

ПОПЕРЕДЖЕННЯ РЕЗОНАНСНИХ ПЕРЕНАПРУГ ПРИ НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМАХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ З ПОПЕРЕЧНОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ

Кучанський В. В.¹, Лиховид Ю. Г.², Мельничук В. А.³

¹Інститут електродинаміки Національної академії наук України,
²Державне підприємство Національна енергетична компанія "Укренерго",
³Державний вищий навчальний заклад "Київський енергетичний коледж"

Розглянуто застосування неповнофазного режиму включення груп шунтувальних реакторів для обмеження резонансних перенапруг при несиметричних режимах ліній електропередачі.

Постановка проблеми. Однією з основних причин виходу з ладу обладнання в електричних мережах є перенапруги, тобто підвищення величини робочої напруги вище максимально допустимого значення. Це пояснюється тим, що передбачено порівняно малий резерв ізоляції для елементів ліній електропередач (ЛЕП) надвисокої напруги (НВН) через високу вартість.

На відміну від перенапруг, що виникають при нормальних проектних схемах експлуатації електричних мереж, резонансні перенапруги характерні для режимів, в яких істотну роль відіграють відхилення схеми і параметрів елементів від розрахункових значень. У статті розглянуто неповнофазний режим роботи ліній електропередачі з поперечною компенсацією, який викликає появу резонансних кіл з розподіленими ємностями ліній і індуктивностями шунтувальних реакторів (ШР).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В цілому причини виникнення перенапруг при неповнофазному режимі ЛЕП НВН відомі [1, 2], але їх поява і кратність залежать від багатьох факторів. Тому при проектуванні та експлуатації таких ліній повинна бути виконана ретельна перевірка можливості існування необхідних і достатніх умов резонансних перенапруг в даній електричній мережі, а також передбачені заходи по їх обмеженню до безпечних величин.

Мета статті. Досліджено застосування неповної групи шунтувальних реакторів для уникнення резонансних перенапруг під час несиметричних режимів ЛЕП НВН.

Основні матеріали дослідження. Резонансні перенапруги за наявності джерела несиметрії в лініях надвисокої напруги зумовлені резонансом струмів, внаслідок чого вплив на цей вид перенапруг можливий завдяки зміні параметрів елементів, що підключені паралельно до повітряної лінії. До них, зокрема, належать: індуктивності компенсаційних та шунтувальних реакторів, параметри елементів заступної схеми лінії, зокрема, коронування проводів. Комбінацій несиметричних режимів при встановленні груп шунтувальних реакторів може бути декілька [1, 2]. У табл. 1 наведені дані залежності резонансної довжини лінії від рівня компенсації. Встановлено, що необхідні умови виникнення резонансних перенапруг в паузі однофазного повторного включення визначаються параметрами груп шунтувальних реакторів, підключених за чотирипроменевою схемою і ліній електропередач надвисокої напруги.

Як показали дослідження [2], залежність величини перенапруг від довжини лінії має вигляд параболи, тому зміщення резонансної довжини лінії на 1 – 2 км не приводить до істотної зміни налагодження умов резонансу. Досягти таким шляхом попередження резонансних перенапруг або зниження їх кратності не вдається.

В сучасних магістральних електричних мережах використовуються перш за все структурні заходи зниження та придушення резонансних перенапруг, які пов'язані зі зміною робочої схеми та переходу від аномального несиметричного режиму до нормального. Але, за необхідності, можуть бути використані і спеціальні пристрої налаштовані з метою зменшення кратності перенапруг.

Таблиця 1 – Резонансна довжина ЛЕП

Кількість груп ШР	Резонансна довжина лінії, l_{res} км		
	Відключення фази однієї групи ШР		Повнореакторний режим
	Ушкоджена	Здорова	
1	0	131	132
2	132	263	264
3	264	395	396

Відключення однойменної фази шунтувального реактора щодо фази повітряної лінії призводить до зміни налаштування резонансного контуру і в результаті перенапруги або не виникнуть на лінії, або змістять l_{res} в бік менших величин (табл. 1).

Як видно з рис. 1, при повнореакторних режимах груп шунтувальних реакторів величини еквівалентних складових обернено пропорційні кількості груп шунтувальних реакторів. Таким чином, можна записати формули для опорів реакторів, які компенсують міжфазні ємності C_M і ємності між фазою і землею C_3 , відповідно

$$X_M = j\omega \frac{L_{r\phi}(L_{r\phi} + 3L_N)}{nL_N}, \quad (1)$$

$$X_3 = \frac{j\omega(L_{r\phi} + 3L_N)}{n}, \quad (2)$$

де ω – кутова швидкість;

$L_{r\phi}$ – індуктивність ШР;

L_n – індуктивність компенсаційного реактора;
 n – кількість повнореакторних груп ШПР.

