 з відстанню між ними 400 мм.

**Рішення:**

Визначимо погонні індуктивні опори та ємнісні провідності для двох варіантів (для повітряної лінії та для повітряної лінії з розщепленою фазою) та порівняємо їх

1. Погонний індуктивний опір повітряної лінії (перший варіант) визначається за формулою:



Для використання даної формули попередньо необхідно визначити середньо геометричну відстань між проводами лінії та радіус проводу.

1.1 Середньо геометрична відстань між проводами лінії при розташуванні проводів горизонтально:

 м.

1.2 Для визначення радіусу проводу з довідкової літератури попередньо знайдемо діаметр проводу. Для проводу АС-600/72 діаметр 33,2 мм, отже:

 мм.

Тоді:

 Ом/км

2. Погонна ємнісна провідність для першого варіанту розташування проводу:

 См/км

3. Погонний індуктивний опір повітряної лінії з розщепленою фазою (другий варіант) визначається за формулою:



Для використання даної формули попередньо необхідно визначити еквівалентний радіус

3.1 Еквівалентний радіус при розчепленні на два проводи визначається за наступним виразом:



Для визначення радіусу проводу з довідкової літератури попередньо знайдемо діаметр проводу. Для проводу АС-300/27 діаметр 24,4 мм, отже:

 мм.

Тоді:

 мм.

Отже:

 Ом/км.

4. Погонна ємнісна провідність для другого варіанту розташування проводу:



5. Визначимо як зміниться погонні індуктивні опори та ємнісні провідності при розщепленні проводу:

5.1 Індуктивний опір

 %.

Індуктивний опір зменшиться на 23,3 %

5.2 Ємнісна провідність

 %.

Ємнісна провідність збільшиться на 21,7%

**Приклад 3**

**Вихідні дані:**

Напруга ЛЕП 220 кВ. Проводи лінії – АСК-240/39. Розташування проводів – горизонтальне, відстань між проводами – 8м.

**Знайти:**

Визначити як зміниться повний опір повітряної ЛЕП якщо:

1. Проводи розташувати в вершинах рівностороннього трикутника

2. Лінію замінити на ЛЕП постійного струму

**Рішення:**

*Провід АСК:*

*А - алюмінієва струмопровідна жила*

*С - сталевий сердечник*

*К - сердечник заповнений нейтральною змазкою підвищеної нагрівостійкості.*

1. Повний погонний опір лінії визначається за виразом:



Для використання даної формули попередньо визначимо її складові.

1.1 Погонний активний опір для проводу АСК-240/39 визначимо з довідкової літератури: r0=0,122 Ом/км

1.2 Погонний індуктивний опір визначимо за виразом



Попередньо знайдемо складові представленої формули. Середньо геометрична відстань між проводами лінії при розташуванні проводів горизонтально:

 м.

Для визначення радіусу проводу з довідкової літератури попередньо знайдемо діаметр проводу. Для проводу АСК-240/39 діаметр 22,4 мм, отже:

 мм.

Тоді:

 Ом/км.

Отже:

 Ом/км.

2. При розташуванні проводів в вершинах рівностороннього трикутника

 м.

Тоді:

 Ом/км.

2.1 Повний погонний опір лінії при розташуванні проводів в вершинах рівностороннього трикутника:

 Ом/км.

2.2 Визначимо як зміниться повний опір повітряної ЛЕП при розташуванні проводів в вершинах рівностороннього трикутника:

 %

Повний опір лінії зменшиться на 3%

3. При живленні лінії постійним струмом її повний погонний опір буде дорівнювати активному погонному опору:

3.1 Погонний активний опір повітряної ЛЕП можна визначити з довідкової літератури (як це було зроблено раніше), або за виразом

 Ом/км.

3.2 Визначимо як зміниться повний опір повітряної ЛЕП при живленні лінії постійним струмом:

 %

Повний опір лінії зменшиться на 73,7 %

**Приклад 4**

**Вихідні дані:**

Напруга ЛЕП – 110 кВ. Лінія виконана проводом АС-70/11. Протяжність лінії 40 км. Підвішування проводів – горизонтальне, відстань між проводами 4 м. В лінії здійснена транспозиція.

**Знайти:**

Зобразити схему заміщення та визначити її параметри.

**Рішення:**

1 Схема заміщення та параметри лінії представлена на рис. 8.2



Рисунок 8.2 – Схема заміщення розрахункової ділянки

2. Визначимо активний опір лінії:



Погонний активний опір лінії знайдемо з довідкових таблиць. Для проводу АС-70/11 r0=0,42 Ом/км.

 Ом.

3. Визначимо індуктивний опір лінії:



В свою чергу погонний індуктивний опір визначається за виразом:



Спочатку визначимо середньо геометричну відстань між проводами:

 м.

Для визначення радіусу проводу з довідкової літератури попередньо знайдемо діаметр проводу. Для проводу АС-70/11 діаметр 33,2 мм, отже:

 мм.

Тоді:



Отже:

 Ом.

4 При розрахунку активної провідності повітряної ЛЕП необхідно враховувати втрату активної потужності на корону.



Погонна втрата на корону (кВт/км), яка залежить від погоди та може бути визначена за табл. 9 додатку 1, або визначається розрахунковим шляхом:



Критична фазна напруга:



Якщо фазна напруга менше критичної, то корона відсутня. Так буде і в нашому випадку.

5. Визначимо ємнісну провідність лінії:



Тут:

 См/км



Питання

1. Якою схемою заміщення, як правило, зображають повітряні лінії напругою 110 кВ і вище

- П-образною схемою заміщення

- Г-образною схемою заміщення

- Т-образною схемою заміщення

- Ш-образною схемою заміщення

2. В ЛЕП напругою 330-750 кВ для зниження індуктивного опору, а також для зменшення втрати активної потужності на корону кожний фазний провід розщеплюють на

- 2-4 проводи

- 1-3 проводи

- 2-3 проводи

- 3-4 проводи

3. Яку схему заміщення необхідно скласти якщо необхідно виконати розрахунок на початку, в кінці та середині лінії 500 кВ

- дві послідовно з’єднані П образні схеми

- П-образною схемою заміщення

- Г-образною схемою заміщення

- Т-образною схемою заміщення

4.Якщо найбільша фазна напруга менше критичної, то

- активна провідність в схемі заміщення лінії відсутня

- реактивна провідність в схемі заміщення лінії відсутня

- в схемі заміщення нічого не зміниться

- реактивний опір в схемі заміщення лінії відсутній

****