

РОЗРАХУНОК ЗНАЧЕННЯ ФАЗНИХ ЄМНОСТЕЙ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ В МЕРЕЖАХ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Баженов В.А., к.т.н., доцент, Угольков В.В., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. На сьогоднішній день в Україні експлуатується близько сімдесяти тисяч кілометрів ліній напругою 35 кВ. Так як мережі такої напруги характеризуються відносно невеликими струмами замикання на землю (до 500 А), то у таких мережах більш доцільним є обмеження струмів замикання на землю, що дозволяє спростити конструкції електроустановок та забезпечити їх економічність. Тому мережі такого типу експлуатують в режимах з ізолюваною або компенсованою нейтраллю [1].

Доцільність та необхідність використання компенсуючих пристроїв ємнісних струмів замикання на землю визначається згідно сумарного струму замикання на землю. Для мереж 35 кВ це значення становить 10 А [2]. В більшості випадків цей струм менший за вище наведене значення, тому експлуатація лінії відбувається без використання дугогасних реакторів (ДГР).

Але останнім часом на великій кількості підстанцій виконуються реконструкції зі зміною конфігурації мережі – додаються нові приєднання кабельних ліній електропередавання (КЛЕП). В такому випадку значення ємнісного струму замикання на землю істотно зростає, тому використання дугогасних реакторів є обов’язковим.

Більшість сучасних дугогасних реакторів мають функцію автоматичного налаштування. Основний метод оснований на пошуку точки глобального екстремуму (точка резонансу) характеристики напруги компенсованої нейтралі відносно зміни індуктивності реакторів (рисунок 1).

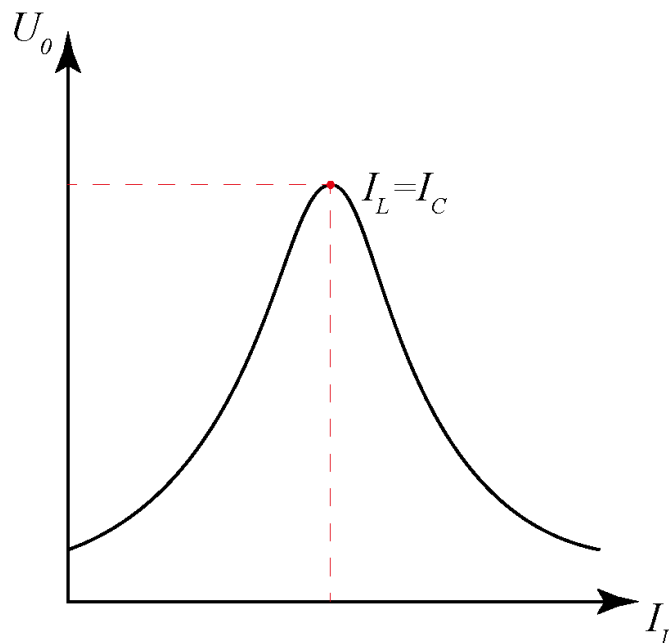


Рисунок 1 – Характеристика напруги компенсованої нейтралі від зміни індуктивного струму дугогасних реакторів

В точці резонансу індуктивний струм реактору компенсує ємнісний струм лінії. Проте якщо мережа має відносно суттєву несиметрію то результуюча напруга компенсованої нейтралі буде така, що в деяких випадках може спричинити спрацювання захисту напруги нульової послідовності. Для уникнення даної ситуації, оперативний персонал в ручному режимі встановлює індуктивність дугогасних реакторів в режим перекомпенсації, тобто індуктивна складова струму реактору буде більшою ніж ємнісний струм замикання на землю. Щоб реактор зміг працювати в автоматичному режимі і напруга нульової послідовності в нормальному режимі роботи мережі не переходила за межі спрацювання інших захистів, потрібно спочатку врівноважити за напругою найбільш несиметричні режими роботи лінії. Для цього потрібно знати ємності фаз кожної лінії. Тому постало завдання розробити метод розрахунку ємності ліній електропередачі для кожної фази.

Мета дослідження. Розробити методику розрахунку ємності кожної фази лінії електропередачі в мережах з ізолюваною або компенсованою нейтраллю за найменшим набором вихідних параметрів.