Для порівняння на рис. 1 наведені результати неповнофазного режиму ЛЕП при повнореакторних режимах груп шунтувальних реакторів для оцінки зміни резонансних довжин в залежності від кількості груп шунтувальних реакторів. Очевидно, що резонансна довжина лінії пропорційна кількості груп шунтувальних реакторів 2

$$l_{\text{рез}} = n \frac{L_M + L_3}{L_3 L_M \omega^2 \cdot (2C_M + C_3)}, \quad (3)$$

де L_M – міжфазна індуктивність шунтувального реактора;

L_3 – індуктивність між фазою повітряної лінії і землею;

C_M – ємність між фазами повітряної лінії;

C_3 – ємність між фазою і землею.

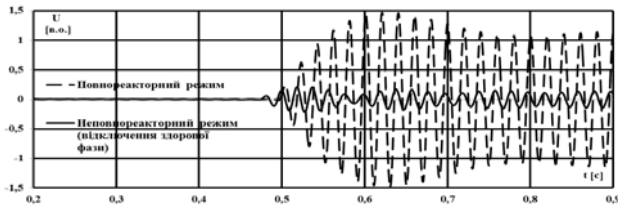


Рисунок 1 – Ефективність відключення однойменної фази групи шунтувальних реакторів

Таким чином, відключення фаз груп шунтувальних реакторів є ефективним заходом для запобігання перенапругам і його можна рекомендувати для неповнофазних режимів ЛЕП НВН з поперечною компенсацією. Зауважимо, що якщо на лінії встановлено дві групи шунтувальних реакторів, то відключення однойменної фази однієї групи шунтувальних реакторів під час неповнофазного режиму, призведе до того, що підвищення напруги відбудеться на лінії з однією групою шунтувальних реакторів. У випадку встановлення трьох груп ШПР, комутація з фазою однієї групи ШПР призведе до переходу лінії в режим з двома групами ШПР. Відключення однойменної фази, при наявності на лінії однієї групи ШПР, взагалі не викликає резонансного підвищення напруги. Треба зауважити, що перехід до лінії з меншою на одиницю групою ШПР є чисто умовним, що виконується для аналізу виникнення перенапруг під час однофазного автоматичного повторного включення. В дійсності, при експлуатації на ЛЕП буде працювати група тільки з неповною кількістю ШПР. Аналітично резонансна довжина лінії при відключенні однойменної фази може бути визначена з виразу

$$l_{\text{рез}} = \frac{L_M + L_3}{L_3 L_M \omega^2 \cdot (2C_M + C_3)} (n-1), \quad (4)$$

При наявності двох і більше груп ШПР і відклю-

ченні різноіменної фази ШПР, еквівалентні опори ШПР для компенсації C_M та C_3 ,

$$X_M^E = j\omega \frac{L_M^{\text{непов}} L_M^{\text{пов}}}{2nL_M^{\text{непов}} + L_M^{\text{пов}}}, \quad (5)$$

$$X_3^E = j\omega \frac{L_3^{\text{непов}} L_3^{\text{пов}}}{nL_3^{\text{непов}} + L_3^{\text{пов}}}. \quad (6)$$

Висновки. Для запобігання виникненню резонансних перенапруг при повнореакторному режимі або відключенні різноіменних фаз ШПР засобами розлагодження резонансного контуру є зміна індуктивностей шунтувального або компенсаційного реакторів. Перехід на кінцевих підстанціях з повнореакторного режиму в неповнореакторний для однойменних фаз груп шунтувальних реакторів дозволяє вивести ЛЕП НВН з резонансних умов і уникнути перенапруг під час безструмової паузи однофазного автоматичного повторного включення.

Список використаних джерел

1. Беляков Н. Н. Процессы при однофазном автоматическом повторном включении линий высоких напряжений / Н. Н. Беляков, К. П. Кадомская, М. Л. Левинштейн [и др.] – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
2. Кузнецов В. Г. Дослідження впливу транспозиції лінії електропередачі надвисокої напруги на аномальні перенапруги / В. Г. Кузнецов, Ю. І. Тугай, В. В. Кучанський // Технічна Електродинаміка. – 2013. – №6. – С. 51–56.

Аннотация

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ

Кучанский В. В., Лыховыд Ю. Г., Мельничук В. А.

В статье рассмотрено применение неполнофазного режима включения групп шунтирующих реакторов для ограничения резонансных перенапряжений линии электропередачи с поперечной компенсацией.

Abstract

PREVENTION OF RESONANCE OVERVOLTAGE IN ASYMMETRICAL MODES OF TRANSMISSION LINES WITH REACTIVE SHUNT COMPENSATION

V. Kuchansky, Y. Lyhovydy, V. Melnichuk

The paper considers the use of open-phase mode switching shunt reactor groups to mitigate the resonance overvoltage in transmission lines with reactive shunt compensation.