Матеріали та результати дослідження. Для мереж з ізолюваною нейтраллю напруга небалансу рахується за наступною формулою [3] (1):

$$U_n = \frac{E_a \cdot Y_a + E_b \cdot Y_b + E_c \cdot Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c}, \quad (1)$$

де E_a, E_b, E_c – вхідні фазні напруги,

Y_a, Y_b, Y_c – провідності по фазам лінії. Крім того, виконується рівність (2):

$$U_a \cdot Y_a + U_b \cdot Y_b + U_c \cdot Y_c = 0, \quad (2)$$

де U_a, U_b, U_c – фазні напруги на ділянках мережі.

Фазні напруги знаходяться за наступним виразом:

$$U_a = E_a - U_n$$

Також наступний вираз (3):

$$\frac{Y_a}{Y_a + Y_b + Y_c} + \frac{Y_b}{Y_a + Y_b + Y_c} + \frac{Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c} = 1. \quad (3)$$

Так як фазні ємності нам невідомі, то і провідності також. Для їх знаходження потрібно розв'язати систему лінійних алгебраїчних рівнянь яка складається з виразів (1), (2) та (3).

В результаті отримаємо наступне параметричне рівняння:

$$Y_c = -\frac{Y_a \cdot U_a + Y_b \cdot U_b}{U_c}.$$

Для його розв'язання перейдемо до наступного вигляду рівняння:

$$\gamma = -\frac{\alpha \cdot U_a + \beta \cdot U_b}{U_c},$$

де α, β, γ – коефіцієнти пропорційності.

Прийmemo що $\alpha = 1$, тоді нам потрібно знайти таке β , щоб γ було дійсним числом.

В результаті отримаємо наступний вираз (4):

$$\beta = \frac{\operatorname{Re}(U_a) \cdot \operatorname{Im}(U_c) - \operatorname{Re}(U_c) \cdot \operatorname{Im}(U_a)}{\operatorname{Re}(U_c) \cdot \operatorname{Im}(U_b) - \operatorname{Re}(U_b) \cdot \operatorname{Im}(U_c)} \quad (4)$$

Далі необхідно провести розрахунок фазних ємностей.

Для виконання розрахунків нам потрібні наступні вихідні дані: довжина лінії електропередачі; погонна ємність проводу/кабелю яким виконана ЛЕП; значення модуля напруги та її кута на кожній фазі.

Алгоритм розрахунку має наступний вигляд.

1. Згідно погонної ємності та довжини лінії знаходимо сумарну ємність всієї лінії:

$$C_\Sigma = l \cdot C_n$$

2. Розраховуємо сумарний опір і провідність лінії, нехтуючи активним опором:

$$Z_\Sigma = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_\Sigma}; \quad Y_\Sigma = \frac{1}{Z_\Sigma}.$$

3. Розраховуємо коефіцієнти пропорційності α, β, γ згідно виміряним фазним напругам та їх кутам:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1; \\ \beta &= \frac{\operatorname{Re}(U_a) \cdot \operatorname{Im}(U_c) - \operatorname{Re}(U_c) \cdot \operatorname{Im}(U_a)}{\operatorname{Re}(U_c) \cdot \operatorname{Im}(U_b) - \operatorname{Re}(U_b) \cdot \operatorname{Im}(U_c)}, \\ \gamma &= -\frac{\alpha \cdot U_a + \beta \cdot U_b}{U_c}. \end{aligned}$$

4. Виконуємо розрахунок провідностей, опорів та ємностей по фазам згідно наступного виразу:

$$Y_a = Y_{\Sigma} \cdot \frac{\alpha}{\alpha + \beta + \gamma}; Y_b = Y_{\Sigma} \cdot \frac{\beta}{\alpha + \beta + \gamma}; Y_c = Y_{\Sigma} \cdot \frac{\gamma}{\alpha + \beta + \gamma}$$

Висновки. В результаті виконання роботи була розроблена методика розрахунку значення ємностей на кожній фазі лінії електропередачі. Згідно з розробленою методикою можливо проаналізувати параметри мережі та її режими роботи в несиметричних режимах для подальшого усунення недоліків. Проаналізовано принцип роботи автоматичного налаштування дугогасних реакторів та проблеми, що виникають при їх роботі.

Перелік посилань

1. Електричні мережі та системи : підручник / В. В. Кирик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – 324 с
2. Правила улаштування електроустановок / Видання офіційне - Харків : Мінерговугілля України, Вид-во «Форт» 2017. – 760 с
3. Теоретичні основи електротехніки: підручник / В.С.Хілов. – Д.: Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”, 2021. – 433 с.